



ANKARA YILDIRIM BEYAZIT UNIVERSITY
JOURNAL OF TURKISH OPERATIONS MANAGEMENT

ISSN 2630-6433 e-ISSN 2630-6433

JOURNAL OF TURKISH OPERATIONS MANAGEMENT

YEAR: 2025

VOLUME: 9

NUMBER: 1



ANKARA YILDIRIM BEYAZIT UNIVERSITY
JOURNAL OF TURKISH OPERATIONS MANAGEMENT

ISSN 2630-6433 e-ISSN 2630-6433

Owner / Sahibi

Prof. Dr. Mete Gündoğan, Department of Industrial Engineering, Ankara Yildirim Beyazıt University, Turkey

metegundogan@ybu.edu.tr

General Publication Management / Genel Yayın Yönetimi

Prof. Dr. Ergün Eraslan, Department of Industrial Engineering, Ankara Yildirim Beyazıt University, Turkey

eraslan@ybu.edu.tr

Editor-in-Chief / Editör

Assoc. Prof. Dr. Babek Erdebilli (B.D. Rouyendegh), Department of Industrial Engineering, Ankara Yildirim Beyazıt University, Ankara, Turkey

babek.erdebilli2015@gmail.com or berdebilli@ybu.edu.tr

Editorial Board / Editör Kurulu

Prof. Dr. Gerhard-Wilhelm Weber	Chair of Marketing and Economic Engineering, Poznan University of Technology, Poland	gerhard.weber@put.poznan.pl
Prof. Dr. Vikas Kumar	Operations and Supply Chain Management, University of the West of England, UK	Vikas.Kumar@uwe.ac.uk
Prof. Dr. Ali Allahverdi	Department of Industrial and Systems Management, Kuwait University, Kuwait	ali.allahverdi@ku.edu.kw
Prof. Dr. Yusuf Tansel İç	Department of Industrial Engineering, Baskent University, Turkey	yustanic@baskent.edu.tr
Assoc. Prof. Dr. Gülin Feryal Can	Department of Industrial Engineering, Baskent University, Turkey	gfcen@baskent.edu.tr
Assoc. Prof. Dr. Hamid Reza Navidi	Department of Applied Mathematics, Shahed University, Iran	navidi@shahed.ac.ir
Assoc. Prof. Dr. Fatih Emre Boran	Department of Industrial Engineering, Gazi University, Turkey	emreboran@gazi.edu.tr
Assoc. Prof. Dr. Sena Emre Daş	Department of Industrial Engineering, Kırıkkale University, Turkey	senadas@kku.edu.tr
Assoc. Prof. Dr. Atour Taghipour	Department of International Management, Normandy University, France	atour.tahipour@univ-lehavre.fr
Assoc. Prof. Dr. Elif Kılıç Delice	Department of Industrial Engineering, Atatürk University, Turkey	elif.kdelice@atauni.edu.tr
Assoc. Prof. Dr. Yucel Yılmaz Ozturkoglu	Department of Logistics Management, Yasar University, Turkey	yucel.ozturkoglu@yasar.edu.tr
Assoc. Prof. Dr. Dilek Yılmaz	Department of Industrial Engineering, Istanbul University, Turkey	dborekci@istanbul.edu.tr
Assoc. Prof. Dr. İbrahim Küçükkoç	Department of Industrial Engineering, Balıkesir University, Turkey	ikucukkoc@balikesir.edu.tr
Assoc. Prof. Dr. Nasr Hamood Mohamed Al-Hinai	Department of Mechanical and Industrial Engineering, College of Engineering Sultan Qaboos University, Oman	nhinai@squ.edu.om
Assoc. Prof. Dr. Burcu Özcan	Department of Industrial Engineering, Kocaeli University, Turkey	burcu.ozcan@kocaeli.edu.tr
Asst. Prof. Dr. Mahdi Fathi	Department of Information Technology and Decision Sciences, University of North Texas, USA	mahdi.fathi@unt.edu



ANKARA YILDIRIM BEYAZIT UNIVERSITY

JOURNAL OF TURKISH OPERATIONS MANAGEMENT

ISSN 2630-6433 e-ISSN 2630-6433

Asst. Prof. Dr. Borzou Rostami	Lazaridis School of Business and Economics at Wilfrid Laurier University, Canada	brostami@wlu.ca
Asst. Prof. Dr. Mojtaba Ghiyasi	Faculty of Industrial and Management, Shahrood University, Iran	mog@shahroodut.ac.ir
Asst. Prof. Dr. Mohsen Afsharian	Institute of Management Control and Business Accounting, Technische Universitat Braunschweig, Germany	m.afsharian@tu-braunschweig.de
Asst. Prof. Dr. Hamidreza Ahady Dolatsara	School of Management, Clark University, USA	hahadydolatsara@clarku.edu
Asst. Prof. Dr. Farzad Sattari Ardebili	Department of Management, Azad Ardebil University, Iran	farzadsattari@yahoo.com
Asst. Prof. Dr. Zahra Sedighi Maman	Decision Sciences and Marketing, Adelphi University, USA	zmaman@adelphi.edu
Asst. Prof. Dr. Nasrin Mohabbati	Department of Information and Decision Sciences, California State University, USA	nasrin.mohabbati@csusb.edu
Asst. Prof. Dr. Reza Kiani Mavi	School of Business and Law, Edith Cowan University, Australia	r.kianimavi@ecu.edu.au
Asst. Prof. Dr. Beata Mrugalska	Faculty of Engineering Management, Poznan University of Technology, Poland	beata.mrugalska@put.poznan.pl
Asst. Prof. Dr. Erdal Aydemir	Department of Industrial Engineering, Suleyman Demirel University, Turkey	erdalaydemir@sdu.edu.tr
Asst. Prof. Dr. Zeynep Ertem	Marshall School of Business, University of Southern California, USA	zeynepertem@gmail.com
Asst. Prof. Dr. Yavuz Selim Özdemir	Department of Industrial Engineering, Ankara Bilim University, Turkey	yavuz.selim.ozdemir@ankarabilim.edu.tr
Asst. Prof. Dr. Nuzhat Sadriwala	Department of Accounting, Manikyalal Verma Shramjeevi College, India	sadriwalanuzhat@gmail.com
Asst. Prof. Dr. Ahmet Çalık	Institute of Graduate Education, KTO Karatay University, Turkey	ahmet.calik@karatay.edu.tr
Asst. Prof. Dr. Abdullah Yıldızbaşı	Department of Industrial Engineering, Ankara Yildirim Beyazıt University, Turkey	ayildizbasi@ybu.edu.tr
Asst. Prof. Dr. Sercan Demir	Department of Industrial Engineering, Harran University, Turkey	sercandemir@harran.edu.tr
Asst. Prof. Dr. Gerçek Budak	Department of Industrial Engineering, Ankara Yildirim Beyazıt University, Turkey	gbudak@ybu.edu.tr
Asst. Prof. Dr. İbrahim Yilmaz	Department of Industrial Engineering, Ankara Yildirim Beyazıt University, Turkey	iyilmaz@ybu.edu.tr
Dr. Amir Mohammad Fathollahi-Fard	École de Technologie Supérieure, University of Québec, Canada	amir-mohammad.fathollahi-fard.1@ens.etsmtl.ca
Dr. Fateme Marandi	Department of Industrial Engineering and Management Systems, Amirkabir University of Technology, Iran	fatem.marandi@aut.ac.ir
Dr. Rameshwar Dubey	Liverpool Business School, Liverpool John Moores University, UK	r.dubey@ljmu.ac.uk
Dr. Saeedeh Parsaeefard	Department of Electrical and Computer Engineering, University of Toronto, Canada	saeidah.fard@utoronto.ca
Dr. Menekşe Salar Barım	Research Industrial Engineer, National Institute for Occupational Safety and Health, USA	mzs0053@auburn.edu
Dr. Adem Pınar,	Logistics and Strategic Planner, Turkish Armed Forces, Turkey	adempinar@yahoo.com
Inst. Nihan Çağlayan	Department of Management and Organization, Ahi Evran University, Turkey	nihancaglayan@ahievran.edu.tr
Res. Asst. Selin Çabuk	Department of Industrial Engineering, Cukurova University, Turkey	selincabuk@cu.edu.tr

Advisory Board / Danışma Kurulu



ANKARA YILDIRIM BEYAZIT UNIVERSITY

JOURNAL OF TURKISH OPERATIONS MANAGEMENT

ISSN 2630-6433 e-ISSN 2630-6433

Prof. Dr. Mete Gündoğan	Department of Industrial Engineering, Ankara Yildirim Beyazıt University, Turkey	metegundogan@ybu.edu.tr
Prof. Dr. Ergün Eraslan	Department of Industrial Engineering, Ankara Yildirim Beyazıt University, Turkey	eraslan@ybu.edu.tr
Prof. Dr. Emel Kızılkaya Aydoğan	Department of Industrial Engineering, Erciyes University, Turkey	ekaydogan@erciyes.edu.tr
Prof. Dr. Tahir Hanalioğlu	Department of Industrial Engineering, TOBB ETU University, Turkey	tahirkhaniyev@etu.edu.tr
Prof. Dr. Mehmet Kabak	Department of Industrial Engineering, Gazi University, Turkey	mkabak@gazi.edu.tr
Prof. Dr. Serpil Erol	Department of Industrial Engineering, Gazi University, Turkey	serpiller@gazi.edu.tr
Prof. Dr. Orhan Torkul	Department of Industrial Engineering, Sakarya University, Turkey	torkul@sakarya.edu.tr
Prof. Dr. Turan Paksoy	Department of Aviation Management, Selçuk University, Turkey	dr.tpaksoy@gmail.com
Prof. Dr. Hadi Gökçen	Department of Industrial Engineering, Gazi University, Turkey	hgokcen@gazi.edu.tr



ANKARA YILDIRIM BEYAZIT UNIVERSITY
JOURNAL OF TURKISH OPERATIONS MANAGEMENT

ISSN 2630-6433 e-ISSN 2630-6433

Journal of Turkish Operations Management (JTOM) issued by Ankara Yıldırım Beyazıt University (AYBU) is an international peer-reviewed online academic journal published in English, Turkish, Farsi and Arabic in all fields of industrial engineering for any query. JTOM addresses the theoretical framework, models, computational studies, and conceptual development of operations research together with current developments and practices. This journal combines the high standards of a traditional academic approach with the practical value of applications. Hence, JTOM aims to create an academical platform for the exchange of ideas and the presentation of new achievement in theory and application, wherever engineering and science meet the administrative and economic environment by applying operational research, and constructive suggestions on optimizing the current resources.

Current Publication Schedule

The journal published two times per year (June-December). The journal covers theoretical and some applied aspects of science and technology and informs the reader of new trends in basic science and technology. JTOM accepts submissions in the form of research articles, review articles, and short notes.

Manuscript Evaluation Process

The journal uses an online submission system through DergiPark®. The manuscript, along with all the files, is uploaded to DergiPark® online submission system which is available at the link <https://dergipark.org.tr/en/pub/jtom>

Open Access Policy

The Journal is an open access journal which means that all content is freely available without charge to the user or his/her institution. Users are allowed to read, download, copy, distribute, print, search, or link to the full texts of the articles in this journal without asking prior permission from the publisher or the author. All articles published are available on the journal web page <https://aybu.edu.tr/jtom/> and also DergiPark® system <https://dergipark.org.tr/en/pub/jtom>

Publication Fees

There is no submission, evaluation or publication fee for this journal. All accepted articles are freely available online upon publication.



CONTENTS / İÇİNDEKİLER

Research Articles / Araştırma Makaleleri

- Nargile kullanılan sosyal işletmelerde iş sağlığı ve güvenliği risklerinin değerlendirilmesi: çalışanlar üzerine bir araştırma 1-23
Seniha Yakut Güler, Deniz Efendioğlu
- Ranking decision making units using support vector machines & ideal decision making unit 24-35
Mehmet Güray Ünsal, Volkan Soner Özsoy, Hacı Hasan Örkücü
- Two new parameter proposals for variable neighborhood descent algorithm to minimize Cmax in machine scheduling problem 36-46
Günay KILIÇ, Arzu ORGAN
- Türkiye'deki üniversitelerin sürdürülebilirlik açısından bulanık cortalamalar yöntemi ile kümelenmesi 47-62
Kevser Arman, Nilsen Kundakcı
- Ömrünü tamamlamış araçların geri dönüşümü problemi: Marmara Bölgesi'nde uygulama 63-77
Gulseli Isler, Harun Reşit Yazgan, Aslı Sultan Altunesik
- Uzaktan çalışma modelleri bağlamında denizcilik sektörü çalışanlarına yönelik bir öncelik analizi 78-95
Faruk KÖSEOĞLU, Kenan TOK, Umur BUCAK
- Acil sağlık hizmetlerinde proaktif iş güvenliği önlemlerinin belirlenmesi 96-118
Abdulkadir Bingölbali, Gerçek Budak
- AHP yöntemi ile öncelikli iyileştirilmesi gereken sayaç hatası yönetim bileşenlerinin tespiti 119-129
Furkan Acar, Cansu Bozkurt, Mahmut Fırat
- Blockchain technology and the applicability of digital clustering in the defense industry 130-138
Aygül Aytaç, Serhat Çakır
- Comparative global environmental measurement analysis based on environmental performance index 139-157
Murat Oturakçı, Rabia Sultan Yıldırım, Büşra Yılmaz
- A GIS-based multi-criteria decision-making approach for location selection of urban micro-consolidation centers under sustainability 158-180
Türkan Müge Özbekler, Arzu Karaman Akgül
- Uzaktan çalışma sürecinde bilgi teknolojisi çalışanlarının iş yükü değerlendirmesine yönelik NASA-TLX yöntemi uygulaması: savunma sanayii örneği 181-199
Soner KIRICI, İbrahim YILMAZ



ANKARA YILDIRIM BEYAZIT UNIVERSITY
JOURNAL OF TURKISH OPERATIONS MANAGEMENT

ISSN 2630-6433 e-ISSN 2630-6433

- Rinoplasti ameliyatı öncesinde görüntü eldesinin çok kriterli karar verme yöntemleriyle değerlendirilmesi 200-213
Umut BULUT, Barancan UZUN, Emel GÜVEN, Tamer EREN
- Cell switching in 6G networks for improved sustainability and handover management 201-214
Metin Öztürk
- A new approach for determining weight coefficients of criteria within the scope of multi-criteria decision making: Logarithmic effect-based measurement (LEBM) 215-232
Furkan Fahri Altıntaş



Journal of Turkish Operations Management

Nargile kullanılan sosyal işletmelerde iş sağlığı ve güvenliği risklerinin değerlendirilmesi: çalışanlar üzerine bir araştırma

Seniha Yakut Güler¹, Deniz Efendioğlu^{2*}

¹İş Sağlığı ve Güvenliği Programı, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Ankara,

senihayakut@hotmail.com, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-2281-2697>

²Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Ankara,

defendioğlu@aybu.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-3710-9187>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 25.06.2024

Revize: 17.12.2024

Kabul: 21.12.2024

Anahtar Kelimeler:

Nargile,
İş Sağlığı ve Güvenliği,
Betimleyici İstatistik,
Anket

Özet

Nargile, aromatik tütün içeriği ve dikkat çekici aparatıyla hem ülkemizde hem de dünya genelinde yaygınlaşma eğilimi göstermektedir. Kafelerde çeşitli tüketim ürünleriyle birlikte sunulan nargile, içeriği itibarıyla gerek halk sağlığı gerekse de iş sağlığı ve güvenliği açısından ele alınması gereken bir konudur. Bu bağlamda, çalışmada özellikle pasif içici olarak nargile dumanına maruz kalan çalışanların durumu ele alınmıştır. Nargile hizmeti veren işletmelerde çalışanlar, maruz kaldığı dumanla beraber iş sağlığı ve güvenliği açısından incelenmiş ve konuya yönelik çeşitli hipotezler ortaya konmuştur. Ankara ilinin belirlenen semtlerinde, 382 kişiyle anket çalışması yapılmış ve elde edilen sonuçların, çeşitli parametrik ve non-parametrik testlerle anlamlı olup olmadığı bulunmaya çalışılmıştır. Sonuç olarak nargile çalışanlarının sağlığı yönünde belirlenen hipotezlerden anlamlı olanları için ne tür önlemler alınması gerektiği ve çeşitli tavsiyeler, halk sağlığı ile iş sağlığı ve güvenliği kapsamında belirlenmeye çalışılmıştır.

Assessment of Occupational Health and Safety Risks in Social Establishments Using Hookah: A Study on Employees

Article Info

Article History:

Received: 25.06.2024

Revised: 17.12.2024

Accepted: 21.12.2024

Keywords:

Hookah,
Occupational Health and Safety,
Descriptive Statistics,
Survey

Abstract

The hookah, with its aromatic tobacco content and eye-catching apparatus, has been gaining popularity both in our country and globally. Offered alongside various consumable products in cafes, the hookah should be considered from the perspectives of both public health and occupational health and safety due to its content. In this context, our article specifically addresses the situation of employees who are exposed to hookah smoke as passive smokers. The study examines the occupational health and safety of workers exposed to smoke in hookah-serving establishments and proposes various hypotheses on the subject. A survey was conducted with 382 participants in selected districts of Ankara, and efforts were made to determine whether the results were significant through various parametric and non-parametric tests. As a result, for the hypotheses found to be significant regarding the health of hookah workers, recommendations and preventive measures were suggested within the scope of public health and

1. Giriş

Tütün, canlıların sağlığına, çevreye ve ekonomiye uzun yıllar boyunca zararı tartışılmalı ve kullanımı alışkanlık yapabilen bir üründür (Bilir, 2016). Tütün endüstrisi, ortaya koyduğu strateji ve markalaşma ile insanlara daha cazip ürünler sunmakta ve karlılık oranını sürdürmeyi başarmaktadır (Dağlı, 2010). Tütün endüstrisinin temel gayesi; ürettikleri ürünleri kullanıcıları ile buluşturabilmek, yeni pazarlama taktikleri geliştirebilmek, ürün kullanımında kullanılabilir nesneler tasarlayabilmek şeklinde sıralanabilir (Canbakan, 2016). Akıllı örtün bütün edimler bağımlılık oluşturabilir ve bu anlamda tütün endüstrisi karşımıza pek çok ürünle çıkmaktadır (Dağlı, 2019).

Tütün kullanımı, üç farklı formda gözlemlenebilir. Bunlar; tütünün yanması ile oluşan dumanın kullanımı, tütünün duman oluşturmaksızın kullanımı, tütünün başka amaçlarla sanayide kullanımı şeklinde sıralanabilmektedir. Tütün endüstrisi içerisinde karşımıza çıkabilen nargile ve türevleri, tütünün yanmasıyla oluşan dumanın soğuk bir suyun içerisinde geçirilerek solunabilmesi esasına dayanmaktadır (Dağlı, 2019). Etkisel sonuçları açısından pnömokonyoz gibi mesleki hastalıklara yol açmaktadır ve pasif kullanıcılar için ciddi risk taşımaktadır (Şahan, 2019). Çalışmada da nargile sunum hizmetlerinde çalışanların, nargile duman maruziyeti, iş sağlığı ve güvenliği bakış açısından irdelenecektir.

Çalışmanın ana unsurlarından birini oluşturan pasif içicilik kavramı, tütünlü ürünler tüketmeyen bir kişinin; yakınında, bu mamulleri kullanan kişilerin sebep olduğu dumana maruz kalması şeklinde ifade edilebilir. Bu anlamda pasif içiciliğin, çevredeki insanları iki şekilde etkilemesi söz konusudur: Ana akım duman ve yan akım duman (Şanver ve Şengelen, 2022).

Ana akım duman tütün ürünü içen kişinin direkt olarak soluduğu dumdandır. Yan akım duman ise ilgili tütün ürününün yanarak uçandan veya kısmından çıkan duman şeklinde ifade edilir. Bu tür duman, ana akım dumana kıyasla daha yüksek miktarda nikotin ve kanserojen maddeler içerir. Yaklaşık 7000'den fazla kimyasal barındıran bu dumanın yüzlercesi toksiktir ve yaklaşık 70'i kansere yol açabilir. Tütün mamullerinin direkt tüketiminin sebep olduğu pek çok risk, aynı zamanda pasif içiciler içinde geçerli olmakla beraber, özellikle çocuklar, hamileler ve yaşlılar daha savunmasız bireyler olarak karşımıza çıkmaktadır (Şanver ve Şengelen, 2022).

1.1. Nargile

Nargile, bünyesinde barındırdığı aromatik tütün içeriğiyle, ilgi çekici aparatlarıyla tüm dünyada ve ülkemizde yayılma eğilimi göstermektedir (Özbek, 2020). Oluşturulabilen muhtelif endüstriyel nesnelerle (Dağlı, 2016) bünyesinde farklı şekillerde işlenmiş tütünleri kullanabilecek bir forma dönüştürülebilmektedir. Kuru tütün yaprağı (tömbeki) tüketilen, içimi sert ve ızdırap verici olan nargilelerin yerini tatları, alışılmalı tatlara yaklaştırılan, içimi yumuşak, bitkisel olduğu iddia edilebilen işlenmiş aromatik tütünlerin kullanıldığı nargileler alabilmektedir. Nargile endüstrisinde bu ürünler aromatik nargile olarak adlandırılmaktadır. Bu ürünlerde kullanılan tütünler, eser miktarda meyve özü, bütüleştirici ve birleştirici bir madde olan asetaldehit, ürüne tat, koku ve kolay solunabilme özelliği olan gliserin ve farklı tür kimyasal içerikli maddelerle servis edilebilir. Ayrıca illegal yollar kullanılarak, sentetik kannabinoid (bonzai) gibi nargilede tüketilebilen ucuz fiyata elde edilebilecek, ciddi sağlık sorunlarını ve\veya ölümü gerçekleştirebilecek olan maddelerin eklenimiyle daha tehlikeli sonuçlarla karşı karşıya kalınabilir. (Evrenil, 2016).

Dünyada ve ülkemizde nikotin ve benzeri sağlığa zararlı maddeler salıveren ürünler üzerinde çeşitli çalışmalar yürütülmekte, ancak yeterliliği sorgulanmakta ve konu ile ilgili terminolojide yeniliklere gidilmesi gerektiği gözlemlenmektedir. Tütün endüstrisinin stratejik olarak ortaya koyduğu taktiklerin tüm dünyadaki tütün kontrolünü sağlamayı amaçladığı akıldan çıkarılmamalıdır (Dağlı, 2010). Piyasaya sürülen her yeni tütün kullanma nesnesi, bu nesneler içinde farklı maddelerin de kullanılabilmesine kapı aralamaktadır. Nargile, elektronik nargile, elektronik sigara bu ürünlere örnek olarak verilebilmektedir (Ekin ve Ark., 2017).

Ankara'da yapılan bir araştırmada nargile içenlerin büyük çoğunluğunun kendi gelirinin olmadığını, son yıllarda sayısı artan nargile içilebilen mekanların ve reklamların, kullanımı teşvik ettiği, arkadaşlarla birlikte içme eylemi gerçekleştirilmesine olanak sağladığı için sosyalleşme imkanı oluşturabildiği söylenmiştir (Topçu ve Zorlu, 2021). Boş vakit geçirme fırsatı olarak değerlendirilme, akran kabulü, zararlı etkilerinin bilinmemesi, aromatik tatlarının keşfedilmesinin gerekliliği düşüncesi kullanım yaygınlığına olumlu yönde destek olmaktadır (Özbek, 2020).

Pnömokonyoz olguları ile ilgili yapılan bir çalışma da 45 olgu üzerinden 32'sinde pnömokonyoz teşhisi konulmuş. Sevk kaynakları olarak SGK'dan 9, iş yeri hekiminden 16, uzman doktordan 4 ve iş mahkemesinden 3 kişi ilgili hastalıkla sevk edilmiştir. Genel anlamda ağırlıklı erkeklerin oluşturduğu örneklemede sigara kullanımının yüzde 81 olduğu görülmüştür. Periyodik muayene erken tanıda önemli olmakla beraber tıbbi tanı ve sigortacılık tanısı süreci net olmamakta, ihbar mekanizmalarında sorun yaşanmakta, kurumlar arası eşgüdümün olmadığı ve laboratuvar olanaklarının sınırlı olduğu çalışmada belirtilmiştir. (Çımrın ve Ark., 2014)

Malezya’da gerçekleştirilmiş olan bir çalışmada, yaş ortalaması 22 olan tıp öğrencileri arasında nargile kullanım oranının %20 olduğu, grupta kadınların (%67) daha çok nargileyi kullandığı ortaya konulmuştur (Al-Naggar & Bobryshev, 2012). Ülkemizde Tıp, Diş Hekimliği, Sağlık Bilimleri Fakültelerindeki öğrencileri kapsayan bir çalışmada, ilk tütün kullanım deneyimlerinin yarısını sigaranın, yarısını nargilenin oluşturduğu belirtilmiştir (Yerlikaya, 2016). 2019 yılında İngiltere’de nargile duman maruziyeti üzerine yapılan bir araştırma, elma aromalı olduğu iddia edilen aromatik tütün dumanına maruziyetten 40 dakika sonra hücre canlılığı ve mitokondriyel faaliyetlerde azalma, DNA hasarı gözlemlenebildiği rapor edilmiştir (Khalil ve ark., 2019). Tüketimindeki artışla birlikte yemek hizmeti verilen salonlarda, eğlence merkezlerinde, kişisel bakım hizmeti veren merkezlerde servis edilerek, burada hizmet üreten insanlarla birlikte bir istihdam alanı oluşabilmektedir (Sarılı, 2019). Ayrıca, kahve içilebilen, masa oyunları oynanabilen birçok mekanda nargile sunumunun gerçekleştirildiği belirtilmektedir (Timur, 2006). Nargile içilen ortamlarda vaat edilen fantastik dünya, zararlı olabilenin çekiciliği, kullanıcıları bir araya getirebilmektedir (Bowman, 2009).

İran’ın Meşhed Üniversitesi’nden Muhammed Hüseyin Boskabadi ve ekibinin yaptığı araştırma, nargilenin sağlığa sigara kadar zarar verdiğini ortaya koyuyor. 57 nargile içen, 30 yoğun sigara içen ve 51 az sigara içen katılımcının sağlık durumunu, 44 sigara ve nargile içmeyen kişi ile karşılaştırdı. İki yıl süren araştırma boyunca, ilk iki gruptaki katılımcılarda hırıltı, solunum zorluğu ve öksürük gibi rahatsızlıklar tespit edildi. Solunum bozukluğu, nargile kullananların %36,8’inde, yoğun sigara içenlerin %40’ında görüldü. Üçüncü grupta ise bu rahatsızlıklar %29 oranında daha az görüldü (Boskabadi et. al., 2012). Yapılan bir başka çalışma da 30 dakikalık bir nargile seansı sonrasında katılımcıların %6,4’ünde kalp atış hızının 50 bpm’yi aştığı ve %3,6’sında 200 bpm’nin üzerine çıktığı gözlemlenmiştir. (Al-Osaimi et. al., 2012)

1.2. Nargilenin İçeriği, Bileşenleri, Kimyası ve Etkileri

Nargile kullanımı Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa başta olmak üzere, kullanımı hızla yaygınlaşan; halk sağlığı kapsamında dikkate alınması gereken, tütün kullanma şekillerinden biridir (Aljarrah ve ark., 2009). Nargile dumanında tütün kaynaklı zararlı kimyasalların yanında, üründe kullanılan kömürün yanması sonucu oluşan zehirleyici etkisi olan kimyasalları soluma durumu da gerçekleşebilmektedir. Nargile dumanının ihtiva ettiği maddeler Şekil-1’de de görüldüğü üzere karbonmonoksit (CO), kurşun, piridin türevleri, radyoaktif elementler, heteropolisiklik bileşikler, tarım ilacı kalıntıları, katran, laktonlar, fenolik bileşikler, hidrojen sülfür, hidrojen siyanür, azot oksitler, polisiklik aromatik hidrokarbonlar ve ağır metaller olarak sıralanabilmektedir (Oral, 2010).

Bir sigara ortalama olarak 20 kez içe çekilirken, 1 saatlik nargile içimi esnasında tütün kaynaklı duman 200 kez içe çekilmektedir. Bir nargile seansı sırasında ortalama 90,000 ml duman solunurken, bir sigara içiminde 500-600 ml duman solunmaktadır. Toplumlardaki yaygın kanaatin aksine nargile çevreye sigaradan çok daha fazla zarar verme potansiyeline sahiptir. Nargile sunum hizmetlerinde çalışan bir insanın maruz kaldığı duman miktarı ve süresine bağlı olarak sağlığında olumsuz birçok durumun gelişebileceği söylenebilir (Küçük, 2016).

Karbonmonoksit; karbon kaynaklı yakıtların iyi yanması sonucu oluşabilmektedir. Renksiz, kokusuz, tatsız ve iritan özellik taşımayan bir gazdır. Akut ve kronik zehirlenmelere neden olabilir. İyi havalandırılmayan ortamlarda kolaylıkla birikebilir. Birçok ülkede zehirlenmelerin ve bu sebeple gerçekleşen ölümlerin büyük çoğu karbonmonoksit kaynaklı olmasına rağmen kayıtlarda sıklığı düşük görülmektedir. Sağ kalanlarda nörolojik ve psikolojik hasarlar oluşmaktadır (Kandış ve ark., 2009).



Şekil 1. Nargile Dumanının Bazı Bileşenleri

Ağır metaller organizmaya solunum, emilim ve/veya sindirim yoluyla girebilmektedir. Organizmanın doğal yollar ile bu maddeleri yıkamaması; ağır metalleri organizmalarda birikme eğilimine sürüklemektedir. Tahliye edilmeyen birikintiler zamanla celbleşerek tedavi süreci zorlu ve masraflı hastalıklara (tiroit, otizm, infertilite vb.) sebep olmaktadır. Hastalık yapıcı özelliği bu yönü ile ciddi bir tehdit sayılmaktadır. Sıklıkla karşılaşılabilen ağır metaller ve muhtemel etkileri Tablo.1’de görülmektedir (Özbolet ve Abdullah, 2016).

Ağır metaller etki sürelerine ve oluşturabilecekleri etkilere göre segmentasyona tabi tutulduğunda toksik sonuçlar gösterebilmektedir. (Seven ve ark., 2018).

Yaşamsal olmayan ağır metallerden biri olan kurşun, asırlardır canlıların vücudunda birikebilen bir ağır metal olarak bilinmekte ve meslek hastalıklarına sebebiyet verebilmektedir(Dündar ve Arslan, 2005). Kurşun, çevrede bulunduğu ortamda fark edilmeden solunarak akciğerlere ulaşabilmektedir. Solunum, sindirim ve deri yoluyla vücuda giren kurşun, özellikle kurşun oksit ve karbonat bileşikleriyle deri üzerinden emilim göstererek; zehirlenme, bedensel işlevlerde fonksiyonel kayıplar, meslek hastalıkları, ölüm vb gibi yıkıcı sonuçlara yol açmaktadır. Meslekler, çalışma ve ev ortamlarının havalandırma durumu, tütün dumanı ve hijyen eksikliği, kurşun maruziyetini artıran faktörlerdir. Nargile kullanımı ise yüksek düzeyde kurşun emilimine yol açabilir ve bu işte çalışanlar, kullanıcılarına kıyasla daha fazla kurşun absorpsiyonuna maruz kalmaktadır (Tatar, 2016).

Heterosiklik bileşikler; karbonun yanı sıra en az bir farklı atom içeren bu halkasal bileşikler kullanım şekline göre hem yararlı hem de zararlı olabilmektedir. Mutajenik özellik göstererek genetik yapıda materyale zarar verebilme ve kanser riskini artırma riski vardır. (Özsin, 2017).

Azot atomu içeren piridin türevleri, özellikle tütün dumanında bulunur ve nargile kullanımı sırasında oluşabilir. Solunum, sinir ve kalp-damar sistemleri üzerinde olumsuz etkiler gösterebilmektedir (Zaatari et al., 2015).

Nargile dumanında oluşan azot oksitler; solunum sistemi tahrişi, astım, akciğer fonksiyon bozuklukları ve kalp rahatsızlıklarına neden olabilir. Bu kimyasallar, pasif içiciler için de sağlık riski taşımaktadır (Zaatari et al., 2015).

Radyoaktif elementler tütün bitkisine toprak, hava ve tarımsal gübreler yoluyla geçebilir. Tütün dumanında bulunan Polonyum-210 (Po-210) ve Kurşun-210 (Pb-210), akciğer kanseri riskini artırır. Tütün yapraklarının yıkanmaması ve uygun gübrelerin kullanılmaması bu riski artırmaktadır (Demir & Okutan, 2014; Yerlikaya, 2016).

Organik moleküllerin yanmasıyla oluşan polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PHA) bileşikler kanserojen ve toksik özelliklere sahiptir. Petrol, kömür ve nargile dumanında yüksek miktarda bulunabilir ve havadaki partiküllere tutunarak uzun süre asılı kalabilir (Ergönül ve Deniz, 2015).

Tablo 1. İnsan sağlığına belirli bir düzeyin üzerinde maruz kalındığında zararlı olan elementler ve olası etkileri

Ağır Metal	EPA etki(ppm)	Olası Etkisi
Baryum	2,0	Yüksek tansiyon, kas seğirmesi, solunum yetmezliği, muhtelif kalp rahatsızlıkları
Bakır	1,3	Mide ve bağırsak tahrişi, böbrek hasarı, karaciğer sirozu, kronik anemi, beyin hasarı
Selenyum	0,6	Gastroenterolojik hastalıklar, karaciğer hastalıkları
Çinko	0,5	Vertigo, akut olmayan yorgunluk
Gümüş	0,10	Akciğer tahrişi, ciltte gümüş renk, boğaz tahrişi, mide ağrısı
Cıva	2,0	Saç dökülmesi, uyuşukluk, uykusuzluk, beyin hasarı, depresyon
Kurşun	15	Kısa süreli hafıza kaybı, gelişimsel bozukluklar, zeka geriliği, öğrenmede güçlükler, kalp rahatsızlıkları
Krom	0,1	Saç dökülmesi
Kadmiyum	5,0	Kanser
Nikel	0,2	Akciğer kanseri, saç kaybı, muhtelif alerjiler
Arsenik	0,01	Hücrel süreç bozulmaları

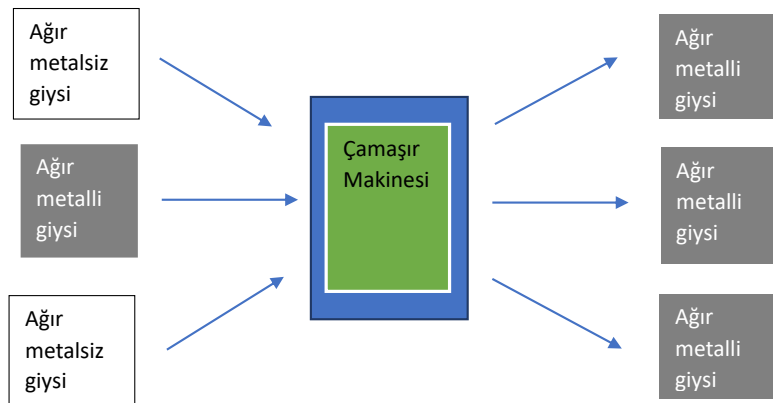
Zehirli bir gaz olan Hidrojen sülfür, renksiz, çürük yumurta kokusuna sahiptir ve kapalı mekanlarda organizmada yüksek miktarlarda tezahür ederek sıhhi sıkıntılara yol açmaktadır. Karbonmonoksit ise vücutta ağrı, anksiyete ve depresyona yol açabilmektedir (Baskın, 2021). Nargile dumanında bulunan katran; birikimli ve tıkaçıcı olma yönüyle solunum yolu hastalıkları ve kanser gibi ciddi sağlık sorunlarında kök nedenlerden biridir (Zaatari et al., 2015). Akciğerler kanı temizleyen organdır ve bu süreç düzgün işlemediğinde vücut fonksiyonları bozulur;

kronik yorgunluk, iletişim sorunları, agresif davranışlar ve psikolojik dengesizliklere neden olmaktadır. Kandaki oksijen seviyesinin düşük olması, mental ve fiziksel aktiviteleri olumsuz etkilemektedir ve kalp-damar hastalıkları riskini artırmaktadır.

Aşırı maruziyet durumunda nargile dumanı kişileri iş göremez ve/veya sağlıksız hale getirmesinin yanı sıra iş elbise kullanılmadan yürütülen iş süreçlerinde ağır metal kontaminasyonu oluşmakta; çalışanların ailelerine de taşınmaktadır. Çocukların derileri ağır metallerle temas ederek zehirlenmelere yol açabilmektedir. Çocukların sinir, kardiyovasküler, renal, gastrointestinal, endokrin, immün ve hematolojik sistemleri ciddi şekilde zara görebilmektedir. Aynı şekilde gebelik sırasında anne vücudundan fetüse geçebilmektedir (Kaya ve ark., 2019). Ağır metaller büyüklere oranla çocuklara daha fazla zarar verebilmektedir. Bebeklerin ve çocukların periferik sinir sistemleri, kardiyovasküler sistemleri, renal ve gastrointestinal, endokrin, immün, hematolojik sistemleri ağır metallerle karşılaştığında büyük zararlar oluşabilmektedir. Şekil-2’de bu örnek verilmiştir.

Literatür taramasında nargileden bahseden makaleler incelendiğinde, sunum hizmeti gerçekleştiren çalışanlarla alakalı yayınların azlığı dikkat çekici olabilmektedir. Nargile içilebilen iş yerlerinde;

- Nitelikli bir iş tanımı yapılabilmesi,
- Çalışan sağlığı için toplu koruma önlemi alınabilmesi,
- İş yerinde hizmet satın alanların ve ziyaretçilerin, nargile sunumunun risk ve tehlikelerini fark edebilmeleri,
- Nargile sunumunda çalışanların, iş görebilecekleri kabul edilebilir süre oluşturulabilmesi,
- Halk sağlığının sürdürülebilir olabilmesi,
- Nargile sunum hizmeti veren çalışanların sağlığı için proaktif önlem alınabilmesi,
- Nargile sunum hizmeti veren çalışanlar için, mesleki eğitimin gerekliliği,
- Nargile sunumu hizmeti çalışanlarında güvenlik iklimi ve güvenlik kültürü oluşabilmesinde, konunun akademik olarak incelenebilmesinin olumlu etkileri oluşabilecektir (Taşdemir ve Yıldırım, 2020).



Şekil 2. Ağır Metal Bulaşmış Bir Giysinin Yıkandığı Çamaşır Makinesindeki Giysilerin Durumu

Makalemiz, nargile sunum hizmetleri açısından iş sağlığı ve güvenliği alanında literatüre katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Maruz kalınan risklerin değerlendirilmesi, önleyici ve proaktif önlemlerin belirlenmesi ve uygulanması ve bu çerçevede güncellemeler yapılarak mesleki eğitimin verilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma, nargile sunum hizmeti çalışanlarının ruhsal, bedensel ve sosyal iyilik hallerini sürdürebilmeleri amacıyla işin insana uygun hale getirilmesine katkı sağlarken, anne-bebek sağlığına yönelik önlemler konusunda da farkındalık oluşturmayı hedeflemektedir.

2. Literatür Araştırması

İlk insanın dünyada var oluşundan günümüze kadar geçen süreçte, iş kollarının çeşitlenmesi ve sanayileşmenin hız kazanması, insanlığa birçok fırsat sunarken beraberinde önemli tehditleri de getirmiştir. Bu süreçte, iş sağlığı ve güvenliği alanında, iş yerlerinde ortaya çıkan meslek hastalıkları, dikkatle ele alınması gereken temel bir konu olarak öne çıkmaktadır. İşleri daha güvenilir hale getirmek, sürdürülebilir güvenlik kültürü oluşturabilmek, sağlık ve güvenlik merkezli yüksek kaliteli üretim hedefleyen iş sağlığı ve güvenliği bilimi iş kazalarını ve meslek hastalıklarını toplumsal bir sorun olarak kabul etmektedir (Çiçek & Öcal, 2016).

Nefes darlığı anlamında ve pnömokonyoz konusunda yapılan çalışmalara bakıldığında, uzun yıllar boyunca, iş yerinde karmaşık içerikli maddelerle (silika, mum, metal içerikler, reçineler, likit uçucular) çalışan iş

teknisyenlerinin, tütün kullanma hikayesine sahip olmasalar dahi, ağır nefes darlığı şikayetiyle hastaneye başvurup, pnömokonyoz teşhisi alabildikleri görülmektedir (Eyüboğlu ve ark., 2008). Yalçın ve ark. (2017) ise çalışmalarında nargile duman içimi ve maruziyetinin solunum fonksiyonlarında bozulmaya yol açtığını ve oksidatif stresi arttırdığını belirtmiştir. Bir başka konuya yönelik çalışmada da Canpolat (2020) nargile dumanına maruz kalmanın karbonmonoksit zehirlenmesine sebep olduğu ve konunun derinlemesine incelenmesi gerekliliğini, 19 yaşındaki erkek bir hastanın 112 acil yardım servisiyle hastaneye ulaştırılması örneği üzerinden değerlendirmiştir. Benzer yönde Darawshy ve ark.(2021)'e göre nargile dumanını solumak akciğer fonksiyonlarında azalma, bilhassa KOAH gibi akciğer hastalıklarının oluşmasında hızlanma, arter sertliği, istemik kalp hastalığı oluşturma risklerini taşımakta olduğunu belirtmiştir. Çarpıcı olarak bahsedilecek noktalardan birisi de karbonmonoksit dumanına maruziyet sonucu yaşanan ölüm olaylarının, yakın zamanlarda dünyada yaşanan Covid-19 pandemisinden çok daha fazla olduğu gerçeğidir (Anadolu Ajansı, 2022b).

Tablo 2. Literatürdeki Makalelerden Örnekler

YAZAR	YIL	DERGİ	BAŞLIK	TÜR	AMAÇ	SONUÇ
G Özbolat , T Abdullah	2016	Arşiv Kaynak Tarama Dergisi	Ağır metal etkisinin insan sağlığına etkileri	Derleme	Ağır metallerin düşük derişimlerde dahi toksik etki gösterdiğini belirleyebilmek	Ağır metallerin her derişim değerinde zehirli etkileri vardır. Bunlar akut ya da kronik olarak etki edebilir.
C Khalil, JB Chahine, B Chahla, T Hobeika	2019	Soluna Toksikolojisi , Uluslararası Solunum Araştırmaları Forumu	Dinamik maruziyet kullanılarak nargile dumanının karakterizasyonu ve sitotoksiste değerlendirilmesi	Araştırma	Tek bir nargile seansından üretilen dumanın sitotoksiste, genotoksiste ve apoptotik potansiyelinin doğrudan in vitro değerlendirebilmek	60 dakikalık tek bir nargile içimi seansıyla ilişkili in vitro sitotoksiste, genotoksiste ve apoptoz/nekroz gözlemlenmiştir.
EE Kaya, FM Kışlalı, D Sarıcı	2019	Neonatoloji Tıp Dergisi	Yenidoğan bebeklerin göbek kordon kanında kurşun ve cıva düzeyleri	Araştırma	Kurşun ve cıvanın kort kanındaki varlığının değerlendirilebilmesi	Anne zırhı ile kort kurşun arasında olumlu olmayan bir ilişki tespit edildi.
D Çevik Taşdemir, İ Yıldırım	2020	Uluslararası Sosyal ve Beşeri Bilimler Araştırma Dergisi	İş Sağlığı ve Güvenliği: İş Sağlığı, İş Güvenliği, Güvenlik İklimi ve Güvenlik Kültürü Üzerine Kavramsal Çalışma	Derleme	İş sağlığı ve güvenliği, güvenlik iklimi ve güvenlik kültürünün içselleştirilebilmesi	İş sağlığı ve güvenliği, güvenlik iklimi, güvenlik kültürünün içselleştirilebilmesi için konu ile alakalı tüm aktörlerin proaktif yaklaşımlarda bulunması önerilmiştir.
Dağlı ,Z, Demirezen,D.	2020	Balıkesir Üniversitesi Sosyal ve Bilimler Enstitüsü Dergisi	Nargile Salonları Üzerine Bir Değerlendirme: Düzce İli Örneği	Araştırma	Nargile salonları açılış şartları konusu, tabi olacağı kurallar bağlamında bir sağlık politikası önerebilmek	Nargile salonlu denetimlerinde saptanan ihlallere yönelik görevli kamu personelinin yönerge ihtiyacı
M Topçu, S Zorlu	2021	Bağımlılık Dergisi	Sağlık Çalışanlarının Nargile İçme Profilleri, Nargilenin Sağlığa Olan Etkilerine Yönelik Algıları ve Sağlıklı Yaşam Biçimi Davranışları	Araştırma	Sağlık çalışanlarının nargile içme profilleri, sağlığa olabilecek etkileri, sağlıklı yaşam davranışları belirleyebilmek	Erkek sağlık çalışanlarda nargile içme oranı %46,2,kadın sağlık çalışanlarda %5,8 bulunmuştur. Nargilenin zararlarının farkında olanlarda sağlıklı yaşam davranışları daha sık görülmüştür.
V Baskın	2021	ESOGÜ Akademik Açık Erişim Sistemi	Hidrojen sülfür, nitrik oksit ve karbon monoksitin ağrı, anksiyete ve depresyon üzerine etkilerinin karşılaştırılması	Araştırma	Hidrojen sülfür, nitrik oksit ve karbon monoksitin ağrı, anksiyete ve depresyon üzerine üzerindeki etkisini belirleyebilmek	Hidrojen sülfür, nitrik oksit ve karbon monoksit maddelerine maruziyet anksiyete ve depresyon oluşumunu desteklemektedir.
Eshaghi V.A.H, Rezaei L. , Ghanbarnejad A., Hosseini Z., Ghaffari H.R., Dehghani S.	2022	Tütün & Sağlık	Nargile Kafe Çalışanlarının Nargile Dumanına Maruz Kalma Durumu ile Akciğer Kapasitesi Arasındaki İlişki	Araştırma	Nargile kafelerde çalışanların duman maruziyetinin, solunum kapasitelerine etkisini araştırmak	Nargile kafelerde çalışanların nargile dumanına maruz kalmaları ile akciğer kapasiteleri arasında anlamlı bir ilişki bulunmuştur.

Cilt hastalıkları anlamında literatürdeki çalışmalara bakıldığında farklı hastalıklara yönelik makaleler olduğu gözlemlenmiştir. Egzama deriyi kurutan, kaşıntı hissi uyandırabilen, birçok sebebin bir araya gelerek oluşturabildikleri bir deri hastalığıdır. Önder ve ark.(2002)'de ailesinde ve kendisinde egzama hikayesi olmayan bir bireyde baş parmağında oluşan egzama nargile içmesiyle özdeşleştirildi ve süregelen nargile tutma hareketi terk edilince egzama ortadan kalktığını bildirmiştir. Bu çalışma nargile bileşenlerinin üzerinde cilt hastalıklarını tetikleyen canlıların varlığını düşündürmüştür. Benzer sonuçlara farklı makalelerde de ulaşılabilmektedir (Chaouachi, 2009, Ziyab, 2017, Alipour ve ark., 2022). Ocak ve Mayıs 2013 tarihlerinde İstanbul'da yerleşim gösteren nargile kafelerde yapılan araştırmada kendileri içici durumda olup aynı zamanda da nargile sunum hizmeti veren çalışanlarda tütün dumanına mesleki maruziyet sonucu, alınan saç, tükürük, idrar örneklerinde yüksek oranda tütün izine rastlanmıştır (Küçük, 2016). Deri hastalıkları da mesleki maruziyetlerde sıklıkla görülebilen bir olgudur (Kocatürk ve ark., 2016).

Dolaşım sistemi anlamında yapılan çalışmalarla da karşı karşıya kalınmıştır. Baklacı (2022), nargile ve sigara kullanımının, dumanına maruz kalmanın kulak çınlamasını arttırdığını belirtmiştir. Tütün dumanı kan dolaşımını etkileyip, iç kulaktaki sıvıların düzenleme fonksiyonlarını olumsuz yönde etkilemektedir (Anadolu Ajansı, 2022a). Erdöl (2022)'e göre nargile sigaradan çok daha fazla zararlıdır. Dumanına ilk kez maruz kalanlarda karbonmonoksit zehirlenmesine bağlı olarak baş dönmesi, mide bulantısı, kusma olabilir.

Nargile konusundaki, bunların denetimine yönelik çalışmalarda bulunmaktadır. Dağlı ve Demirezen (2020)'de nargile sunumu yapılan salonların denetimlerinin hangi devlet kurumu tarafından yapılacağı net olarak belirlenememesinin, kayıt dışı nargile tütün mamullerinin kullanılmasını kolaylaştırdığı belirtilmiştir. Nargile salonlarının aynı zamanda lokanta, kahvehane, masa oyunları salonu konseptinde olması işletmelerin yetkili merciler tarafından denetlenememesine yol açabilmektedir.

Literatürdeki nargile anlamında yaşanan farklı durumlar detaylıca incelenmiş ve Tablo-2'de belirtilmiştir:

Literatür katkısı;

- i. Nargile kullanılan işletmelerde çalışan personellerle ilgili spesifik çalışmaların sayısı oldukça sınırlıdır. Literatürde yer alan tek çalışma, nargile salonlarının yapısal özellikleri ve bu salonların nasıl bir yapıya sahip olması gerektiği üzerinde odaklanmıştır. Nargile işletmelerinde çalışan personelin iş sağlığı ve güvenliği risklerine yönelik kapsamlı bir araştırma henüz literatürde yer almamaktadır.
- ii. Bireylerin maruz kaldıkları risk faktörlerini ve bu risklere yönelik alınabilecek önlemlerin incelemesi yönünde rehberlik etmektedir.
- iii. Elde edilen veriler, istatistiksel anlamda önemli katkılar sağlamaktadır.
- iv. Nargile işletmelerinde çalışanların sağlık ve güvenliği ile ilgili yeni hipotezlerin geliştirilmesi ve bu hipotezlerin istatistiksel testlerle değerlendirilmesi, konuya daha derinlemesine bir bakış açısı kazandıracaktır.
- v. Literatürde yapılan derleyici bilgiler ve geçmiş araştırmaların sonuçları, okuyuculara nargile konusunda yeni perspektifler sunacak nitelikte bir yapısal çerçeve ortaya koymaktadır.
- vi. Bu çerçeve, gelecekte nargile işletmelerinde çalışanların sağlık ve güvenliğini korumaya yönelik daha etkili politikaların geliştirilmesine katkıda bulunacak özellikler sergilemektedir.

3. Materyal ve Yöntem

Araştırma Ankara ilinde Kızılay, Balgat, Bahçelievler, Çukurambar semtlerinde konumlanmış, menülerinde nargile ve çeşitleri bulunan kafeteryalarda gerçekleştirilmiştir. Anket çalışması 01.12.2022-31.12.2022 tarihleri arasında, nargile sunum hizmeti sunan çalışanlarına yöneltilerek elde edilmiştir.

Araştırmanın evrenini, belirtilen tarihlerde ziyaret edilen kafeteryalarda bulunan sunum hizmetlerinden sorumlu 382 çalışandan oluşturmaktadır. Araştırma kapsamında kafeterya idarecisine amaç doğrultusunda bilgiler verilerek sözlü izin alınmıştır. Katılım, gönüllülük esasına dayalı olup, katılmak istemeyenler evren dışında bırakılmıştır. Katılımcılara verilerin, çalışma amacı dışında hiçbir yerde kullanılmayacağı izah edilmiştir. Anket bitiminde iş sağlığı ve güvenliği biliminin misyon ve vizyonu, meslek hastalığı, nargilenin zararlı etkileri konusunda bilgi verilmiştir. Veri analizi "Statistical Package for Social Sciences for Windows" (SPSS) programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

4. Bulgular ve Tartışma

Aşağıdaki tabloda hipotezlerin nasıl kurulduğu görülmektedir. Genel anlamda ortaya konan hipotezlere cevap vermek için parametrik ve non-parametrik testler kullanılmış ve anlamlılık dereceleri yanlarında belirtilmiştir.

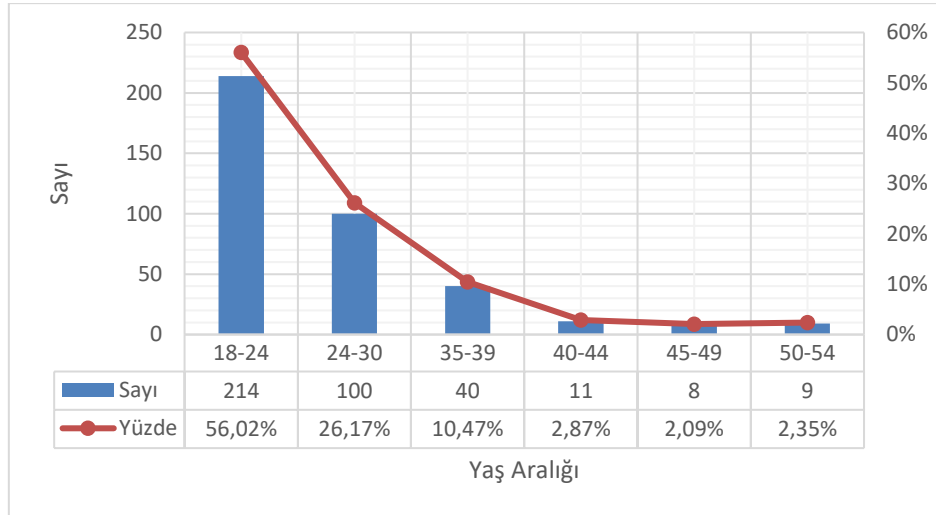
Hipotez testlerinde, sıfır hipotezi veya alternatif hipotezin kabulü ile ilgili p değeri kullanılmaktadır. p değerini bir istatistiksel modele bağlı olarak gözlemlenen örneklem sonuçlarının ne kadar aşırı olduğunu ölçmek için kullanılan bir fonksiyon şeklinde ifade edebiliriz ve p-değeri ne kadar küçükse, sıfır hipotezini reddetmeniz gerektiğine dair kanıt o kadar güçlüdür.

Tablo-3: Çalışma ile ilgili kurulan hipotezler, bulunan anlamlılık dereceleri ve test çeşitleri

Hipotezler		Anlamlılık Dereceleri ve Güç	Parametrik-Nonparametrik Testler
H1	H ₀ =Çalışanın yaşı ile güç ve dayanımın gerektirdiği nargile sunum hizmeti verme arasında anlamlı bir farklılık yoktur. H ₁ =Çalışanın yaşı ile güç ve dayanımın gerektirdiği nargile sunum hizmeti verme arasında anlamlı bir farklılık vardır.	p<0,05	ANOVA
H2	H ₀ =Zorunlu eğitim göz önüne alınarak, öğrenim durumu ve nargile sunum hizmeti verme arasında anlamlı bir farklılık yoktur. H ₁ =Zorunlu eğitim göz önüne alınarak, öğrenim durumu ve nargile sunum hizmeti verme arasında anlamlı bir farklılık vardır.	p=0,04 p=0,06	ANOVA-Post-Hoc Testi
H3	H ₀ =Cinsiyet ile nargile sunum hizmeti verme arasında anlamlı bir farklılık yoktur H ₁ =Cinsiyet ile nargile sunum hizmeti verme arasında anlamlı bir farklılık vardır.	p<0,05	t-testi
H4	H ₀ =Medeni halle nargile sunum hizmeti arasında anlamlı bir farklılık yoktur. H ₁ =Medeni halle nargile sunum hizmeti arasında anlamlı bir farklılık vardır.	p<0,05	t-testi
H5	H ₀ =İş tanımsızlığının bulunma durumları arasında anlamlı bir farklılık yoktur. H ₁ =İş tanımsızlığının bulunma durumları arasında anlamlı bir farklılık vardır.	p<0,05	Kruskal-Wallis testi, Mann Whitney testi
H6	H ₀ =Toplu koruma önlemi mevcudiyeti durumları arasında anlamlı bir fark yoktur. H ₁ =Toplu koruma önlemi mevcudiyeti durumları arasında anlamlı bir fark vardır.	p<0,05	Kruskal-Wallis testi, Mann Whitney testi
H7	H ₀ =Mesleki eğitim alma durumu ve nargile sunum hizmeti verme arasında anlamlı bir farklılık yoktur. H ₁ =Mesleki eğitim alma durumu ve nargile sunum hizmeti verme arasında anlamlı bir farklılık vardır.	p<0,05	Mann-Whitney testi
H8	H ₀ =Halk sağlığı ile ilişkilendirme ve nargile sunum hizmeti verme arasında anlamlı bir farklılık yoktur. H ₁ = Halk sağlığı ile ilişkilendirme ve nargile sunum hizmeti verme arasında anlamlı bir farklılık vardır.	p<0,05	Kruskal Wallis testi
H9	H ₀ =İş değişikliği düşünme ve nargile sunum hizmeti verme arasında anlamlı bir farklılık yoktur. H ₁ = İş değişikliği düşünme ve nargile sunum hizmeti verme arasında anlamlı bir farklılık vardır.	p<0,05	Kruskal Wallis testi-Mann Whitney
H10	H ₀ =Uzun sürelerle nargile dumanı solumadan kaynaklanabilecek hastalıklar bilgisi ve nargile sunum hizmeti verme arasında anlamlı bir farklılık yoktur. H ₁ =Uzun sürelerle nargile dumanı solumadan kaynaklanabilecek hastalıklar bilgisi ve nargile sunum hizmeti verme arasında anlamlı bir farklılık vardır.	p<0,05	Kruskal Wallis testi-Mann Whitney
H11	H ₀ =Uzun sürelerle nargile dumanı solumadan kaynaklanabilecek hastalıklar bilgisi ve nargile sunum hizmetinin halk sağlığı ile ilişkilendirilebilmesi arasında anlamlı bir ilişki yoktur. H ₁ =Uzun sürelerle nargile dumanı solumadan kaynaklanabilecek hastalıklar bilgisi ve nargile sunum hizmetinin halk sağlığı ile ilişkilendirilebilmesi arasında anlamlı bir ilişki vardır.	p<0,05	Regresyon Analizi
H12	H ₀ =Sağlık endişesi ile iş değişikliği düşünebilme ve uzun sürelerle nargile dumanı solumadan kaynaklanabilecek hastalıklar bilgisi arasında anlamlı bir ilişki yoktur. H ₁ =Sağlık endişesi ile iş değişikliği düşünebilme ve uzun sürelerle nargile dumanı solumadan kaynaklanabilecek hastalıklar bilgisi arasında anlamlı bir ilişki vardır.	p>0,05	Regresyon Analizi
H13	H ₀ =Uzun sürelerle nargile dumanı solumadan kaynaklanabilecek hastalıklar bilgisi ve sağlık endişesi ile iş değişikliği düşünebilme arasında anlamlı bir ilişki yoktur. H ₁ = Uzun sürelerle nargile dumanı solumadan kaynaklanabilecek hastalıklar bilgisi ve sağlık endişesi ile iş değişikliği düşünebilme arasında anlamlı bir ilişki vardır.	p>0,05	Regresyon Analizi
H14	H ₀ =Medeni hal ve ilerleyen yıllarda nargile sunum hizmetlerinde çalışmaya devam etme isteği arasında anlamlı bir ilişki yoktur. H ₁ =Medeni hal ve ilerleyen yıllarda nargile sunum hizmetlerinde çalışmaya devam etme isteği arasında anlamlı bir ilişki vardır.	p<0,05	Mann-Whitney testi
H15	H ₀ =Yaş grubu ve uzun sürelerle nargile dumanı solumadan kaynaklanabilecek hastalıklar bilgisi arasında anlamlı bir ilişki yoktur. H ₁ =Yaş grubu ve uzun sürelerle nargile dumanı solumadan kaynaklanabilecek hastalıklar bilgisi arasında anlamlı bir ilişki vardır.	p<0,01	Kruskal-Wallis testi-Mann-Whitney testi
H16	H ₀ =Yaş grubu ve sağlık endişesi ile iş değişikliği düşünebilme arasında anlamlı bir ilişki yoktur. H ₁ =Yaş grubu ve sağlık endişesi ile iş değişikliği düşünebilme arasında anlamlı bir ilişki vardır.	p<0,05	Kruskal-Wallis testi-Mann-Whitney testi
H17	H ₀ =Yaş grubu ve nargile sunum hizmetinin halk sağlığı ile ilişkilendirilebilmesi arasında anlamlı bir ilişki yoktur. H ₁ =Yaş grubu ve nargile sunum hizmetinin halk sağlığı ile ilişkilendirilebilmesi arasında anlamlı bir ilişki vardır.	p<0,05	Kruskal-Wallis testi-Mann-Whitney testi

Tablo-3'teki hipotezler iş sağlığı ve güvenliği kapsamındaki konular dahilinde ortaya konulmuştur. İlk 4 hipotez katılımcıların çeşitli özelliklerinin nargile hizmeti verme ile ilişkisinin olup olmadığına yönelik ortaya konulmuştur. İş tanımının net bir şekilde ortaya konulduğu durumlarda verilen hizmetteki değişimin gösterilmesi için 5. kurulmuş, toplu korunma mevcudiyetinin ne durumda olduğunun istatistiki değerlendirmesi için 6. Hipotez oluşturulmuştur. Mesleki eğitim alma ve nargile hizmeti verme arasındaki ilişki için 7. Hipotezde gösterilmiştir. Sonraki 6 hipotez bilgisi, sağlık nedenlerinden iş değiştirme ve halk sağlığı ilişkilendirmeleri ile ilgili ortaya konulmuş testlerdir. Medeni hal ve nargile sunma arasındaki ilişki 14. Hipotezde gösterilmiştir. Geriye kalan üç hipotezde yaş grubu ile hastalık bilgisi, sağlık nedenlerinden iş değiştirme ve halk sağlığı ilişkilendirmeleri arasındaki ilişkilerin incelenmesi için ortaya konmuştur.

Şekil-3'te katılımcıların yoğunluk gösterdiği yaş aralığı % 56,02 (n=214)'lik bir oranla 18-24 yaş aralığı olduğu görülmektedir. Tunç ve Kayıhan (2018), Özcebe ve ark.(2015) benzer sonuçlar ortaya koyarak kafelerde hizmet üreten çalışanların yaşları ve çalışma ortamlarını betimlemişlerdir. Çalışanın yaşı ile güç ve dayanıklılık gerektirdiği nargile sunum hizmeti verme arasında anlamlı bir farklılık var olduğu (Tablo-3/H-1/p<0,05) ANOVA testinden hareketle gözlemlenmiştir. Genç yaşlarda sayının yüksek olduğu gözlemlenmekle beraber, özellikle 35-40 yaşlarına göre yapılan bir bölümlenme de bu farkın daha net bir şekilde ortaya konduğu görülmüştür. Sağlık sorunlarını hissetmenin yoğunlaştığı 50-54 yaş aralığındaki (%9) çalışanların güç ve dayanıklılık gerektirebilen bir sektörde çalışabilmesi dikkat çekici bir unsur olarak çalışmada yerini almıştır. Burada iş sağlığı ve güvenliği açısından yaş faktörüne göre İSG kültürünün genç kuşak arasında daha yaygın oturtulması gerektiği ve yaptıkları işin kendilerine verdiği katkıyı ölçebilmeleri de önemli olmaktadır.



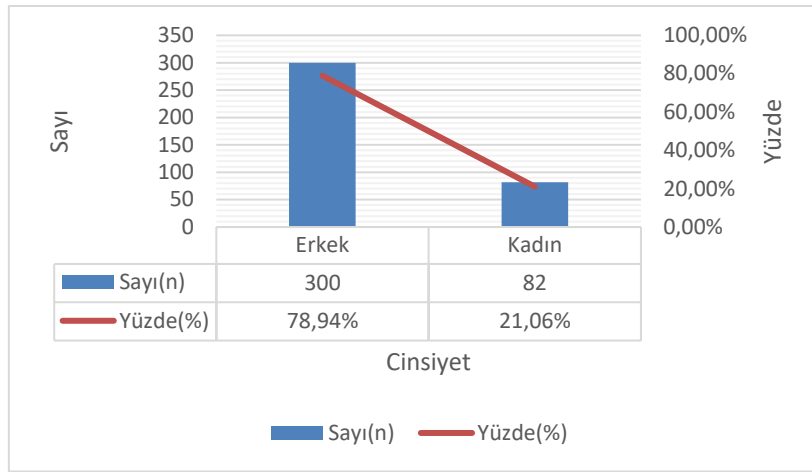
Şekil 3. Katılımcıların Yaş Dağılımı

Şekil-4'te katılımcıların %78,94'ünün (n=300) erkek olduğu görülmektedir. Cinsiyet ile nargile sunum hizmeti verme arasında anlamlı bir farklılık var olduğu (Tablo-3/H-3/p<0,05) t testiyle belirlenmiş olup, çalışma şartlarının ağırlığı ve erkek egemen bir ortamdan hareketle gelen bir kültürü içermesinin etkili olduğu düşünülmektedir. Ancak istihdam edilen kadın sayısında bir artış olması ve sosyal ortamlara girişte etkin olması sebebiyle gerek için gerekse hizmet veren tarafta kadınların daha çok yer aldığı gözlemlenmektedir. İSG açısından alınacak tedbirlerde iş tanımının net belirlenmesi, karşılaşılabilecek risk kapsamında nezih bir ortam sunulması konusunda çaba gösterilmesi, İSG mevzuatına hakimiyet ve psikososyal risklerin indirgenmesi sağlanacaktır.

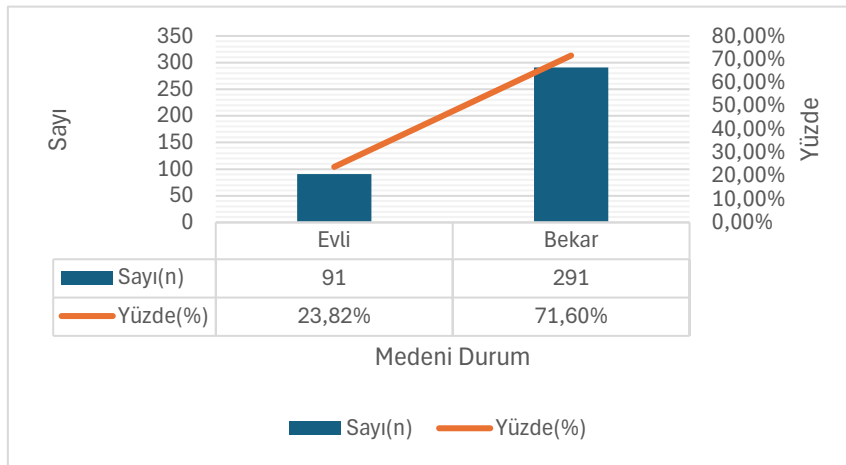
Şekil-5'te katılımcıların %23,82'si (n=91) evli olduğu görülmektedir. Bu sonuç kafeteryalarda hizmet üreten birçok çalışanın bekar olduğu izlenimini uyandırmaktadır ve medeni hal ile nargile sunum hizmeti verme arasında anlamlı bir farklılık olduğunu göstermektedir (Tablo-3/H-4/p<0,05). Mesai saatlerinin uzun oluşu, göreceli olarak akşam oluşabilecek yoğunluklar, evli insanlara has olabilecek olan 'Eve aidyet, eve geç kalmamak, beklenilme hissi, bakımı ile ilgili sorumluluk alınan kişiler' gibi durumlar ilgili mesleği tercih etmemenin sınırlılıklarını oluşturabilmektedir.

Sağlıklı evlilik hayatının pozitif etkisi, halk sağlığını olumsuz etkileyen ortamlardan ve bulaş yollarından kişileri korumaktadır. Sunal ve ark.(2016) makalelerinde iş ve aile çatışması boyutlarını mükemmeliyetçilik bağlamında değerlendirirken benzer çıkarımlar yapmışlardır. Urgancı ve Eker (2018) çalışmalarında evlilik doyumunun, iş hayatında başa çıkılması zor olabilen etkenlerle başa çıkamadaki önemli rolünü vurgulamışlardır. Ayrıca halk sağlığını korumaya yönelik çeşitli sınırlandırmalar, düzenli sağlık taramaları, devlet tarafından belirlenecek özel

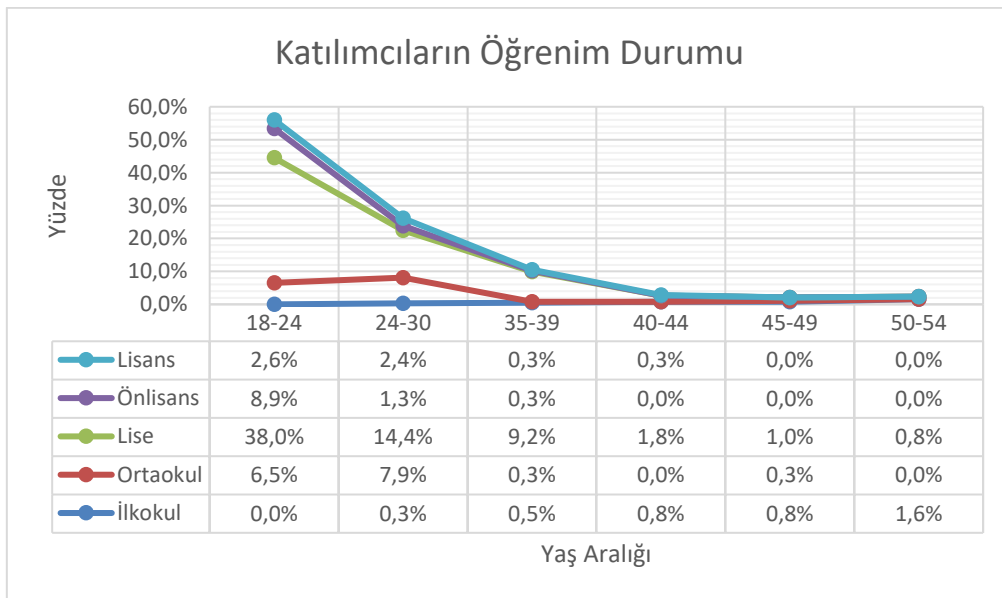
politikalar, ağır metal bulaşısını engelleme yönünde çeşitli düzenlemeler İSG kapsamında akla gelen ilk tedbirler olacaktır.



Şekil 4. Katılımcıların Cinsiyet Dağılımı

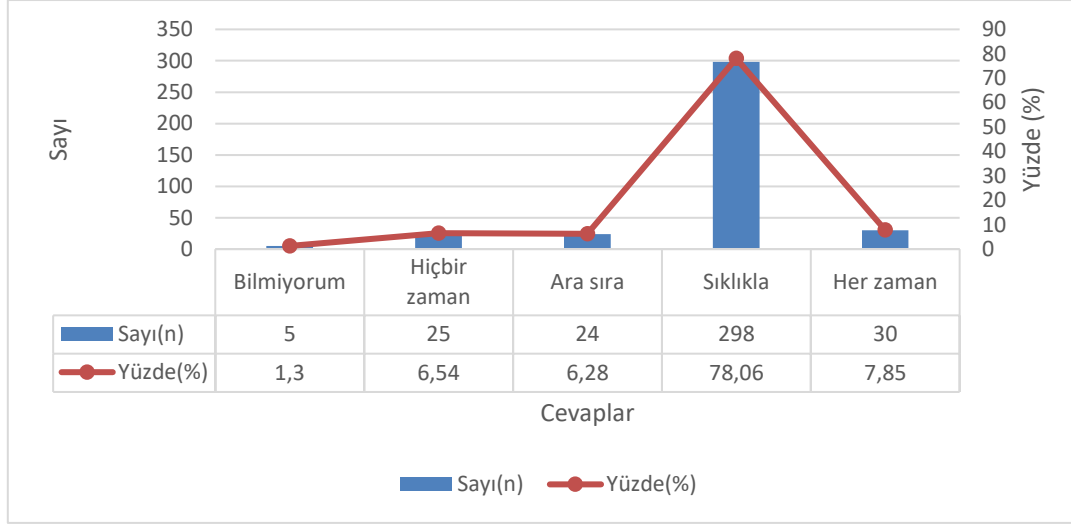


Şekil 5. Katılımcıların Medeni Hali



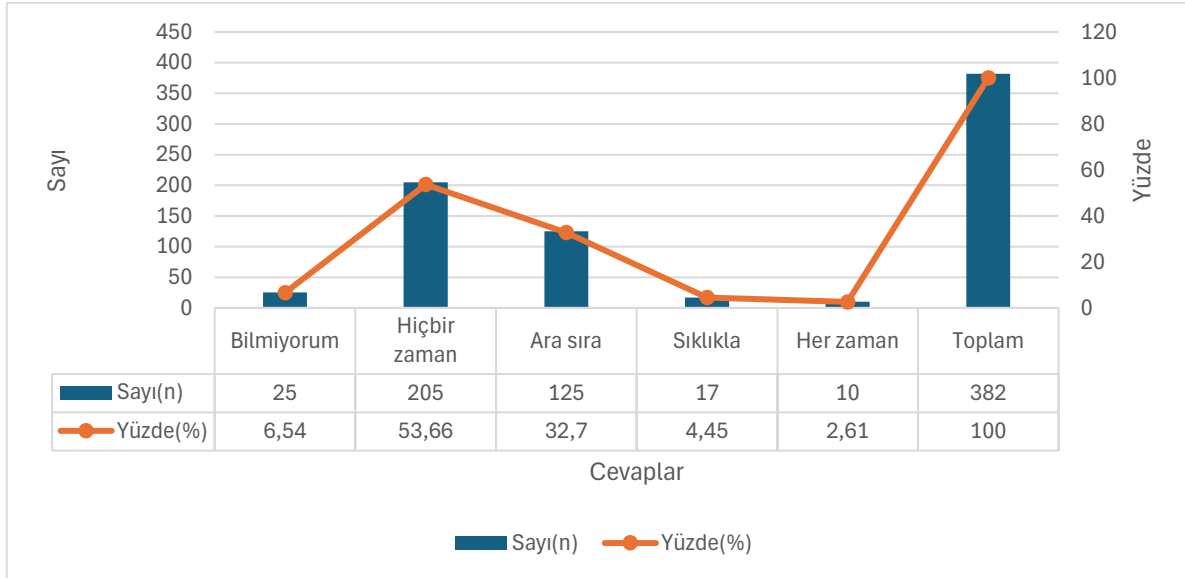
Şekil 6. Katılımcıların Öğrenim Durumu

Şekil-6’da katılımcıların %7 ‘sinin (n=15) ilköğretim seviyesinde bir öğrenime sahip olduğu, lise mezunu katılımcılarda bu oranın %65,1’e (n=249) çıktığı ve lisans düzeyinde eğitim seviyesine sahip olanların, örneklemin %5,49’unu (n=21) oluşturduğu belirlenmiştir. Yaş Aralığı ve mezuniyet aynı anda ele alınıp bu çerçevede istatistiksel bir analiz yapıldığında mezuniyet faktörünün bu istihdamda anlamlı bir farka sebep olduğu görülmüşken (Tablo-3/H-2/p=0,04) yaş faktörü için bu durumun gözlemlenemediği görülmüştür. (Tablo-3/H-2/p=0,06). Buradan hareketle, her iki faktöründe istihdam açısından anlamlı etkisi varken; birlikte incelendiğinde, bu farkın mezuniyet faktörü açısından devam ettiği ama yaş faktörü açısından etki etmediği gözlemlenmiştir. Fidan ve ark.(2005) ‘da bulunan sonuçların çalışmamızla uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca literatürde benzer sonuçlara ulaşmış olan makaleler bulunmaktadır.



Şekil 7. Çalışma Ortamında Mevcut Olan Her İş İçin Görevlendirilebilme (İş Tanımsızlığı) Durumunun Yüzdelik Dağılımı

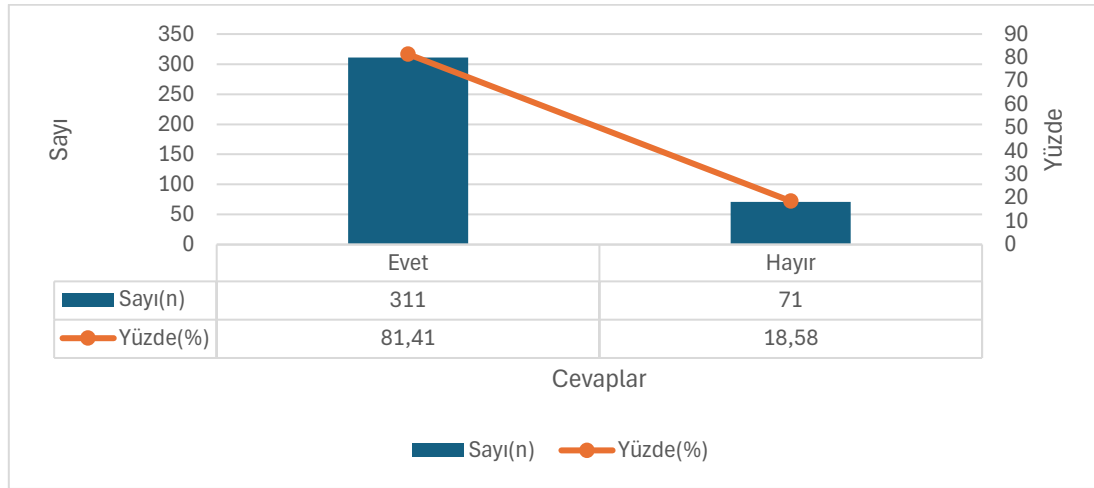
Şekil-7’de katılımcıların %78,6’sı (n=298) çalışma ortamlarında sıklıkla iş tanımsızlığı ile karşılaştıklarını belirtmişlerdir. 5 kişi bu konuda hiçbir fikri olmadığı görüşünü beyan etmiştir. İş tanımsızlığının bulunma durumları arasında anlamlı bir farklılık gözlemlenmekle beraber, veri setini ikiye ayırdığımızda bu farklılığın daha net bir şekilde ortaya konduğu gözlemlenmiştir (Tablo-3/H-5/p<0,05). Aytaç ve İlhan (2008) iş tanımsızlığının, çalışma hayatında sömürü için zemin hazırlayan en önemli unsurlardan biri olduğunu belirtmişlerdir. Literatürde benzer sonuçlara ulaşmış olan çalışmalar bulunmaktadır (Çelikten, 2005; Bolat, 2011).



Şekil 8. İşverenlerin Çalışma Ortamında Toplu Korunma Önlemi Alma Durumuna Dair Görüşlerin Yüzdelik Dağılımı

Personelin içinde bulunduğu şartları değerlendirmesi ve bu yönde aldığı kararın doğruluğunu anlayabilecek bir bilince sahip olması da İSG anlamında önem kazanmaktadır. Verecekleri hizmet konusunda alacakları oryantasyon veya eğitimde işlerin daha güvenli bir şekilde yürütmesi katkı sağlamakla beraber, çeşitli sağlık sorunları olan kişilerin nargile hizmetinde ne şekilde görevlendirilmesi gerektiği ayrıca dikkat edilmesi gereken bir husustur (Alerji, solunum yolları hastalıkları, cilt hastalıkları vb.)

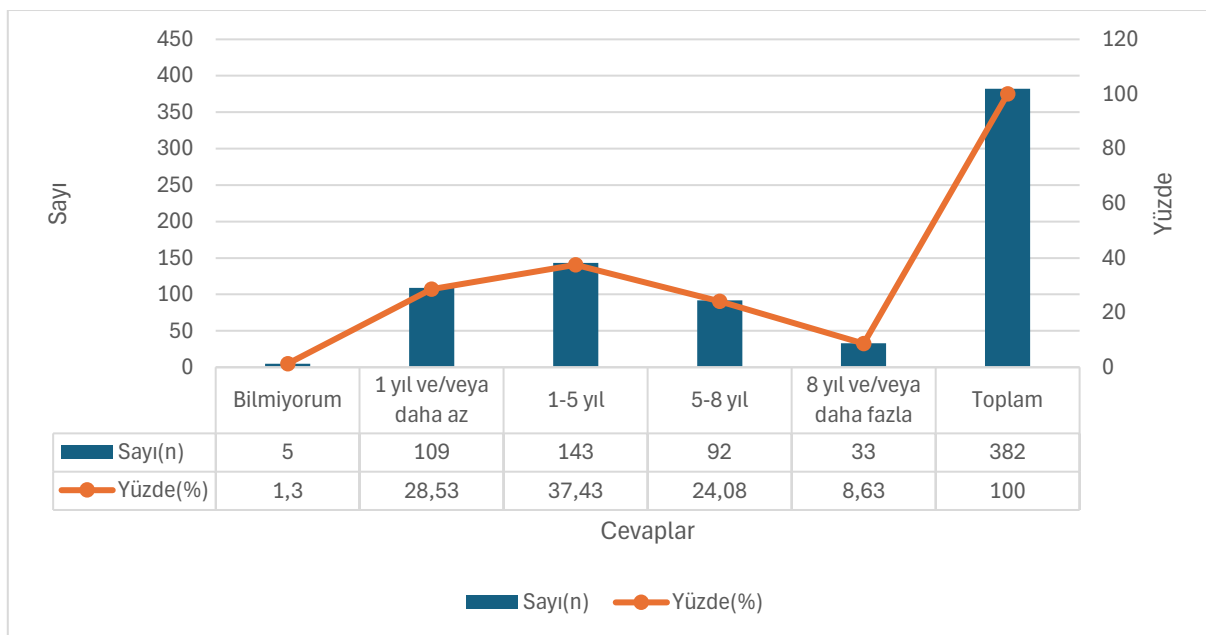
Şekil-8’de katılımcıların sadece %2,61’i (n=10) çalışma ortamında toplu koruma önlemi alındığını belirtmiştir. Maalesef toplu koruma önlemi mevcudiyeti durumları arasında anlamlı bir fark olduğu ve iki cevaplı bir testte bu farkın daha anlamlı bir yere oturduğu tespit edilmiştir (Tablo-3/H-6/p<0,05). İş sağlığı ve güvenliğini konu alan birçok makalede bireysel korumanın en son başvurulabilecek yöntem olduğu, toplu koruma önlemlerinin kazaları kabul edilebilir seviyeye çekebilmede daha başarılı olduğu ifade edilmektedir (Akman, 2019, Korkmaz & Avsallı, 2012; Horozoğlu, 2017).



Şekil 9. Katılımcıların İş Yerinde Nargile Sunum Hizmeti Üretme Durumu Yüzdelik Dağılımı

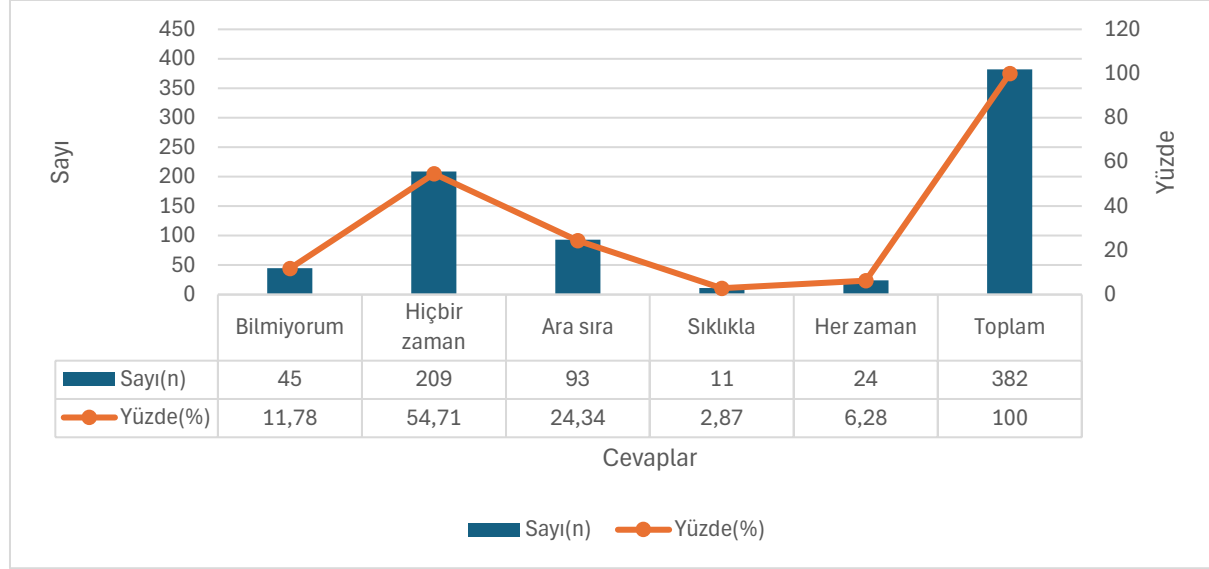
Şekil-9’da katılımcıların %81,41’i (n=311) çalıştıkları alanda nargile sunum hizmeti ürettiklerini belirtmiştir.

Şekil-10’da katılımcıların %8’i (n=33) 8 yıl ve üzeri sürede nargile sunum hizmeti işinde çalıştığını belirtmiştir. Bu durum bahsi geçen iş sektöründe çalışan kişilerin, muhtelif sebeplerle sıklıkla iş değiştirdiği; iş verenlerin çalışan tercih ederken tecrübe aramayabildiklerini düşündürmektedir. Arifoğlu ve ark.(2021) kafe sahibi iş verenlerin maddi kazanç kaybına uğramamak için çalışanların iş hayatlarının sürdürülebilirliği konusunda ihmalkar davrandıklarını belirtmiştir.

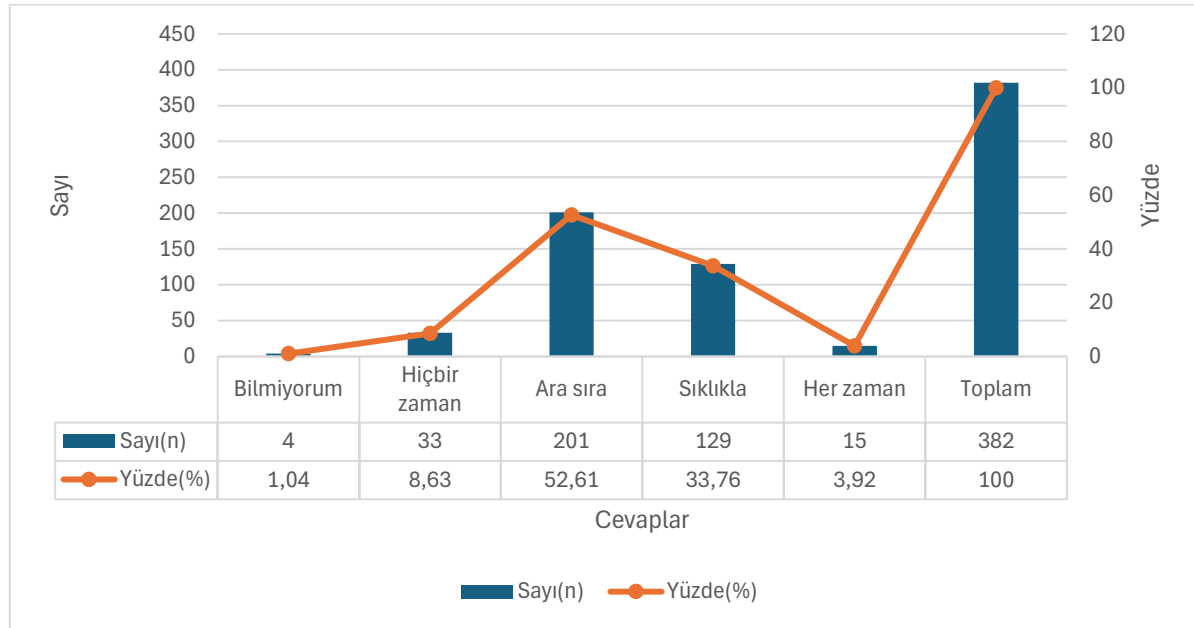


Şekil 10. Nargile Sunum Hizmetinde Çalışma Süresinin Yüzdelik Dağılımı

Şekil-11’de katılımcıların %54,71’i nargile sunum hizmetini halk sağlığı ile ilişkilendirmemiştir. Halk sağlığı ile ilişkilendirme konusunda verilen cevaplarla, nargile sunum hizmeti verme arasında anlamlı bir farklılık olduğu belirlenmiştir (Tablo-3/H-8/p<0,05). Nargilenin sigaraya oranla daha az zararlı bulunması, su ihtiva ettiği için zararlarından arınmış hissedilmesi, kadim geleneklerimizle özdeşleştirilmeye çalışılması halk sağlığının bünyesindeki konulardır. İSG kapsamında da mesleki eğitim konusunda bu noktaya parmak basılması önem arz etmektedir.



Şekil 11. Nargile Sunum Hizmeti İşinin Halk Sağlığı ile İlişkilendirilebilmesi Durumunun Yüzdelik Dağılımı

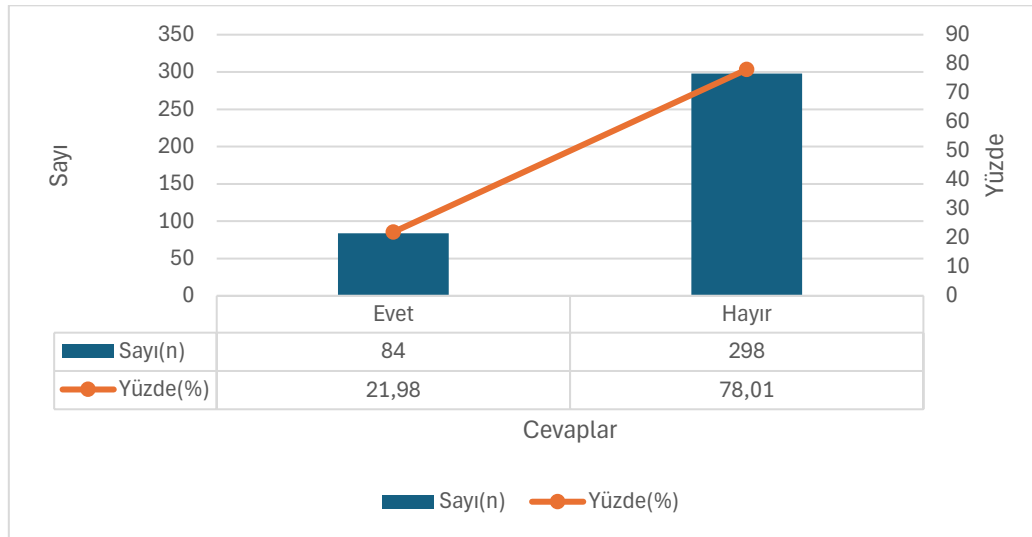


Şekil 12. Katılımcıların Sağlık Endişesiyle İş Değişikliği Planlama Durumunun Yüzdelik Dağılımı

Şekil-12’de katılımcıların %33,76’sı (n=129) sağlık endişesi ile iş değişikliği planladıklarını belirtmişlerdir. İş değişikliği düşünme ve nargile sunum hizmeti verme arasında anlamlı bir farklılık olmakla beraber ara sıra bu düşünce içerisinde giren kişi sayısı diğerlerine göre daha fazla görülmektedir (Tablo-3/H-9/p<0,05). Bu düşünce içerisindeki personellerle beraber iki aşamalı bir cevap için yapılan testte iş değişikliğini düşünenlerin sayısı anlamlı bir şekilde farklı olduğu gözlemlenmiştir.

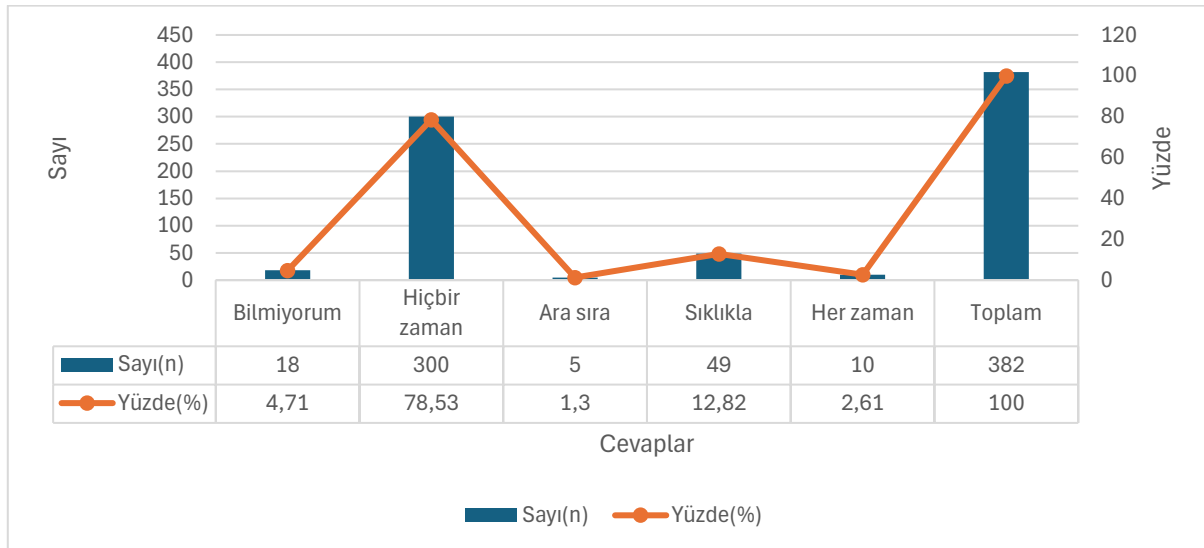
Topçuoğlu ve Özdemir (2003)'e göre toplumda iş sağlığı ve güvenliğinin gelişimini, içselleştirilmesini sağlayan en önemli unsur tehlike ve riskleri fark edebilmektir. İş değiştirme algısı, etkileri ve sonuçlarına dair benzer çıkarımlarda bulunan makaleler vardır (Ulutaş 2019, Halis & Çamlıbel, 2011).

Şekil-13'te katılımcıların %78,01'lik (n=298) dilimi işe başlamadan önce mesleki eğitim almadan işe başladıklarını ifade etmiştir. Mesleki eğitim alma durumu yönünden nargile hizmeti veren kişiler arasında anlamlı bir fark olduğu ortaya konulmuştur (Tablo-3/H-7/p<0,05)



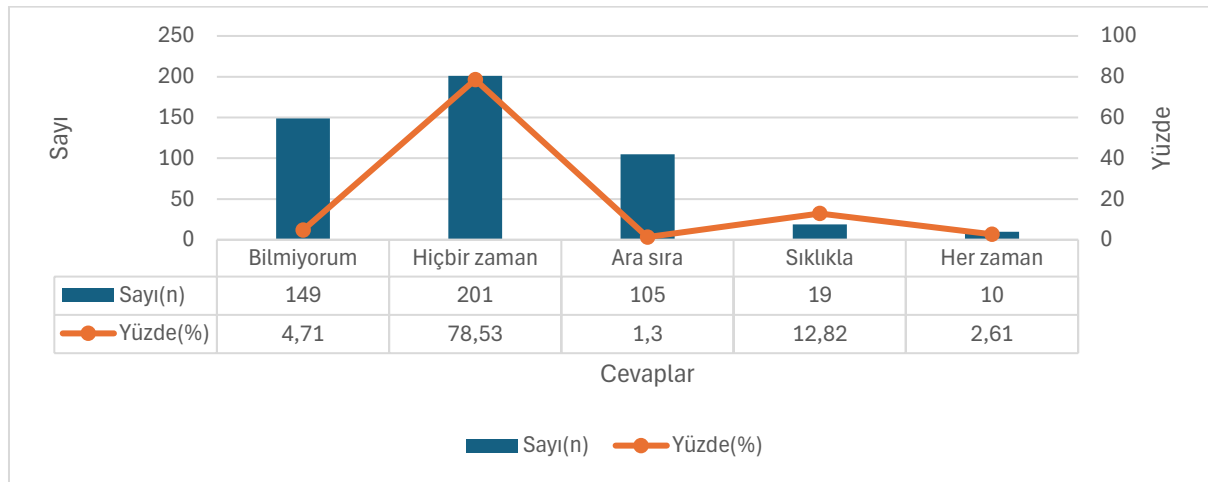
Şekil 13. Katılımcıların İşe Başlamadan Mesleki Eğitim Alma Durumu Yüzdelik Dağılımı

Savaşkan ve Çatı (2020)'de Batman ilinde kafe ve restoranlarda müşteri memnuniyetinin alınacak mesleki eğitimle mümkün olabileceğini belirtmişlerdir. Müşteri memnuniyetinin çalışan memnuniyetine yansıyan olumlu yönleri de göz önünde bulundurulmalıdır.



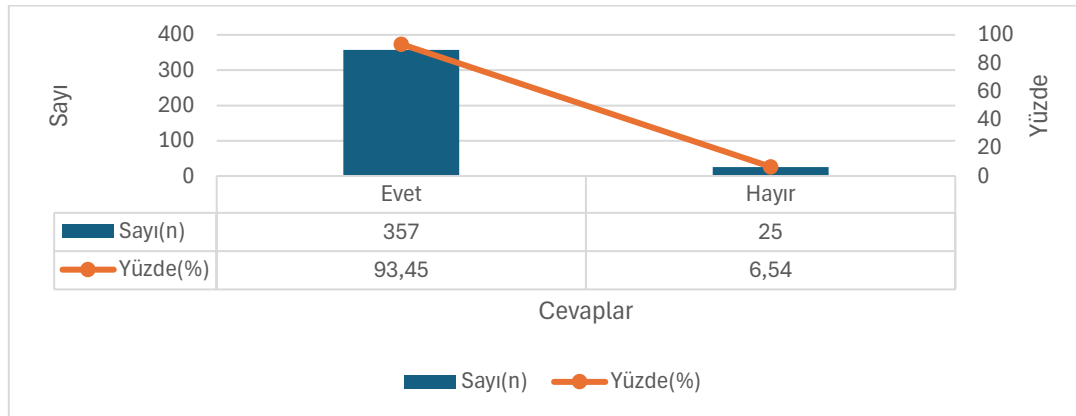
Şekil 14. Katılımcıların Nargile Sunum Hizmetinde Çalışabilmek İçin Mesleki Eğitime İhtiyaç Duyulabilme Durumuna Dair Yüzdelik Dağılım

Şekil-14'te katılımcıların %2,61'si (n=10) her zaman nargile sunum hizmetinde çalışabilmek için mesleki eğitime ihtiyaç duyulabileceklerini ifade etmiştir. Hiçbir zaman mesleki eğitime ihtiyaç duymayanların yüzdelik dilimi %78,53 oranı ile çalışmamızdaki yerini almıştır. Bu çerçevede personeli eğitim kapsamında da bir bilinçlendirme çabası içine atılması gerekmektedir. Baykal (2022) Meram ilçesindeki bir kafe üzerinden mesleki eğitimin gerekliliğini ortaya koymuştur. İSG açısından ilgili kültürün yaygınlaşmasının önemini bu grafikten net bir biçimde anlaşılabilmektedir.



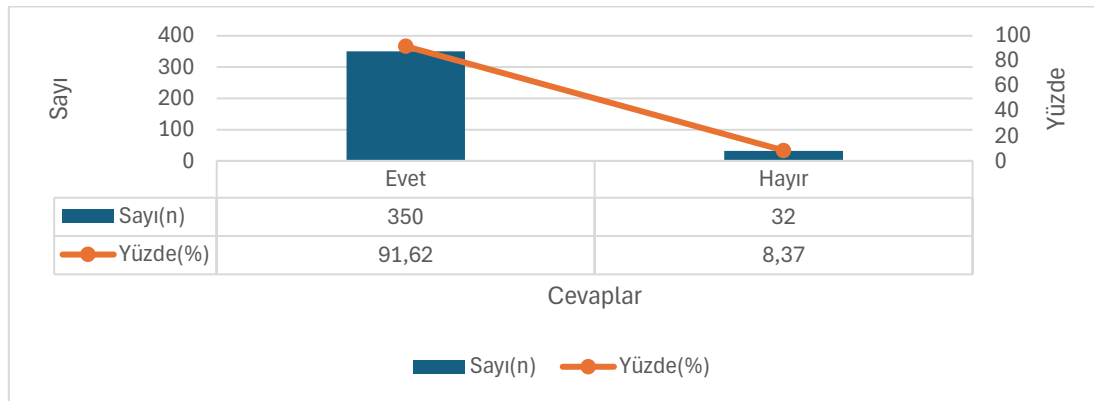
Şekil 15. Katılımcıların Uzun Süreler Boyunca Nargile Dumanı Solumaktan Kaynaklanabilecek Hastalıklardan Haberdar Olma Durumu Yüzdelik Dağılımı

Şekil-15'te katılımcıların %78,53'ü (n=201) uzun sürelerle nargile dumanı solumaktan kaynaklanabilecek hastalıklardan haberdar olmadıklarını söylemişlerdir. Uzun sürelerle nargile dumanı solumadan kaynaklanabilecek hastalıklar bilgisi dahilinde nargile hizmeti veren kişiler arasında anlamlı fark gözlemlenmekle beraber mesleki eğitim, karşılaşılabilecek riskler, sağlık sorunları kapsamında çeşitli tedbirlerin alınması ve eğitim verilmesinin gerekliliği gözlemlenmektedir (Tablo-3/H-10/p<0,05).



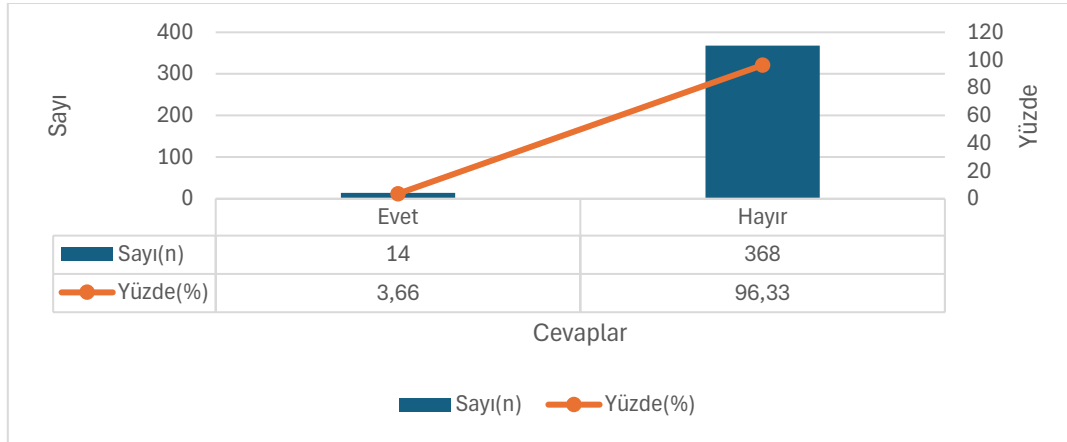
Şekil 16. Katılımcıların Çalışma Ortamında İş Kıyafeti Kullanma Durumu Yüzdelik Dağılımı

Şekil-16'da katılımcıların %6,54'ü (n=25) çalışırken iş kıyafeti giymediklerini belirtmişlerdir. Özellikle ağır metallerin kıyafetlere bulaşı durumu ve oluşabilecek sağlık sorunlarının göz önüne alınması gerektiği bu grafikten net bir şekilde anlaşılmaktadır.



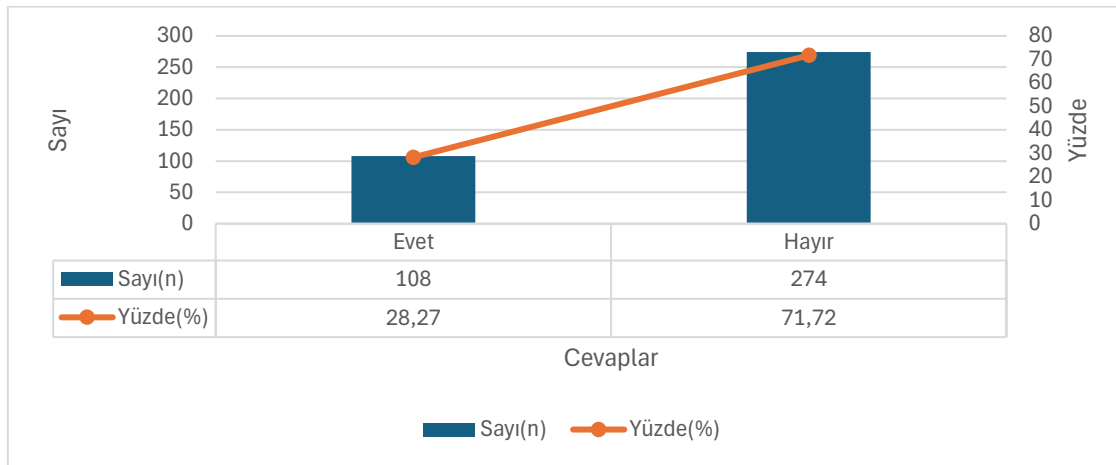
Şekil 17. İş Kıyafeti Kullanan Katılımcıların, Kıyafetlerini Yaşadıkları Hanede Yıkama Durumu Yüzdelik Dağılımı

Şekil-17’de katılımcılardan iş kıyafeti kullananların %91,62’si kirlendiklerini düşündükleri iş kıyafetlerinin yaşadıkları hanede yıkadıklarını söylemişlerdir. Önceki durumla ilişkili olarak karşılaşılan durum ve tedbir toplumun sahip olduğu bilinci de net bir şekilde göstermektedir.

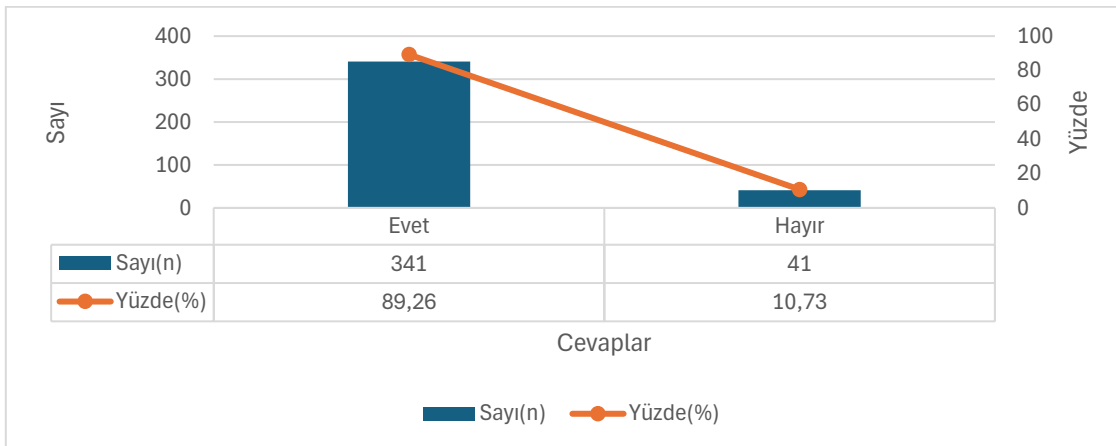


Şekil 18. Katılımcıların; Elbiselere Bulaşan Ağır Metallerin, Bulaş Olmamış Giysilerle Bir Arada Yıkınca, Tümünün Ağır Metalli Giysi Haline Gelebileceğini Bilme Durumu Yüzdelik Dağılımı

Şekil-18’de katılımcıların %3,66’sı (n=14) elbiselere bulaşan ağır metallerin, bulaş olmamış giysilerle bir arada yıkınca, tümünün ağır metalli giysi haline gelebileceğini bildiklerini belirtmişlerdir. Önceki durumlarla beraber bu bilince sahip olup olunmadığı yine incelenmiş ve durum net bir şekilde yine ortaya konulmuştur.



Şekil 19. Katılımcıların İlerleyen Yıllarda Nargile Sunum Hizmeti Kapsamındaki İşlerde Çalışmaya Devam Etme İsteği Yüzdelik Dilimi



Şekil 20. Katılımcıların Çalıştığı Ortamlarda Kapalı Mekanda Nargile Tüketilebilme Durumu Yüzdelik Dilimi

Şekil-19'da katılımcıların %71,72'si (n=274) ilerleyen yıllarda nargile sunum hizmeti kapsamındaki işlerde çalışmaya devam etmeyeceklerini belirtmiştir. Daha önceki sorularda belirtilen cevaplarla beraber, yapılan hizmetin geçici kapsamda bir düşünceyle yapıldığı gözlemlenmiştir.

Şekil-20'de katılımcılar çalıştıkları kafe tarzı işletmelerin %89,26'sında (n=341) kapalı mekanlarda nargile içilebildiğini ifade etmiştir. Bulunan sonuç literatürdeki sonuçlarla uyumludur (Topcu ve Zorlu, 2021; Küçük, 2016; Al-Naggar ve Ark. 2012).

Tablo-4'te katılımcılardan yaş grubu 45-49 yaş aralığında olanların uzun süreli nargile dumanı solumadan kaynaklanabilecek hastalık bilgisi arasında Kruskal Wallis testiyle anlamlı bir fark bulunmuştur (Tablo-3/H-15/p<0,01). Yaş ve sağlık endişesi ile iş değişikliği düşünme arasında yine anlamlı bir fark bulunmuş olup, 35-39 yaş grubu aralığına yoğunlaştığı dikkat çekmiştir (Tablo-3/H-16/p<0,05). Aynı bağlamda 18-24 yaş grubu katılımcıların frekansı düşüktür. Diğer bir grup olan yaş ile nargile sunum hizmetinin halk sağlığı ile ilişkilendirilmesinde de anlamlı fark aynı şekilde farklı bulunmuştur (Tablo-3/H-17/p<0,05)

Bunlarla beraber sonuçlar arasında bir ilişki olup olmadığı da incelenmiş ve uzun sürelerle nargile dumanı solumadan kaynaklanabilecek hastalıklar bilgisi ve nargile sunum hizmetinin halk sağlığı ile ilişkilendirilebilmesi anlamında aralarında net sayılabilecek bir regresyon çalışması ortaya konulmuş ve R^2 , Adj R^2 ve Pred R^2 değerlerinin genel anlamda 0,95 üzeri olduğu tespit edilmiştir (Tablo-3/H-11/p<0,05). Yapılan diğer ilişkiye yönelik regresyon çalışmalarında uzun sürelerle nargile dumanı solumadan kaynaklanabilecek hastalıklar bilgisi ve sağlık endişesi nedeni ile iş değişikliği düşünme arasında anlamlı bir ilişki bulunamamış (Tablo-3/H-12/p>0,05). Aynı şekilde nargile sunum hizmetinin halk sağlığı ile ilişkilendirilebilmesi ve sağlık endişesi nedeni ile iş değişikliği düşünme arasında anlamlı bir ilişki yine bulunamamıştır (Tablo-3/H-12/p>0,05).

Tablo 4. Katılımcıların Yaş Grubu ile Diğer Bazı Parametrelerin Birlikte Değerlendirilmesi

Yaş grubu	Sayı(n)	Uzun sürelerle nargile dumanı solumadan kaynaklanabilecek hastalıklar bilgisi (n,;%)		Nargile sunum hizmetinin halk sağlığı ile ilişkilendirilebilmesi (n,;%)		Sağlık endişesi ile iş değişikliği düşünme(n,;%)		Toplam
18-24	214	54	25,17	32	15,89	15	7,31	214
24-30	100	42	42,09	28	27,65	16	15,88	100
35-39	40	13	32,45	8	19,87	19	47,90	40
40-44	11	2	17,15	3	23,11	2	21,43	11
45-49	8	4	52,01	2	22,44	3	32,88	8
50-54	9	3	35,47	6	7,26	1	15,93	9
Toplam	382							382

Tablo-5'te katılımcılardan evli olanlar ile ilerleyen yıllarda nargile sunum hizmetlerinde çalışmaya devam etme isteğini belirtme durumu arasında anlamlı bir fark Mann-Whitney testi ile bulunmuştur (Tablo-3/H-12/p<0,05). Güçlü aile bağlarının mesleki anlamda nargile sunumuyla paralel olduğu pek söylenememektedir.

Tablo 5. Medeni Hal ve İlerleyen Yıllarda Nargile Sunum Hizmetlerinde Çalışmaya Devam Etme İsteği Durumu

Medeni hal	Sayı (n)	İlerleyen yıllarda nargile sunum hizmetlerinde çalışmaya devam etme isteğini belirtme durumu yüzde (%)	Toplam
Evli	53	58,24	91
Bekar	140	48,10	291
Toplam			382

5. Sonuç ve Öneriler

5.1. Genel Durum

Kadim zamanlardan günümüze kadar insanın bir araya gelme ihtiyacı, birlikte vakit geçirebileceği mekanlar arayışını da beraberinde getirmiştir ve bu ihtiyaç her dönemde var olmuştur, olmaya da devam edecektir.

Tablo 6. Mesleki Eğitim, Karşılaşılabilecek Risk ve Sağlık Yönünden Alınabilecek Tedbirler ve Tavsiyeler

Mesleki Eğitim	Karşılaşılabilecek Riskler	Sağlık
Kafeterya çalışanlarının iş tanımları genellikle net bir şekilde ortaya konulamamaktadır. İş yerinde oluşabilecek her türlü görev için çalışanların görevlendirilebileceği algısı hakim olduğundan, belirli bir iş tanımının yapılması zorlaşmaktadır. Servis sektöründe sıkça karşılaşılan bu durum için farklı ülkelerdeki uygulamalar incelenebilir ve personel yaklaşımı daha profesyonel bir hale getirilebilir.	İşverenler, mevcut risk ve tehlikelere karşı toplu koruma önlemleri almamaktadır. Bu tür önlemlerin alınabilmesi için özgün ve katma değeri yüksek bir güvenlik kültürü oluşturulmalıdır. İşçilerin bu kültüre uygun hareket etmeleri teşvik edilmeli, müşterilerde de bu farkındalık yaratılarak daha nezih bir ortam sağlanmaya çalışılmalıdır. Kapalı alanlarda tütün ürünlerinin içilmesinin yasak olduğu vurgulanmalı, personelin nargile dumanına maruziyeti engellenmeli ya da en aza indirgenmelidir.	Nargile sunumu ve dumanından kaynaklanabilecek risk ve tehlikeler, halk sağlığı açısından büyük bir öneme sahiptir. Bu konuda mevcut bilincin daha yaygın bir şekilde artırılması gerekmektedir.
Personelin çalışma koşullarını değerlendirip, varsa eksiklikleri belirlemek için bir altyapıya sahip olmaları gerekmektedir. Bu altyapı, eğitim aldıkları okullarda farklı seviyelerde işlenmeli ve bu konuda bir bilinç oluşturulmalıdır. Kamu kurumları, bu bağlamda üzerlerine düşen görevleri özellikle bilinçlendirme ve denetim anlamında titizlikle yerine getirmektedir.	Nargile sunumu, mesleki eğitim gerektiren bir hizmettir; ancak bu alanda genellikle tecrübesiz çalışanlar görev almaktadır. Bu durumda, iş kazası oranlarının yüksek olması beklenebilir. Nargile servisi yapılan mekanlarda sadece servis değil, aynı zamanda işlerin doğru sınıflandırılması ve personelin bu doğrultuda yetiştirilmesi gereklidir. Bu sayede çalışanlar için daha rahat bir ortam oluşturulacak, işveren ise süreci daha sağlıklı bir şekilde yönetebilecektir.	Mevcut personelin bu kapsamda bilinçlendirilmesi, müşterilerde farkındalığın oluşturulması ve kafe bazında net tedbirlerin alınması önemlidir.
Bu sektördeki personelin görev tanımlarının yapılabilmesi için işbaşı eğitimlerinden ve farkındalık yaratmaya yönelik iş güvenliği eğitimlerinden faydalanılabilir. Böylece daha sağlıklı ve güvenli çalışma ortamlarına ulaşılabilir.	İş sağlığı ve güvenliği mevzuatına hakim olunmalı, bu mevzuata uyum sağlanmalı ve risk değerlendirmesi ile iş sağlığı politikaları hakkında farkındalık kazandırılmalıdır.	Nargile sunumu yapan işletmeler, devlet tarafından belirli periyotlarla denetlenmeli ve özel politikalarla takip edilmelidir. Ayrıca, nargile dumanına maruziyet seviyeleri ölçülmeli ve kanuni prosedürlere titizlikle uyulmalıdır.
Tütün ve nargile dumanının içerdiği zararlı maddelerin sağlık üzerindeki uzun vadeli olumsuz etkileri hakkında ayrıntılı bilgi verilmelidir. Ayrıca, pasif içicilik riskleri ve bu risklerden korunma yolları da açıklığa kavuşturulmalıdır.	Dumandan kaynaklanan riskler için etkili bir havalandırma sistemi kurulmalı ve duman maruziyeti sınırlandırılmalıdır.	Kafeteryalarda kullanılan iş kıyafetleri iş yerinde yıkanmalı, olası ağır metal bulaşmalarının önlenmesi sağlanmalıdır.
Bu tür ürünlerin içerdiği kimyasal bileşikler (örneğin karbonmonoksit) hakkında bilgilendirme yapılmalı ve bu maddelerden korunma yolları anlatılmalıdır.	Yangın riski açısından, kullanılan malzemelere ve aparatlara dikkat edilmelidir. Ayrıca, nargile kömürleri için gerekli güvenlik önlemleri eksiksiz bir şekilde alınmalıdır.	İşyeri hekimleri, işe giriş ve periyodik muayeneler ile nargile dumanının insan sağlığı üzerindeki etkilerini izlemeli ve kontrol etmelidir.
Yangın güvenliği ve acil durum eğitimlerinin verilmesi gerekmektedir.	Hijyen ve enfeksiyon riski açısından, tek kullanımlık ekipmanlar, ortam temizliği ve atık yönetimi konularına özen gösterilmelidir.	Havalandırma sistemlerine özen gösterilmeli, karbonmonoksit dedektörleri ve duman filtreleme sistemleri güçlendirilmelidir.
Duman kaynaklı zehirlenmeler ve diğer acil durumlar için ilk yardım eğitimi verilmelidir. Özellikle karbonmonoksit zehirlenmesi konusunda özel eğitimler düzenlenmelidir.	Fiziksel riskler için, ağır ve sıcak ekipmanların taşınma şekli dikkatle belirlenmeli; kayma ve düşme gibi risklere karşı önlem alınmalıdır.	Kimyasal maddelere ve duman maruziyetine karşı çeşitli önlemler alınarak bu riskler en aza indirilmelidir.
	Psikososyal riskler açısından, müşteri ile etkileşimde belirli bir standart korunmalı, çalışma süreleri ve molalar dengeli bir şekilde düzenlenmelidir.	

İnsanlar bu ihtiyacını bazen evlerinde, stadyumlarda, mabetlerde, kütüphanelerde, çok amaçlı gösteri salonlarında ve bazen de kafeteryalarda giderebilmektedir. Farklı tüketim nesneleriyle birlikte kafeteryalarda sunulan nargile, halk sağlığı açısından dikkate alınması gereken bir unsurdur.

Yaş grupları açısından incelendiğinde, nargile servisi genellikle gençler tarafından tercih edilmekte olup, özellikle orta yaş altı bireyler bu sektörde daha fazla yer almaktadır. Öte yandan, orta yaş üstü bireyler genellikle sektör içinde tecrübe ve bilgileriyle ön plana çıkmaktadır. Orta yaş altı grup için bu konuda oluşturulacak farkındalık büyük önem taşımaktadır. Zamanında alınacak tedbirlerle, genç nesil daha sağlıklı, daha hijyenik ve doğru ortamlarda bu hizmeti sunacaktır.

İş sağlığı ve güvenliği bağlamında, nargile servisi yapan kişilerin iş tanımlarının yapılması, halk sağlığı açısından alınabilecek önlemler, sunum hizmetlerinin devamlılığı için gerekli koşullar, karşılaşılabilecek sağlık sorunları ve riskler ile iş sağlığı güvenliği kurallarının yaşa göre nasıl değişim gösterdiği üzerine makalede anket üzerinden elde edilen sonuçlar ortaya konulmaya çalışılmış ve öneriler şeklinde aşağıda sunulmaya çalışılmıştır.

5.2. Öneriler

Nargileyi sunuma hazırlayan ve içim sürecinde hizmet veren personeller için yapılan çalışmada, mesleki eğitim, risk ve sağlık yönünden bir sınıflandırma yapılarak alınacak tedbirler ve tavsiyeler Tablo-6'da belirtilmiştir.

Nargile içilen sosyal işletmelerde alınacak iş sağlığı ve güvenliği kapsamındaki tedbirler hem çalışanların hem de müşterilerin sağlığını ve güvenliğini korumaya yardımcı olacaktır. Bu konudaki farkındalığın artırılması ve uygulamaların etkin bir şekilde hayata geçirilmesi, bu işletmelerin sürdürülebilirliği açısından da önemlidir. Bunu sağlamak için

- Çeşitli gelişmiş havalandırma sistemlerinin kurulması ve hava sirkülasyonunun sağlanması,
- Dumanın zararlı bileşenlerini temizleyen filtrasyon sistemlerinin kurulması
- Nargile dumanının etkileri üzerine çeşitli eğitimlerin verilmesi ve acil durum eğitimi verilmesi
- Nargile içilen kısımların ayrı bir yerde tutulması ve gerektiği yerde kapalı alan kısıtlamalarına gidilmesi
- Düzenli sağlık taramalarının yapılması ve çeşitli teşviklerin yürürlüğe konması
- Müşteri bilgilendirmelerinin pano ve uyarı etiketleri kullanılarak yapılması
- Kullanım kuralları ve yapılacak sınırlandırmalar konusunda net bir politika izlenmesi (yaş sınırı ve maksimum kullanım süresi gibi)
- Kullanılan çeşitli araç, gereç ve ekipmanların düzenli temizliğine riayet edilmesi ve kullanım sonrası temizliği
- Kamu düzeni ve yasalar anlamında prosedürlerin ortaya konulması ve denetimlerin sıkı bir biçimde devam etmesi sayılabilir.

Literatürde, iş sağlığı ve güvenliği başlığı altında nargile konusu çok detaylı incelenmemekle beraber bu makale de bir farkındalık oluşturulmaya çalışılmaktadır. Nargile içimi tabiatı haliyle keyifli ve rahat bir ortam oluşturmakla beraber, sadece işin bu kısmına odaklanmak ve diğer etkilerini incelememek doğru bir yaklaşım olmayacaktır. İçeriği, etkisi ve kimyası ile nargile hakkında detaylı bir inceleme yapmakla beraber, aynı zamanda nargile içiminin olduğu yerlerde kendi isteğiyle ya da mecburen çalışan personellerin göz ardı edilmemesi gerektiği ortaya konmaya çalışılmıştır. Mevcut dumana sürekli maruz kalan bu emekçi insanlar için gerekli tedbirlerin alınması hem kanuni hem de vicdani bir meseledir. İşçinin hakkına girmemek için alınacak tedbirlere dikkat ve riayet etmek; hem daha sağlıklı bir şekilde, personelin mevcut sorumluluklarını daha iyi bir şekilde yerine getirmelerini sağlayacak; hem de işverenin bu çerçevede daha insancıl bir ortam oluşturmaya yardımcı olacaktır.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Seniha Yakut Güler, kaynak araştırması, anketin tasarımı, uygulanması, verilerin toplanması, bilgisayar ortamına aktarılması, istatistiksel analizlerin yapılmasına; Deniz Efendioğlu, anket hazırlığı, sonuçların yorumlanması ve makalenin düzenlenmesi, tüm çalışmaların kontrolü, sonuçların değerlendirilmesi, yorumlanması ve makalenin genel tasarımına yönelik katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Akman, Ü. (2019). İş yerinde güvenlik kültürü ve kişisel koruyucu donanım kullanımı. *OHS Academy*, 2(3), 132-134. Doi: <https://doi.org/10.31202/ohsacademy.653454>
- Alipour, V., Eshaghi, H., Rezaei, L., Ghanbarnejad, A., Hosseini, Z., Ghaffari, H. R., & Dehghani, S. (2022). Relationship between Exposure to Hookah Smoke and Lung Capacity of Hookah Cafe Employees. *Tobacco and Health*, 1(3), 127-131. Erişim Linki: <https://thj.hums.ac.ir/PDF/thj-1021.pdf>
- Aljarrah, K., Ababneh, Z. Q., & Al-Delaimy, W. K. (2009). Perceptions of hookah smoking harmfulness: predictors and characteristics among current hookah users. *Tobacco induced diseases*, 5(1), 1-7. Doi: <https://doi.org/10.1186/1617-9625-5-16>
- Al-Naggar, R. A., & Bobryshev, Y. V. (2012). Shisha smoking and associated factors among medical students in Malaysia. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, 13(11), 5627-5632. Doi: <https://doi.org/10.7314/APJCP.2012.13.11.5627>
- Al-Osaimi, A., Obaid, O., Al-Asfour, Y., Yousef, A., Razouki, M., & Rajab, S. H. (2012). The acute effect of shisha smoking on oxygen saturation level and heart rate. *Med Princ Pract*, 21(6), 588-590. Doi: <http://dx.doi.org/10.1159/000342661>
- Anadolu Ajansı. (2022a). “Sigara ve Nargile Kullanımı Kulak Çınlaması Riskini Artırıyor” Erişim Linki: <https://www.aa.com.tr/tr/saglik/sigara-ve-nargile-kullanimi-kulak-cinlamasi-riskiniartiriyor/2676451.2022>
- Anadolu Ajansı (2022b). “Türkiye’de tütün kullanımı Kovid-19’dan 4 Kat Daha Fazla Can Alıyor” Erişim Linki: <https://www.aa.com.tr/tr/saglik/turkiyedetutunkullanimikovid-19dan-4-kat-fazla-canaliliyor/2159607>
- Arifoğlu, A. T., Aktürk, İ., Karaman, H., & Yaman, Ö. M. (2021). Kafe İşletmecilerinin Kapalı Alanlarda Sigara Yasağına Dair Görüşleri: Nitel Bir Araştırma. *Karadeniz Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Bilimler Dergisi*, 11(22), 327-350. Erişim Linki: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/sbed/issue/67654/990664>
- Aytaç, Ö., & İlhan, S. (2008). Yeni kapitalizmin kaotik evreni: Belirsizlik, sömürü ve ahlaki kriz. Erişim Linki: https://dl.wqtxts1x7le7.cloudfront.net/33135887/10.1_aytac_ilhan-libre.pdf?1393978531=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DYeni_Kapitalizmin_Kaotik_Evreni_Belirsiz.pdf&Expires=1748349875&signature=bEnRF6~~vHU86hKOUwpMQKg3K5a9AQr1IhEOjqdZdQoJqGRsekaZDkVXCrYdHoBvu8Ssqo5sKI SglTicTTm7MQo~LpBoTou6lxs84QrKwana2~XOrgAvQeL6l7RRwN7BfiEa0YFny9LLS1Iw2JlWxL~5caSul WL YGLhu295tJ4~RAYMY0o4s~ypCOdj5pBgOnmT07q8jpFlogBfghhsBJeflZW~UT3mnUZ2Zl3x5Bs5YmhZ Q-vxejDh4-v9aYYZDDaPxER8Tt-JJlLbDF4xXc~dlhYJUja5yYA4F3xcUkxVZjOJB-N7P3DjJlL0QQiKS9uAg zCs8k52dQn3sdndA_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA
- Baskın, V. (2021). Hidrojen sülfür, nitrik oksit ve karbon monoksitin ağrı, anksiyete ve depresyon üzerine etkilerinin karşılaştırılması. Erişim Linki: <http://acikerisim.harran.edu.tr:8080/jspui/handle/11513/3091>
- Bhatnagar, A., Maziak, W., Eissenberg, T., Ward, K. D., Thurston, G., King, B. A., ... & Rezk-Hanna, M. (2019). Water pipe (hookah) smoking and cardiovascular disease risk: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*, 139(19), e917-e936. Erişim Linki: <https://www.ahajournals.org/doi/pdf/10.1161/cir.0000000000000671>
- Baykal, B. (2022). Kültürel Sermayenin Bireyin Mekan Tercihine Etkisi: Konya/Meram İlçesi Kafe Örneği. Erişim Linki: <http://hdl.handle.net/20.500.12498/5399>
- Baykan, N., Durukan, P., Salt, Ö., Yakar, Ş., & Özkan, S. (2017). Nargile İçimi Sonrası Gelişen Karbon Monoksit İntoksikasyonu: İki Vaka Sunumu. *Ankara Medical Journal*, 17(4). Erişim Linki: <https://www.ankaramedicaljournal.org/index.php/amj/article/view/479>
- Bilir, N. (2016). Tütün kontrolü çerçeve sözleşmesi ve Türkiye: Bir başarı örneği. *Güncel Göğüs Hastalıkları Serisi*, 4(1), 7-12. Erişim Linki: <https://www.gghs.org.tr/doi/full/10.5152/gghs.2016.01>
- Bolat, O. (2011). İş yükü, iş kontrolü ve tükenmişlik ilişkisi. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 25(2), 87-101. Erişim Linki: <https://dergipark.org.tr/en/pub/atauniiibd/issue/4244/57707>
- Boskabady, M. H., Farhang, L., Mahmodinia, M., Boskabady, M., & Heydari, G. R. (2012). Comparison of pulmonary function and respiratory symptoms in water pipe and cigarette smokers. *Respirology*, 17(6), 950-956. Doi: [10.1111/j.1440-1843.2012.02210.x](https://doi.org/10.1111/j.1440-1843.2012.02210.x)
- Bowman, J. (2009). Time to smell the sweet smoke: fantasy themes and rhetorical vision in nargile cafe cultures. *The Journal of Popular Culture*, 42(3), 442-457. Doi: [10.1111/j.1540-5931.2009.00671.x](https://doi.org/10.1111/j.1540-5931.2009.00671.x)

- Büşra, T. U. N. Ç., & Kayıhan, K. S. Birlikte Çalışma Olgusu ve Ofis Kafeler. *Mimarlık ve Yaşam*, 3(2), 231-248. Erişim Linki: <https://dergipark.org.tr/en/pub/mimarlikveyasam/issue/4190/56457>
- Canbakan, S. (2016). Tütün mü? Sağlık mı? Tütünün insan vücuduna zararlı etkileri. *Güncel Göğüs Hastalıkları Serisi*, 4(1), 44-55. Erişim Linki: <https://www.gghs.org.tr/doi/full/10.5152/gghs.2016.04>
- Canpolat, Ö. (2020). Rare side effect of Hookah Smoking; Carbon Monoxide Poisoning. *Acta Oncologica Turcica*, 53(1), 155-157. Doi: [10.5505/aot.2020.76378](https://doi.org/10.5505/aot.2020.76378)
- Chaouachi, K. (2009). Hookah (shisha, narghile) smoking and environmental tobacco smoke (ETS). A critical review of the relevant literature and the public health consequences. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 6(2), 798-843. Doi: [10.3390/ijerph6020798](https://doi.org/10.3390/ijerph6020798)
- Çelikten, M. (2005). Neden İş Analizi Yapılmalı? *Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 1(18), 127-135. Erişim Linki: <https://dergipark.org.tr/en/pub/erciyes-sbed/issue/4216/56406>
- Çımrın A., Coşkun A., Demiral Y., Ergör A., Ertuğrul A. (2014). Pnömonyoz Olgularımızın Genel Özellikleri. *Türkiye Solunum Araştırma Derneği Toplantısı*. Erişim Linki: <https://solunum.org.tr/slaytlar/?s=5B570B58585E560E425C0E5C5F425B56575A42570C5659425F595809595F560D0E5E585F>
- Çiçek, Ö., & Öçal, M. (2016). Dünyada ve Türkiye’de iş sağlığı ve iş güvenliğinin tarihsel gelişimi. *Hak-İş Uluslararası Emek ve Toplum Dergisi*, 5(11), 106-129. Erişim Linki: <https://dergipark.org.tr/en/pub/hakisderg/issue/24441/259080DergiPark+1DergiPark+1>
- Dağlı, E. (2010). Tütün endüstrisi taktikleri. In H. Karadağ, H. Bilgiç, Z. A. Aytemur, Ş. Akçay, & O. Elbek (Eds.), *Tütün ve Tütün Kontrolü* (pp. 36-42). Erişim Linki: <https://www.turkiyeklinikleri.com/article/en-tutun-endustrisi-taktikleri-102412.html>
- Dağlı, E. (2016). Yeni Nesil Tütün ve Nikotin Ürünleri. *Yayın Kurulu*, 2. Erişim Linki: <https://kongre.yesilay.org.tr/media/hgrfg4ay/assets/uploads/teknoloji-kongre-tutun-ve-nikotin-urunleri-sempozyum-program-tr.pdfkongre.yesilay.org.tr>
- Dağlı, E. (2019). Tütün Endüstri Oyunları ile Nasıl Baş Edilir? “31 Mayıs Tütünsüz Bir Dünya Günü” Nedeniyle Özel Sayı, 8. Erişim Linki: https://solunum.org.tr/TusadData/userfiles/file/sted_ozelsayi_may_haz_2020.pdf
- Dağlı, Z., & Demirezen, D. (2020). Nargile Salonları Üzerine Bir Değerlendirme: Düzce İli Örneği. *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 23(43), 367-381. Erişim linki: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/busbed/issue/57945/793136>
- Darawshy, F., Rmeileh, A. A., Kuint, R., & Berkman, N. (2021). Waterpipe smoking: a review of pulmonary and health effects. *European Respiratory Review*, 30(160). Doi: <https://doi.org/10.1183/16000617.0332-2020>
- Demir, B., & Okutan, M. (2014). Radyoaktif sigara: Tütün + Polonyum-210 + Kurşun-210. *Türk Onkoloji Dergisi*, 29(1), 27-31. Erişim Linki: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/turk-onk-derg/issue/24251/256054>
- Dündar, Y., & Aslan, R. (2005). Yaşamı kuşatan ağır metal kurşunun etkileri. *Kocatepe Tıp Dergisi*, 6(2), 1-5. Erişim Linki: https://www.researchgate.net/publication/278448090_Yasami_kusatan_agir_metal_kursunun_etkileri
- Ekin Koç, D. S. G., & Aslan, D. (2017). Nikotin Salıveren Sistemler: Terminolojide Neden Değişim Gereksinimi Var?. *Yayın Kurulu*, 1. Erişim Linki: http://ssuk.org.tr/savefiles/may_haz_ozel.pdf#page=5
- El-Zaatari, Z. M., Chami, H. A., & Zaatari, G. S. (2015). Health effects associated with waterpipe smoking. *Tobacco Control*, 24(Suppl 1), i31-i43. Doi: <https://doi.org/10.1136/tobaccocontrol-2014-051906>
- Ergönül, P. G., & Deniz, K. A. Y. A. (2015). Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar (PAH) ve Gıdalarda Önemi - Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) and Their Importance in Foods. *Celal Bayar University Journal of Science*, 11(2). Erişim Linki: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/cbayarfbe>
- Evrengil, E. (2016). Nargilelik tütün mamulü piyasasında kayıtdışı ekonomi, yasadışı ve ticari sunum açmazı. *STED Sürekli Tıp Eğitimi Dergisi*, 25, 13-22. Erişim Link: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/sted/issue/36120/402222>
- Eyüboğlu, C. K., İtil, O., Gülşen, A., Kargı, A., & Çımrın, A. (2008). Dış teknisyeni pnömonyozu olgusu. *Tüberküloz ve Toraks Dergisi*, 56(2), 204-210. Doi: <https://doi.org/10.5578/tt.6494>
- Fidan, F., Sezer, M., Ünlü, M., & Kara, Z. (2005). Kahvehane, kafeterya, lokanta çalışanları ve müşterilerinin sigara ile ilgili bilgi ve tutumları. *Tüberküloz ve Toraks Dergisi*, 53(4), 362-370. Erişim Linki: <https://www.tuberktoraks.org/text.php3?id=1053>

- Halis, M., & Çamlıbel, Z. (2011). Algılanan İş Güçlüğü İş Değiştirme Niyeti Üzerindeki Etkisi ve Otel İşletmelerinde Bir Araştırma. *Reforma*, 4(52), 75-84. Erişim Linki: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/reforma/issue/40597/474929>
- Horozoğlu, K. (2017). İş kazalarının iş sağlığı ve güvenliği açısından analizi. *Karabük Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 8(2), 265-281. Erişim Linki: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/kusbed/issue/31688/335857>
- Kandiş, H., Katırcı, Y., & Karapolat, B. S. (2009). Karbonmonoksit zehirlenmesi. *Duzce Medical Journal*, 11(3), 54-60. Erişim Linki: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/duzce/issue/3241/44554>
- Kaya, E. E., Kışlalı, F. M., Sarıcı, D., & Kurban, Y. (2019). Yenidoğan bebeklerin göbek kordon kanında kurşun ve cıva düzeyleri. *Jinekoloji-Obstetrik ve Neonatoloji Tıp Dergisi*, 16(1), 4-8. Erişim Linki: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/931885>
- Khalil, C., Chahine, J. B., Chahla, B., Hobeika, T., & Khnayzer, R. S. (2019). Characterization and cytotoxicity assessment of nargile smoke using dynamic exposure. *Inhalation Toxicology*, 31(9-10), 343-356. Doi: <https://doi.org/10.1080/08958378.2019.1670506>
- Kocatürk Göncü, E., Melikoğlu, M., Tarıkçı, N., Tamyürek, M., Toprak, D., Topaloğlu Demir, F., & Topkarcı, Z. (2016). Mesleki egzamalara yaklaşım: Dermatologlar, işyeri hekimi ve aile hekimlerinin tutum farklılıkları. Doi: <https://doi.org/10.4274/turkderm.21208>
- Korkmaz, A., & Avsallı, H. (2012). Çalışma hayatında yeni bir dönem: 6331 sayılı iş sağlığı ve güvenliği yasası. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 2012(26), 153-167. Erişim Linki: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/117847>
- Küçük, F. Ç. U. (2016). Dünyada ve Türkiye’de nargile kullanımı ve güncel durum. *Sted Sürekli Tıp Eğitimi Dergisi*, 25, 7-12. Erişim Linki: https://tutuneksper.org.tr/files/mevzuat/STED_Tutunsuz_Bir_Dunya_Gunu_Ozel_Sayisi_Mayis-Haziran_2016.pdf#page=10
- Oral, H. S. (2010). Kimyasal Katkı Maddeleri ve Tarım İlaçları Kullanılmadan Şark Tipi Tütünler ile Doğal Sigara Üretiminin İnsan Sağlığı Açısından Önemi. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 24(2), 149-155. Erişim Linki: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/154125>
- Özbek, A. (2020). Genç yetişkinlerin elektronik sigara, nargile kullanma sıklığı ve tercih edilen aromalar. *Psikoloji Araştırmaları Sempozyumu*, 20. Erişim Linki: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/psikoloji/issue/53935/723544>
- Özbolat, G., & Abdullah, T. U. L. İ. (2016). Ağır metal toksisitesinin insan sağlığına etkileri. *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi*, 25(4), 502-521. Erişim Linki: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/219809>
- Özcebe, H., Biçer, B. K., Bilir, N., Attila, S., Doğruel, H., Kaya, B., & Harbelioğlu, M. A. (2015). Kafe ve Restoranlarda Tütün Kontrol Kanunu’nun Değerlendirilmesi. *Eurasian Journal of Pulmonology*, 17, 42-48. Erişim linki: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ejop/issue/29292/316955>
- Özsın, G. (2017). *Farklı organik atıklardan zift esaslı karbon fiber üretimi ve karakterizasyonu* (Doctoral dissertation, Anadolu University (Turkey)). Erişim Linki: <https://www.proquest.com/docview/2572345879?fromopenview=true&pq-origsite=gscholar>
- Sarı, S. Ö. (2019). Nargile kullanımında riskler, tehditler ve önleyici yaklaşımlar. *Sağlık Bilimlerinde İleri Araştırmalar Dergisi*, 2(3), 105-114. Erişim linki: <http://dergipark.org.tr/tr/pub/sbader/issue/46186/557303>
- Seven, T., Can, B., Darende, B. N., & Ocak, S. (2018). Hava ve toprakta ağır metal kirliliği. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 1(2), 91-103. Erişim linki: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ucsad/issue/37897/428042>
- Savaşkan, A. G., & Kahraman, Ç. A. T. I. (2020). Hizmet Kalitesinin Müşteri Bağlılığına Etkisi: Düzce İlinde Kafe/Restoran Örneği. *Düzce Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 10(2), 172-187. Erişim linki: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/duzcesosbil/issue/56583/819092>
- Şahan, C. (2019). Mesleki KOAH Tanısına Yaklaşım. Erişim Linki: <http://ghs.asyod.org/Dosyalar/GHS/2019/2/64b4151f-bd41-4922-a69b-5efc01ad38.pdf>
- Şanver, T. M., & Şengelen, M. (2022). Tütün Dumanından Pasif Etkilenim ve Üçüncü El Duman Etkileniminde Güncel Veriler; Çevresel Riskler Açısından Tehditler. *Yayın Kurulu*, 10. Erişim Linki: https://www.ttb.org.tr/STED/images/file/2022_3_O.pdf#page=14

- Sunal, A. B., Ok, A. B., & Keskin, S. (2016). İş-aile çatışması boyutları ile mükemmeliyetçilik arasındaki ilişkide evlilik doyumunun düzenleyici rolü. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi*, 56(1), 144–162. Erişim linki: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/dtcfdergisi/issue/66793/1044439>
- Taşdemir, D. Ç., & Yıldırım, İ. (2020). İş Sağlığı ve Güvenliği: İş Sağlığı ve İş Güvenliği, Güvenlik İklimi ve Güvenlik Kültürü Üzerine Kavramsal Bir Çalışma. *International Journal of Social Humanities Science Research*, 7(49), 82–89. DOI: <https://doi.org/10.26450/jshsr.1722>
- Taşdemir, Z. A. (2016). Tütün Ürünleri. *Güncel Göğüs Hastalıkları Serisi*, 4(1), 27–31. Erişim linki: <https://ghs.asyod.org/Dosyalar/GHS/2016/1/bb8b5a85-30ae-4886-b55f-7b981b787269.pdf>
- Tatar, Ç. P. (2014). *Kurşun Maruziyetinin İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi (Akü, Maden ve Metal İşyerlerinde)*. İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara. Erişim linki: <https://ekutuphane.csgb.gov.tr/Media/phdhwvtf/kur%C5%9Fun-maruziyetinin-i%C5%9F-sa%C4%9Fl%C4%B1%C4%9F%C4%B1-ve-g%C3%BCvenli%C4%9Fi-a%C3%A7%C4%B1s%C4%B1ndan-de%C4%9Ferlendirilmesi-ak%C3%BC-maden-ve-metal-i%C5%9Fyerlerinde.pdf>
- Timur, S. (2006). The Eastern Way of Timekeeping: The Object and Ritual of "Nargile". *Design Issues*, 22(2), 19–26. Erişim linki: <https://doi.org/10.1162/desi.2006.22.2.19>
- Topcu, M., & Zorlu, S. (2021). Sağlık Çalışanlarının Nargile İçme Profilleri, Nargilenin Sağlığa Olan Etkilerine Yönelik Algıları ve Sağlıklı Yaşam Biçimi Davranışları. *Bağımlılık Dergisi*, 22(4), 432-446. Erişim linki: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/bagimli/article/930902>
- Topçuoğlu, H., & Özdemir, Ş. (2007). İş sağlığı ve güvenliğinde davranış değişikliği yaratma süreci. *Mühendis ve Makine Dergisi*, 48(567), 10-15. Erişim linki: https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/4c7bb58efc3b337_ek.pdf
- Ulutaş, M. (2019). Sık İş Değiştirme Olgusu ve Alternatif İş Bulabilme Algısının İşgörenlerin İşten Ayrılma Eğilimi Üzerine Etkisi: Bışkek Yiyecek İçecek İşletmeleri Üzerine Bir Alan Araştırması. *Manas Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 8(4), 3470-3482. Erişim linki: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/mjsr/issue/49191/627872>
- Urgancı, Ç., & Engin, E. K. E. R. (2018). İstanbul 112 Acil Sağlık Hizmetleri çalışanlarının mesleki tükenmişlik düzeyleri ve algılanan stresle başa çıkmada evlilik doyumunu yordamlama gücü. *Aydın İnsan ve Toplum Dergisi*, 4(2), 35-60. Erişim linki: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/aydindil/issue/40898/494493>
- Yalçın, F. K., Er, M., Hasanoglu, H. C., Kilic, H., Senturk, A., Karalezli, A., ... & Erel, O. (2017). Deteriorations of pulmonary function, elevated carbon monoxide levels and increased oxidative stress amongst water-pipe smokers. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 30(5), 731-742. Doi: <https://doi.org/10.13075/ijom.1896.00912>
- Yerlikaya, Z. (2016). Sigara Dumanındaki Radyasyon ve İnsan Sağlığına Etkileri. *Online Science Education Journal*, 1(1), 60-67. Erişim Linki: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ofed/issue/26033/270707>
- Ziyab, A. H. (2017). Prevalence and risk factors of asthma, rhinitis, and eczema and their multimorbidity among young adults in Kuwait: A cross-sectional study. *BioMed Research International*, 2017, Article 2184193. Doi: <https://doi.org/10.1155/2017/2184193>



Journal of Turkish Operations Management

Ranking decision making units using support vector machines & ideal decision making unit

Mehmet Güray Ünsal^{1*}, Volkan Soner Özsoy², Hacı Hasan Örkücü³

¹ Department of Technology and Knowledge Management, Faculty of Business and Administrative Sciences, Baskent University, Ankara, Turkey.

e-mail: mgunsal@baskent.edu.tr, ORCID no: <https://orcid.org/0000-0001-7081-9060>

² Department of Management Information Systems, Faculty of Business and Administrative Sciences, Aksaray University, Aksaray, Turkey.

e-mail: volkansoneroysoy@aksaray.edu.tr, ORCID no: <https://orcid.org/0000-0002-6417-8946>

³ Department of Statistics, Faculty of Sciences, Gazi University, Ankara, Turkey.

e-mail: hhorkcu@gazi.edu.tr, ORCID no: <https://orcid.org/0000-0002-2888-9580>

*Corresponding Author

Article Info

Article History:

Received: 13.08.2024

Revised: 15.12.2024

Accepted: 07.02.2025

Keywords

Ranking,
Decision Making Unit,
Support Vector Machines,
Ideal DMU

Abstract

Ranking of decision making units (DMUs) is an important issue in a production process. Therefore, it is one of the most frequently studied subjects in the theory and practice studies in Data Envelopment Analysis literature. Recently, machine learning-based methods have also been used for crucial problems in literature such as ranking of DMUs and determining the efficient frontier. This study proposes a new hybrid approach to rank DMUs. This approach is based on the Support Vector Machines, which is a machine learning method, and the Ideal DMU, which has an important place in the DEA literature. The theoretical details of this method are explained, and the performance of the model is demonstrated through application and simulation studies.

1. Introduction

Ranking of units in the evaluation process is a critical field of study in sectors where performance measures are involved. In this context, ranking decision-making units (DMUs) according to their performance is a popular subject among researchers in the Data Envelopment Analysis (DEA) field. DEA is commonly defined as a performance measurement and ranking tool for homogeneous DMUs that use inputs and produce outputs in a production process. The first models of DEA methodology is proposed as CCR and BCC models by Charnes et al. (1978) and Banker et al. (1983), respectively. The CCR model operates under the Constant Returns to Scale (CRS) technology, meaning that the proportion of increase in output is equal to the proportion of increase in input. CCR is generally used for benchmarking and classifying DMUs. Classical approaches, such as cross-efficiency evaluation, are commonly used to rank DMUs. The cross-efficiency method relies on a matrix of weights obtained during the efficiency score calculation process of all DMUs (Sexton et al., 1986). In addition to these classical approaches, some studies related to the ranking of units have employed multivariate statistical methods (Zhu, 1999; Premachandra, 2001; Azadeh et al., 2007; Kuosmanen and Johnson, 2010; Golçalves et al., 2013; Ünsal and Örkücü, 2017; Ünsal and Nazman, 2020), common weight sets in DEA (Jahanshahloo, 2005; Liu and Peng, 2008; Ramón et al., 2012; Saati et al., 2012; Davoodi A., Rezai H.Z., 2012; Afsharian and Ahn, 2017; Bouzidis and Karagiannis, 2022), and weight restrictions, decomposition, and determination techniques (Thompson et al., 1986; Allen et al., 1997; Podinovski, 1999; Bal et al., 2007; Bal et al., 2008; Wang et al., 2009; Lam, 2010; Mecit and Alp, 2012; Mecit and Alp, 2013; Örkücü et al., 2015; Ünsal and Örkücü, 2016; Michali et al., 2021).

Recently, methods based on machine learning (ML) have become popular for efficiency frontier estimation in the evaluation process (Esteve et al., 2020; Esteve et al., 2022; Tsionas, 2022). Support vector machines (SVM) and support vector regression (SVR) are among the ML methods commonly integrated into the performance measurement process with DEA. Yeh et al. (2010) proposed a novel model that integrates rough set theory (RST) with SVM as a tool for evaluating input/output efficiency. Kao et al. (2013) used a hybrid approach combining DEA and SVM to estimate efficiency in web security. Rezaie et al. (2013) integrated SVM and DEA in the calculation of efficiency scores. Saradhi and Girish (2015) investigated the parameter tuning issue for SVM with the help of DEA. Yang and Dimitrov (2017) applied DEA and SVM to financial data. Wanke and Barros (2017) assessed airport efficiencies using a two-stage DEA-SVM approach. Fallahpour et al. (2018) predicted efficiency scores of units in the evaluation process by using an intelligence-based model that combines SVM and DEA. Zhang and Wang (2019) proposed an efficiency measurement model combining SVM with DEA using time series data. Valero-Carreras et al. (2021) used support vector regression (SVR), a specific model within the SVM family, to estimate the efficiency frontier and introduced the Support Vector Frontier (SVF) approach. They further investigated the extension of SVFs as multi-output Support Vector Frontiers (Valero-Carreras et al., 2022). Zhu et al. (2022) compared four ML-based algorithms, including SVM-DEA and improved SVM-DEA approaches, in the efficiency measurement process of manufacturing companies in China. Zhao et al. (2022) developed a super-efficient DEA-SVM (SE-DEA-SVM) method. Petridis et al. (2022) used an SVM-based model to classify mergers and acquisitions (M&A) using financial data, including negative data. Guerrero et al. (2022) introduced the DEA-machine learning approach (DEAM), which is based on SVR and the Structural Risk Minimization (SRM) principle. As seen in the literature, particularly in the last 10 years, SVM and SVR-based methods have been applied to subjects related to DEA, such as the estimation of efficiency and ranking of units.

This study proposes an alternative approach for ranking DMUs based on SVM and an ideal DMU. The method, which was developed by assigning weights to the variables in the SVM classification process and introducing new variables defined as ratios of outputs to inputs, is examined in detail. The aim is to rank DMUs using an approach that has not been suggested in the literature, thereby proposing an alternative and innovative method for the machine learning-based ranking of DMUs, a subject recently studied in the literature. The rest of the paper is structured as follows: Section 2 provides information about Support Vector Machines (SVM) and the ideal DMU, and introduces the proposed ranking method, including its algorithm and a numerical example. Section 3 presents simulation studies to demonstrate the general performance of the proposed method in terms of rankings based on cross-efficiency evaluation. A real-world data application related to this study is discussed in Section 4. Finally, Section 5 concludes the study.

2. Methodology

This section discusses the proposed approach for ranking DMUs in the evaluation process. Although the methodology to be proposed in this study is mainly based on the Support Vector Machine method, it also includes adding an ideal DMU, using newly defined proportional variables, and multiplying the weights and variable values and score calculation processes. For this reason, the methodology section is divided into sub-sections in order to present the explanation clearly.

2.1. Support Vector Machines

Support Vector Machines (SVM) one of the traditional machine learning methods is firstly proposed by Cortes and Vapnik (1995). SVM is one of a machine learning methods which is used for the classification of the units in the analysis. SVM is mathematically complex and computationally expensive although it can still assist with huge data classification issues. Instead of a regression model and an algorithm, SVM offers a classification learning model. It manipulates the straightforward mathematical equation $y = wx + b$ to enable the linear domain division. If the classes in the original domain can be separated linearly (e.g., along a straight line or hyperplane), the model is referred to as a linear SVM model. Otherwise, it is named a nonlinear SVM model. In this study, only the linear SVM model is included as the frontier of DEA is linear.

In the SVM, a straight-line equation is derived as $w x' + b = 0$. This parameterized straight line, when applied to a data domain, creates two subdomains, which we may refer to as left subdomain and right subdomain (as we do in decision tree-based models), as D_1 and D_2 and, which we defined as $D_1 = x: w x' + b \leq 0$ and $D_2 = x: w x' + b > 0$. Labels 1 for subdivision D_1 and -1 for subdivision D_2 can be used to designate the points lying inside these subdivisions. Consequently, the SVM's parametrization goal can be described as follows $w x' + b \leq 0, x \in D_1$ and $w x' + b > 0, x \in D_2$. Furthermore, Figure 1 shows the D_1 and D_2 hyperplanes. $(w x' + b = 1)$ vector is the positive hyperplane, $(w x' + b = -1)$ is the negative hyperplane and $(w x' + b = 0)$ vector is the optimal hyperplane (Pecha and Horak, 2018; Ramasubramanian and Singh, 2019).

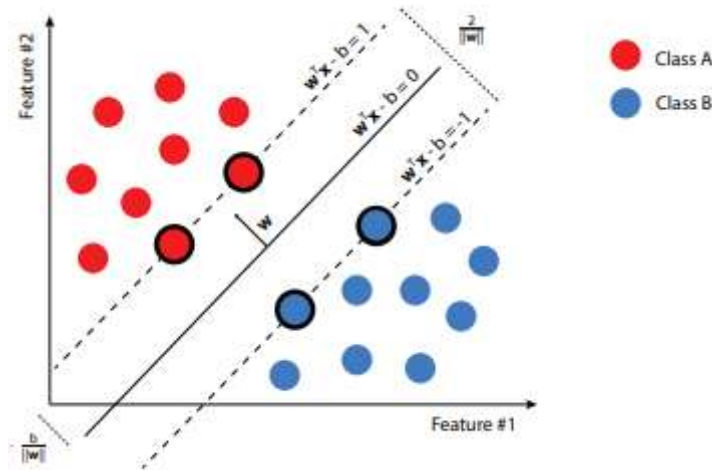


Figure 1. SVM Clustering Graph (Pecha and Horak, 2018)

To help in describing boundaries between the clusters, two straight lines (or hyperplanes) were created in the parametrization goals. It is aimed to search for parameter values that are the optimum values of the objective function that maximizes the distance between straight lines. The distance between straight lines is also called a margin. The standard distance equation between two parallel lines $y = mx + b_1$ and $y = mx + b_2$ can merely be used because these lines are parallel to each other (Boser et al., 1992; Hearts et al., 1998; Franc and Hlavac, 2002; Huang et al., 2011; Suthaharan, 2016).

$$d = \frac{(b_2 - b_1)}{\sqrt{m^2 + 1}} \quad (1)$$

where the slopes of the straight lines are, $m = w$ and their intercepts are $b_1 = \gamma + 1$ and $b_2 = \gamma - 1$. As this distance formula will be the measure for the optimization problem, we can establish the following by substituting these variables without loss of generality.

$$d = \frac{\mp 2}{\sqrt{ww'}} = \frac{\mp 2}{\|w\|^2} \quad (2)$$

To maximize the margin (the distance between the lines), it is necessary to simplify the equation. Therefore, by squaring both sides of the equation, and then dividing both sides of the equation by the value of 2, a simple mathematical relationship can be obtained.

$$\frac{d^2}{2} = \frac{1}{\frac{\|w\|^2}{2}} \quad (3)$$

The same goal is achieved by minimizing the denominator instead of maximizing the distance. Furthermore, the error function can be defined for the prediction error between $x \in D$ and y : $e = 1 - y(wx' + \gamma)$. By combining the aim and constraint, the following optimization problem can be created for the two-class SVM (Boser et al., 1992; Hearts et al., 1998; Franc and Hlavac, 2002; Huang et al., 2011; Suthaharan, 2016) :

$$\begin{aligned} & \min \frac{\|w\|^2}{2} \\ & \text{Subject to : } e \leq 0 \text{ or } y(wx' + \gamma) \geq 1 \end{aligned} \quad (4)$$

2.2. Ideal and Anti-Ideal DMU

The production process is based on producing different amounts of output using different amounts of input. In this production process, the values of inputs and outputs of $DMU_j (j = 1, \dots, n)$ are $x_{ij} (i = 1, \dots, m)$ and $y_{rj} (r = 1, \dots, s)$ during evaluated of each DMU with m inputs and s outputs. If a virtual DMU uses the fewest inputs while producing the greatest amount of outputs, it is considered to be an ideal DMU (IDMU). A virtual DMU is considered to be an anti-ideal DMU (ADMU) if it uses the most inputs to generate the fewest outputs. The inputs of IDMU can be determined as $x_i^{min} = \min_j x_{ij}, i = 1, \dots, n$ while the outputs of IDMU can be determined as $y_r^{max} =$

$\max_j y_{rj}, r = 1, \dots, s$. Additionally, the inputs of ADMU can be determined as $x_i^{max} = \max_j x_{ij}, i = 1, \dots, n$ whereas the outputs of ADMU can be determined $y_r^{min} = \min_j y_{rj}, r = 1, \dots, s$ (Jahanshahloo et al., 2010; Wang et al., 2011; Lozano et al., 2020).

2.3. Ranking DMUs Using a Support Vector Machine & Ideal DMU

In this sub-section, SVM method and ideal DMU (IDMU) approach are linked in order to rank DMUs in the evaluation process. The process will be discussed by giving an algorithm and solving a basic example to indicate the details of the proposed method.

The steps of the proposed method can be defined as follows:

Step 1. Define an IDMU and add it into original dataset.

Step 2. Calculate new variables as output/input ratios.

Step 3. Define two classes such that one class consists of the original units and the other class has just IDMU.

Step 4. Run SVM to obtain weights for each variable based on output/input ratio.

Step 5. Use the absolute values of the weights are to focus on the impact of weights and multiply these absolute weights by the variable values of each unit to calculate a score value for each unit.

Step 6. Rank DMUs were performed according to the calculated score values.

To illustrate a simple numerical application, suppose there is a production process with 9 DMUs, 1 input (x), and 2 outputs (y1, y2), as shown in Table 1. Zhu (1999) defined output/input ratios by using output variables as numerators and input variables as denominators in fractional structures. If m is the number of inputs and s is the number of outputs, $m \times s$ new rational variables can be defined, such as y_1/x and y_2/x . At this point, following the steps, an IDMU can be added to the analysis in addition to the 9 original DMUs, as seen in the last row of Table 1. In the "Class" column of Table 1, the DMUs are divided into 2 groups: 0 and 1. Then, the classification-based method SVM is applied to these 10 units to calculate the weights for each variable.

Table 1. Numerical illustration of the proposed method

DMU	x	y1	y2	y1/x	y2/x	Class
1	11	25	35	2.2727	3.1818	0
2	8	15	32	1.875	4	0
3	16	38	42	2.375	2.625	0
4	21	35	45	1.6667	2.1428	0
5	5	10	14	2	2.8	0
6	4	8	10	2	2.5	0
7	25	40	38	1.6	1.52	0
8	20	25	48	1.25	2.4	0
9	6	11	15	1.8333	2.5	0
Ideal DMU	4	40	48	10	12	1

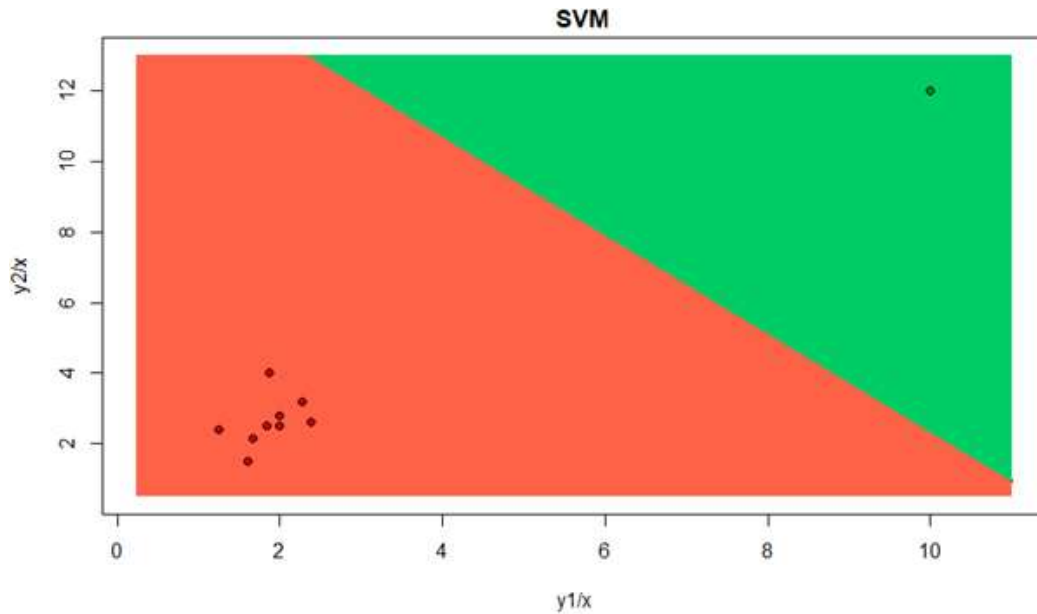


Figure 2. SVM margins for original DMUs and Ideal DMU

As shown in Figure 2, the SVM line passes through a straight line between red coloured original DMUs and green coloured IDMU. Since the margin length will be maximum due to the nature of SVM, the original DMUs and the IDMU are separated as much as possible. This is an advantage of our proposed method. As a result, a line-oriented weights that separates the IDMU and the original DMUs are obtained. Podinovski (1999), Gonçalves et al. (2013), Ünsal and Örkücü (2016) emphasize that it is possible and important to use absolute values in the variable weighting process. DEA models also have a restriction that the weight must be greater than zero. Thus, the scores of the original units are obtained by multiplication of absolute weights and new variables. The results of the proposed method can be seen in the last two columns of Table 2.

Table 2. Scores and Rankings of the Original DMUs for different methods

DMU	CCR		Cross Efficiency		The Proposed Approach	
	Scores	Rank	Scores	Rank	Scores	Rank
1	0.6562	3	0.9677	1	1.8479	2
2	1.0000	1	0.9051	3	1.9564	1
3	0.5181	8	0.9569	2	1.7113	3
4	0.6027	6	0.6949	7	1.2954	7
5	0.6562	4	0.8516	4	1.6262	4
6	0.5859	7	0.8283	5	1.5320	5
7	0.4453	9	0.6254	8	1.0749	9
8	0.9000	2	0.5827	9	1.2205	8
9	0.6392	5	0.7754	6	1.4698	6

3. Simulation Studies

The simulation study is conducted for different combinations of N (number of original DMUs), m (number of inputs) and s (number of outputs) sets. For each combination set, thousand trials are done, a spearman rank correlation coefficient between rankings of the cross efficiency which is an alternative method to rank DMUs as mentioned in Section 1 and the proposed method is obtained in each run and the average Spearman rank correlation value is obtained for each N , m , and s combination set. Furthermore, the data production process is managed according to the production function and methodology in Giraleas et al. (2012). The values obtained from the simulation study can be seen in Table 3 and Figure 3.

Table 3. Spearman correlations between cross efficiency and the proposed method

N	m	s	Spearman Corr.	N	m	s	Spearman Corr.
10	1	2	0.9796	10	2	1	0.8256
20			0.9859	20			0.8647
30			0.9872	30			0.8790
40			0.9895	40			0.8816
50			0.9905	50			0.8891
60			0.9905	60			0.8873
70			0.9919	70			0.8898
80			0.9924	80			0.8912
90			0.9927	90			0.8925
100			0.9930	100			0.8876
N	m	s	Spearman Corr.	N	m	s	Spearman Corr.
10	2	2	0.8085	10	2	3	0.7997
20			0.8517	20			0.8497
30			0.8649	30			0.8548
40			0.8720	40			0.8652
50			0.8784	50			0.8644
60			0.8791	60			0.8721
70			0.8811	70			0.8722
80			0.8819	80			0.8717
90			0.8803	90			0.8753
100			0.8837	100			0.8763
N	m	s	Spearman Corr.	N	m	s	Spearman Corr.
10	3	2	0.7043	10	3	3	0.6500
20			0.7817	20			0.7303
30			0.8025	30			0.7629
40			0.8150	40			0.7779
50			0.8259	50			0.7919
60			0.8323	60			0.7930
70			0.8363	70			0.7965
80			0.8403	80			0.8025
90			0.8418	90			0.8091
100			0.8459	100			0.8093

Note: The correlations are significant for $\alpha=0.05$

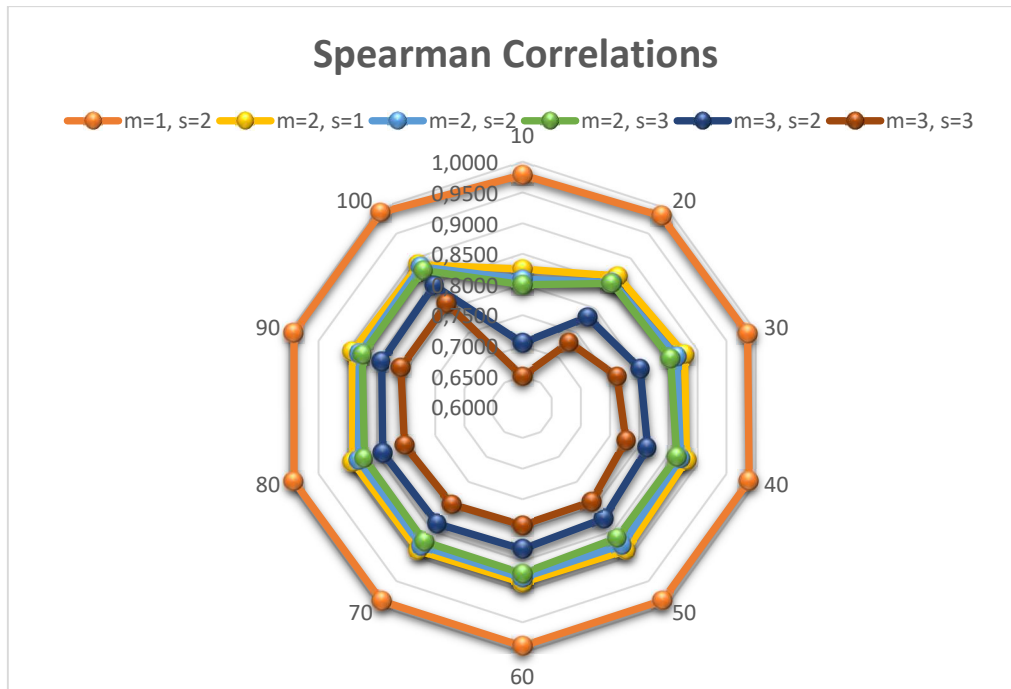


Figure 3. Radar Graph for Spearman correlations

As shown in Table 3 and Figure 3, in each combination set, rankings of the cross efficiency and the proposed method give high, positive and statistically significant correlations. As the number of units increases, the correlation between the cross efficiency and the proposed method increases in all combination sets. According to the simulation results, it can be generalized that the proposed method can be suggested as an alternative ranking method for decision-making units in the evaluation process.

4. A Real World Data Application

In this section, a real world data application study based on 21 national airports in Turkey is discussed to investigate an additional numerical example and compare the methods in this study. There are two inputs as x_1 : terminal domain (m^2), x_2 : expenses (1000 Turkish Liras) and two outputs as y_1 : income (1000 Turkish Liras), y_2 : plain traffic in the application. The data belongs to 2009 and is obtained from official website of General Directorate of State Airports Authority of Turkey. The calculated scores and rankings of the methods can be seen in Table 4.

Spearman rank correlation coefficients are calculated to see the relationship in the rankings of the methods. Accordingly, it is observed from Table 5 that there is a statistically significant, positive, and linear relationship between the rankings of the methods. It can also be seen that the highest correlation coefficient is calculated between the proposed method and the cross efficiency.

Table 4. Application data and Scores and Rankings of the methods

DMU (Airports)	x_1	x_2	y_1	y_2	CCR	Cross Efficiency	The Proposed Approach
Adana	10365	20610	20164	26242	1 [1]	0.9974 [1]	0.8066 [1]
Trabzon	23745	19446	13139	14892	0.6906 [6]	0.4843 [6]	0.3121 [8]
S.Demirel	5400	5654	419	2105	0.1822 [18]	0.1468 [18]	0.1093 [18]
Nevşehir	3500	8571	354	1524	0.1646 [19]	0.1128 [19]	0.0910 [19]
Erzurum	12950	10781	3507	5230	0.3563 [14]	0.2665 [13]	0.1769 [15]
Gaziantep	22790	18608	6533	8161	0.3589 [13]	0.2627 [14]	0.1708 [16]
Bursa	12716	11609	499	2228	0.0964 [21]	0.0734 [21]	0.0537 [21]
Çanakkale	1200	3029	236	1326	0.4159 [12]	0.273 [12]	0.2190 [12]
Çardak	16890	9492	1005	1774	0.1272 [20]	0.0865 [20]	0.0543 [20]
Diyarbakır	8085	7725	5150	8897	0.7910 [3]	0.6138 [3]	0.4242 [3]
Elazığ	1400	6014	826	2544	0.6923 [5]	0.4122 [8]	0.3583 [6]
Erzincan	1242	6105	541	1667	0.5114 [10]	0.2936 [11]	0.2585 [11]
Kars	2860	6791	953	2276	0.3056 [15]	0.2349 [15]	0.1929 [13]
Kayseri	11000	11922	8314	7281	0.7128 [4]	0.4780 [7]	0.3249 [7]
Malatya	3585	5220	2189	4566	0.5556 [8]	0.5031 [5]	0.3806 [5]
Mardin	1500	4496	497	2098	0.5290 [9]	0.3384 [10]	0.2782 [9]
Muş	1503	3333	515	1111	0.2849 [16]	0.2313 [16]	0.1886 [14]
Samsun	11500	12735	5916	7856	0.4796 [11]	0.3879 [9]	0.2720 [10]
Sivas	2217	3390	503	1232	0.2174 [17]	0.2028 [17]	0.1551 [17]
Tekirdağ	6521	7399	1256	17481	1 [1]	0.8426 [2]	0.6479 [2]
Ferit Melen	4410	7421	2613	6720	0.5836 [7]	0.5208 [4]	0.4047 [4]

Table 5. Spearman Correlations between the methods

	CCR- Cross	CCR-Proposed	Cross-Proposed
Spearman Correlations	0,9711	0,9659	0,9831

Note: The correlations are significant for $\alpha=0.05$

5. Conclusion

The ranking of units in the evaluation process is a critical area of study in sectors where performance measures play a significant role. Consequently, it is one of the most frequently studied topics in both theoretical and applied research within the DEA literature. Recently, methods based on machine learning have gained popularity for efficiency frontier estimation in the evaluation process. This study introduces an alternative approach for ranking DMUs, utilizing SVM and an IDMU. The rankings derived from cross-efficiency and the proposed method exhibit high, positive, and statistically significant correlations. Moreover, as the number of units increases, the correlation between cross-efficiency and the proposed method improves across all combination sets in both simulation and application studies. These findings demonstrate that the proposed method can serve as a viable alternative ranking approach based on machine learning techniques in the existing literature. The alternative ranking method presented in this paper can be applied to various sectors (e.g., energy, education, healthcare) where DEA is used. The limitations of the study include the consideration of simulation studies for inputs and outputs with a specific structure. The possibility of expanding these simulation studies can be explored by repeating the variable data production process using different distribution structures and value ranges. Furthermore, the application study can be extended to real-world datasets containing a greater or smaller number of DMUs.

Contribution of Authors

In this research, Mehmet Güray Ünsal, contributed to the definition of the problem, literature research, determining and applying the method, analysis of the results, writing the article; Volkan Soner Özsoy, contributed to the

definition of the problem, literature research, writing of the article and Hacı Hasan Örkücü, contributed to the definition of the problem, literature research, determination of the method.

Conflict of Interest

All authors have no conflicts of interest.

Data Availability

The data used in this study as a real world application are available to the public in official website of General Directorate of State Airports Authority of Turkey: <https://dhmi.gov.tr/Sayfalar/AnnualReports.aspx>

References

- Afsharian, M., & Ahn, H. (2017). Multi-period productivity measurement under centralized management with an empirical illustration to German saving banks. *OR Spectrum*, 39(3), 881-911. <https://doi.org/10.1007/s00291-016-0465-8>
- Allen, R., Athanassopoulos, A., Dyson, R. G., & Thanassoulis, E. (1997). Weights restrictions and value judgements in data envelopment analysis: evolution, development and future directions. *Annals of Operations Research*, 73, 13-34. <https://doi.org/10.1023/A:1018968909638>
- Azadeh, A., Amalnick, M. S., Ghaderi, S. F., & Asadzadeh, S. M. (2007). An integrated DEA PCA numerical taxonomy approach for energy efficiency assessment and consumption optimization in energy intensive manufacturing sectors. *Energy Policy*, 35(7), 3792-3806. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.01.018>
- Bal, H., & Örkücü, H. H. (2007). A goal programming approach to weight dispersion in data envelopment analysis. *Gazi University Journal of Science*, 20(4), 117-125. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/pub/gujs/issue/7399/96859>
- Bal, H., Örkücü, H. H., & Çelebioğlu, S. (2008). A new method based on the dispersion of weights in data envelopment analysis. *Computers & Industrial Engineering*, 54(3), 502-512. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2007.09.001>
- Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management science*, 30(9), 1078-1092. <https://doi.org/10.1287/mnsc.30.9.1078>
- Boser, B. E., Guyon, I. M., & Vapnik, V. N. (1992). A training algorithm for optimal margin classifiers. In *Proceedings of the fifth annual workshop on Computational Learning Theory* (pp. 144-152). <https://doi.org/10.1145/130385.130401>
- Bouzidis, T., & Karagiannis, G. (2022). An alternative ranking of DMUs performance for the ZSG-DEA model. *Socio-Economic Planning Sciences*, 81, 101179. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2021.101179>
- Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429-444. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)
- Cortes, C., & Vapnik, V. (1995). Support-vector networks. *Machine Learning*, 20(3), 273-297. <https://doi.org/10.1007/BF00994018>
- Davoodi, A., & Rezai, H. Z. (2012). Common set of weights in data envelopment analysis: a linear programming problem. *Central European Journal of Operations Research*, 20(2), 355-365. <https://doi.org/10.1007/s10100-011-0195-6>
- Esteve, M., Aparicio, J., Rodriguez-Sala, J. J., & Zhu, J. (2022). Random Forests and the measurement of super-efficiency in the context of Free Disposal Hull. *European Journal of Operational Research*. 304(2), 729-744. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022.04.024>
- Fallahpour, A., Kazemi, N., Molani, M., Nayyeri, S., Ehsani, M. (2018) An Intelligence-Based Model for Supplier Selection Integrating Data Envelopment Analysis and Support Vector Machine. *Interdisciplinary Journal of Management Studies*, 11 (2), 209-241. <https://doi.org/10.22059/ijms.2018.237965.672750>

- Franc, V., & Hlaváč, V. (2002). Multi-class support vector machine. In *2002 International Conference on Pattern Recognition*, 2, 236-239. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICPR.2002.1048282>
- Giraleas, D., Emrouznejad, A., & Thanassoulis, E. (2012). Productivity change using growth accounting and frontier-based approaches: Evidence from a Monte Carlo analysis. *European Journal of Operational Research* 222 (3):673–683. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.05.015>
- Gonçalves, A. C., Almeida, R. M., Lins, M. P. E., & Samanez, C. P. (2013). Canonical correlation analysis in the definition of weight restrictions for data envelopment analysis. *Journal of Applied Statistics*, 40(5), 1032-1043. <https://doi.org/10.1080/02664763.2013.772571>
- Guerrero, N. M., Aparicio, J., & Valero-Carreras, D. (2022). Combining Data Envelopment Analysis and Machine Learning. *Mathematics*, 10(6), 909. <https://doi.org/10.3390/math10060909>
- Hearst, M. A., Dumais, S. T., Osuna, E., Platt, J., & Scholkopf, B. (1998). Support vector machines. *IEEE Intelligent Systems and their applications*, 13(4), 18-28. <https://doi.org/10.1109/5254.708428>
- Huang, G., Chen, H., Zhou, Z., Yin, F., & Guo, K. (2011). Two-class support vector data description. *Pattern Recognition*, 44(2), 320-329. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2010.08.025>
- Jahanshahloo, G. R., Hosseinzadeh Lotfi, F., Khanmohammadi, M., Kazemimanesh, M., & Rezaie, V. (2010). Ranking of units by positive ideal DMU with common weights. *Expert Systems with Applications: An International Journal*, 37(12), 7483-7488. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.04.011>
- Jahanshahloo, G. R., Memariani, A., Hosseinzadeh Lotfi, F., & Rezai, H. Z. (2005). A note on some of DEA models and finding efficiency and complete ranking using common set of weights. *Applied Mathematics and Computation*, 166(2), 265-281. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2004.04.088>
- Kao, H. Y., Chang, T. K., & Chang, Y. C. (2013). Classification of hospital web security efficiency using data envelopment analysis and support vector machine. *Mathematical Problems in Engineering*, 2013, 542314.
- Kuosmanen, T., & Johnson, A. L. (2010). Data envelopment analysis as nonparametric least-squares regression. *Operations Research*, 58(1), 149-160. <https://doi.org/10.1287/opre.1090.0722>
- Lam, K. F. (2010). In the determination of weight sets to compute cross-efficiency ratios in DEA. *Journal of the Operational Research Society*, 61(1), 134-143. <https://doi.org/10.1057/jors.2008.138>
- Liu, F. H. F., & Peng, H. H. (2008). Ranking of units on the DEA frontier with common weights. *Computers and Operations Research*, 35(5), 1624-1637. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2006.09.006>
- Lozano, S., Soltani, N., & Dehno Khalaji, A. (2020). A compromise programming approach for target setting in DEA. *Annals of Operations Research*, 288(1), 363-390. <https://doi.org/10.1007/s10479-019-03486-7>
- Mecit, E. D., & Alp, I. (2012). A new restricted model using correlation coefficients as an alternative to cross-efficiency evaluation in Data Envelopment Analysis. *Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics*, 41(2), 321-335. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/pub/hujms/issue/7755/101371>
- Mecit, E. D., & Alp, I. (2013). A new proposed model of restricted data envelopment analysis by correlation coefficients. *Applied Mathematical Modelling*, 37(5), 3407-3425. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2012.07.010>
- Michali, M., Emrouznejad, A., Dehno Khalaji, A., & Clegg, B. (2021). Noise-pollution efficiency analysis of European railways: A network DEA model. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 98, 102980. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102980>
- Örkücü, H. H., Ünsal, M. G., & Bal, H. (2015). A modification of a mixed integer linear programming (MILP) model to avoid the computational complexity. *Annals of Operations Research*, 235(1), 599-623. <https://doi.org/10.1007/s10479-015-1916-3>
- Pecha, M., Horák, D. (2020). Analyzing $l1$ -loss and $l2$ -loss Support Vector Machines Implemented in PERMON Toolbox. In: Zelinka, I., Brandstetter, P., Trong Dao, T., Hoang Duy, V., Kim, S. (eds) AETA 2018 - Recent

Advances in Electrical Engineering and Related Sciences: Theory and Application. AETA 2018. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 554. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-14907-9_2

Petridis, K., Tampakoudis, I., Drogas, G., Kiosses, N. (2022) A Support Vector Machine model for classification of efficiency: An application to M&A. *Research in International Business and Finance* 61, 101633. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2022.101633>

Podinovski, V. V. (1999). Side effects of absolute weight bounds in DEA models. *European Journal of Operational Research*, 115(3), 583-595. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(98\)00124-6](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00124-6)

Premachandra, I. M. (2001). A note on DEA vs principal component analysis: An improvement to Joe Zhu's approach. *European Journal of Operational Research*, 132(3), 553-560. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(00\)00145-4](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(00)00145-4)

Ramasubramanian, K., Singh, A. Machine Learning Using R, 2nd Edition, Apress, Delhi India, 2019. <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-4215-5>

Ramón, N., Ruiz, J. L., & Sirvent, I. (2012). Common sets of weights as summaries of DEA profiles of weights: With an application to the ranking of professional tennis players. *Expert Systems with Applications*, 39(5), 4882-4889. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.10.004>

Rezaie, V., Ahmad, T., Daneshfard, C., Khanmohammadi, M., & Nejatian, S. (2013). An Integrated modeling based on data envelopment analysis and support vector machines: A case modeling of Tehran Social Security Insurance Organization. *World Applied Sciences Journal (Mathematical Applications in Engineering)*, 21, 138-142. <https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2013.21.mae.99940>

Saati, S., Hatami-Marbini, A., Agrell, P. J., & Tavana, M. (2012). A common set of weight approach using an ideal decision making unit in data envelopment analysis. *Journal of Industrial & Management Optimization*, 8(3), 623-637. <http://dx.doi.org/10.3934/jimo.2012.8.623>

Saradhi, V.V., & Girish, K.R. (2015). Effective Parameter Tuning of SVMs Using Radius/Margin Bound Through Data Envelopment Analysis, *Neural Process Letters* 41:125–138. <https://doi.org/10.1007/s11063-014-9338-9>

Sexton, T. R., Silkman, R. H., & Hogan, A. J. (1986). Data envelopment analysis: Critique and extensions. *New Directions for Program Evaluation*, 1986(32), 73-105. <https://doi.org/10.1002/ev.1441>

Suthaharan, S. (2016). Support Vector Machine. In: Machine Learning Models and Algorithms for Big Data Classification. Integrated Series in Information Systems, vol 36. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7641-3_9

Thompson, R. G., Singleton Jr, F. D., Thrall, R. M., & Smith, B. A. (1986). Comparative site evaluations for locating a high-energy physics lab in Texas. *Interfaces*, 16(6), 35-49. <https://doi.org/10.1287/inte.16.6.35>

Tsionas, M. (2022). Efficiency estimation using probabilistic regression trees with an application to Chilean manufacturing industries. *International Journal of Production Economics*, 249, 108492. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108492>

Ünsal, M. G. & Örkücü, H. H. (2017). Ranking decision making units with the integration of the multi-dimensional scaling algorithm into PCA-DEA. *Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics*, 46(6), 1187-1197. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/pub/hujms/issue/38350/444401>

Ünsal, M. G., & Nazman, E. (2020). Investigating socio-economic ranking of cities in Turkey using data envelopment analysis (DEA) and linear discriminant analysis (LDA). *Annals of Operations Research*, 294(1), 281-295. <https://doi.org/10.1007/s10479-017-2748-0>

Ünsal, M. G., & Örkücü, H. H. (2016). A note for weight restriction in the ARIII model based on correlation coefficients. *Applied Mathematical Modelling*, 40(23-24), 10820-10827. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2016.06.052>

- Valero-Carreras, D., Aparicio, J., & Guerrero, N. M. (2021). Support vector frontiers: A new approach for estimating production functions through support vector machines. *Omega*, 104, 102490. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2021.102490>
- Valero-Carreras, D., Aparicio, J., & Guerrero, N. M. (2022). Multi-output Support Vector Frontiers. *Computers & Operations Research*, 143, 105765. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2022.105765>
- Wang, Y. M., Chin, K. S., & Luo, Y. (2011). Cross-efficiency evaluation based on ideal and anti-ideal decision making units. *Expert Systems with Applications*, 8(38), 10312-10319. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.02.116>
- Wang, Y. M., Luo, Y., & Liang, L. (2009). Ranking decision making units by imposing a minimum weight restriction in the data envelopment analysis. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 223(1), 469-484. <https://doi.org/10.1016/j.cam.2008.01.022>
- Wanke, P., & Barros, C.P. (2017) Efficiency thresholds and cost structure in Senegal airports, *Journal of Air Transport Management* 58, 100-112. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2016.10.005>
- Yang, X., & Dimitrov, S. (2017). Data envelopment analysis may obfuscate corporate financial data: using support vector machine and data envelopment analysis to predict corporate failure for nonmanufacturing firms. *INFOR: Information Systems and Operational Research*, 55(4), 295-311. <https://doi.org/10.1080/03155986.2017.1282290>
- Yeh, C. C., Chi, D. J., & Hsu, M. F. (2010). A hybrid approach of DEA, rough set and support vector machines for business failure prediction. *Expert Systems with Applications*, 37(2), 1535-1541.
- Zhang, Q., Wang, C. (2019). DEA efficiency prediction based on IG-SVM. *Neural Computing and Applications*, 31:8369–8378 <https://doi.org/10.1007/s00521-018-3904-4>
- Zhao, L., Wang, B., He, J., Jiang, X. (2022) SE-DEA-SVM evaluation method of ECM operational disposition scheme. *Journal of Systems Engineering and Electronics* 33 (3), 600 – 611. <https://doi.org/10.23919/JSEE.2022.000058>
- Zhu, N., Zhu, C., Emrouznejad, A. (2021) A combined machine learning algorithms and DEA method for measuring and predicting the efficiency of Chinese manufacturing listed companies, *Journal of Management Science and Engineering* 6(4), 435-448. <https://doi.org/10.1016/j.jmse.2020.10.001>
- Zhu, J. (1998). Data envelopment analysis vs. principal component analysis: An illustrative study of economic performance of Chinese cities. *European Journal of Operational Research*, 111(1), 50-61. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(97\)00321-4](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(97)00321-4)



Journal of Turkish Operations Management

Two new parameter proposals for variable neighborhood descent algorithm to minimize C_{max} in machine scheduling problem

Günay KILIÇ^{1*}, Arzu ORGAN²

¹Pamukkale Üniversitesi Rektörlük, Denizli, Türkiye

gkilig@pau.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0003-2236-7535>

²Pamukkale Üniversitesi İİBF, Denizli, Türkiye

aorgan@pau.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-2400-4343>

*Sorumlu Yazar

Article Info

Article History:

Received: 12.07.2024

Revised: 10.02.2025

Accepted: 11.02.2025

Keywords:

Variable Neighborhood Descent,
Metaheuristic,
Unrelated Parallel Machine
Scheduling Problem with Sequence-
Dependent Setup Times

Abstract

Scheduling can be defined as the assignment of jobs to machines that will be processed under certain constraints and measurements. Different scheduling problems arise when creating schedules and assigning jobs to machines. The problem of interest in this study is the Unrelated Parallel Machine Scheduling Problem with Sequence-Dependent Setup Times (UPMSPST), which is classified as NP-hard. The objective of the problem is to minimize the makespan (C_{max}). In UPMSPST, machines have different processing times for jobs and there are machine-dependent setup times between jobs. Exact solution methods are not sufficient for solving the UPMSPST and many metaheuristics have been proposed by researchers to find approximate solutions.

The aim of this paper is to propose two new parameters for solving the UPMSPST with the Variable Neighborhood Descent (VND) algorithm, which is a single-solution metaheuristic algorithm, in order to find better solutions. The proposed parameters are tested in four different scenarios and the results of the best parameter configuration are given. The results show that the proposed new parameters are effective in improving the existing solution.

1. Introduction

Scheduling is a highly significant process that affects the efficiency of the production process in many manufacturing problems and must be well-planned by businesses. This process varies from one business to another. These differences lead to variations in machines and tasks and result in different scheduling problems. Changes in workshops, machines, and tasks have led to the emergence of many scheduling problems. The goal of scheduling is to optimize one or more objectives when assigning a resource to a task. If the resources are the machines in a workshop, the tasks can be described as the jobs in a production process. Scheduling problems can be classified based on the arrival of jobs and the number of machines processing the jobs. Deterministic problems in the classification based on the arrival of jobs are delay-free situations where no machine stops. There is no change in the number of jobs or machines throughout the scheduling process (Pinedo, 2008). When classified by the number of machines, scheduling problems can be divided into single-machine models and multiple-machine models. In environments with multiple machines, there are three fundamental models: parallel systems, serial systems, and job shop systems (Baker and Trietsch, 2018). Unrelated machines in the parallel machine scheduling category refer to machines that perform the same function but have different capabilities and capacities. The use of an appropriate number of machines with different capabilities and capacities increases flexibility in businesses, making it widely used in many sectors such as textiles, chemicals, and electronics manufacturing (Lin et al., 2011). Unrelated Parallel Machine Scheduling Problem with Sequence-Dependent Setup Time (UPMSPSDST), the completion times of each job on each machine differ. In this problem, machines operate with different capacities according to the jobs. Each job also requires a setup time on the machine before processing. The setup times for jobs vary depending on the last job processed on the machine or the first job processed on that machine. The problem addressed in this study involves unrelated multiple machines in the UPMSPSDST. The processing times of machines for jobs are different. Additionally, each job has different setup times depending on the machines and the jobs assigned previously. The simpler version of this problem, the identical parallel machine scheduling problem without setup times, is an NP-hard problem when the number of machines is 2 (Arnaout, 2020). Therefore,

this problem is also NP-hard. The goal of this problem is to minimize the maximum completion time (C_{max}) resulting from the scheduling. Exact solution methods are insufficient for solving NP-hard problems. Metaheuristic methods are employed to solve problems in this class. Metaheuristic methods aim to improve a candidate solution iteratively based on given criteria. Although they do not guarantee an exact solution, metaheuristic algorithms can solve optimization problems that other optimization techniques cannot effectively solve (Al-Salem, 2004). The aim of this study is to enhance the Variable Neighborhood Descent (VND) algorithm, a single-solution metaheuristic algorithm, and test two newly proposed parameters under four different scenarios to find higher quality solutions for the UPMSPSDST. The results of the proposed new parameters have been provided according to the scenarios, and it was found that the proposed new parameters are effective in improving the solution.

2. Mathematical Model

The scheduling problem is a combinatorial problem and it can be modeled as an integer programming problem (Toragay ve Pouya, 2023). In addition to the heuristic solutions developed for the solution of the UPMSPSDST problem, an integer programming model is also presented (Anagnostopoulos & Rabadi, 2002). The steps and formulas of the presented model are given below.

$$\text{Minimize } C_{max} \quad (1)$$

$$\text{subject to}$$

$$\sum_{\substack{i=0 \\ i \neq j}}^n \sum_{k=1}^m X_{i,j,k} = 1 \quad \forall j = 1, \dots, n \quad (2)$$

$$\sum_{\substack{i=0 \\ i \neq h}}^n X_{i,j,k} - \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq h}}^n X_{h,j,k} = 0 \quad \forall h = 1, \dots, n, \forall k = 1, \dots, m \quad (3)$$

$$C_j \geq C_i + \sum_{k=1}^m X_{h,j,k} (S_{i,j,k} + P_{j,k}) + HV \left(\sum_{k=1}^m X_{i,j,k} - 1 \right) \quad \forall h = 1, \dots, n, \forall i = 0, \dots, n, \forall j = 1, \dots, n \quad (4)$$

$$C_j \leq C_{max} \quad \forall j = 1, \dots, n \quad (5)$$

$$\sum_{j=0}^n X_{0,j,k} = 1 \quad \forall k = 1, \dots, m \quad (6)$$

$$C_j \geq 0 \quad \forall j = 1, \dots, n \quad (7)$$

$$C_0 = 0 \quad (8)$$

$$X_{i,j,k} \in \{0,1\} \quad \forall i = 0, \dots, n, \forall j = 0, \dots, n, \quad \forall k = 1, \dots, m \quad (9)$$

Where,

n : Number of jobs

m : Number of machines

C_j : Completion time of job j

$P_{j,k}$: processing time of job j on machine k

$S_{i,j,k}$: Setup time if job j is scheduled directly after job i on machine k

$S_{0,j,k}$: Setup time if job j is scheduled to go first on machine k

$X_{i,j,k}$: 1 if job j is scheduled directly after job i on machine k and 0 otherwise

$X_{0,j,k}$: 1 if job j is scheduled first on machine k and 0 otherwise

$X_{j,0,k}$: 1 if job j is scheduled last on machine k and 0 otherwise

HV : a large positive integer

The goal (1) is to minimize the makespan. Constraints (2) ensure that each job is assigned to only one machine and scheduled once. Constraints (3) make sure that each job has a predecessor and a successor. Constraints (4) are responsible for calculating the completion times and prevent any job from being both the predecessor and the successor of the same job. Constraints (5) define the makespan. Constraints (6) ensure that no job is scheduled as the first job more than once. There's no need for additional constraints to guarantee only one job is scheduled last,

as this is already covered by constraints (6) and (3) together. Constraints (7) and (8) ensure that completion times are non-negative and that the dummy job's completion time is zero, respectively. Finally, constraints (9) state that the decision variable x is binary across all domains.

3. Literature Review

The scheduling problem is encountered in many production areas. The differences in these problems have led to the formation of various objective functions. One of the common objective functions is to minimize Cmax. Table 1 shows other academic studies that use same benchmark dataset and used algorithms.

Table 1. Previous Studies used same benchmark

Study No	Study	Algorithm	Compared Study
1	Al-Salem (2004)	PH (Partitioning Heuristic)	-
2	Rabadi et al. (2006)	Meta-RaPS	1
3	Helal et al. (2006)	TS	1
4	Arnaout et al. (2010)	Ant Colony Optimization	1,2,3
5	Chang and Chen (2011)	SA and GA	1
6	Ying et al. (2012)	Restricted TS	1,2,3,4
7	Fleszar et al. (2012)	Multi-Start VND	2,4
		Artificial Bee Colony	
8	Lin ve Ying (2014)	Hybrid Artificial Bee Colony	1,2,3,4,5
9	Arnaout et al. (2014)	Ant Colony Optimization	1,2,3,4
10	Yılmaz Eroğlu et al. (2014)	GA+ Local Search	4,5
11	Cota et al. (2017)	Automata - Adaptive Large Neighborhood Search	4,9
12	De Abreu, L. R., and De Athayde (2020)	GA+VND+SA (GIVP)	4,5,10
13	Arnaout (2020)	Worm Optimization Algorithm	3,6,8,9,10

As seen in Table 1, the tested work has attracted attention from many researchers and different solutions have been developed with different algorithms. These developed solutions have been compared with each other. For solving this problem, single-solution methods such as Tabu Search and Simulated Annealing have been used, as well as population-based metaheuristic algorithms such as Ant Colony Optimization, Worm Optimization Algorithm, Genetic Algorithm, and Artificial Bee Colony Algorithm. Additionally, hybrid algorithms that combine both single-solution and population-based algorithms have also been employed. The methods developed by researchers have achieved successful results in the test benchmark.

The unrelated parallel machine scheduling problem has also been the subject of academic studies on different objective functions and different data sets. Some of recent studies are as follows.

In the study by Zhang et al. (2021), a new model for the UPMSPT problem was proposed by incorporating limited workforce and the learning effects of individuals. To solve this proposed model, a combinatorial evolutionary algorithm (CEA) was presented, which includes list scheduling (LS), the shortest setup time (SST) priority rule, and the earliest completion time (ECT) priority rule. For testing the algorithm, 72 instances were created, and the Taguchi method was used to determine the best parameter combinations. The proposed algorithm was compared with other algorithms and found to be successful.

In the study by Berthier et al. (2022), they focused on a real industrial problem in a textile factory. Two additional features were incorporated into the parallel machine scheduling problem with sequence-dependent setup times: machine eligibility and limited resources. The study aimed to balance the workload by addressing the dynamic layout between jobs in the workshop and determining machine groups. A mathematical model of the problem was developed, and solutions were obtained using a genetic algorithm.

In the study by Sanati et al. (2023), the authors address the unrelated parallel machine energy-efficient scheduling problem with sequence-dependent setup times, considering various energy consumption tariffs. The study evaluates setup times in two different ways: separately and jointly with processing times, developing mixed-integer linear programming models for both scenarios. In the models where setup times are separate, solutions were obtained for problems involving up to 16 machines and 45 jobs, while for the joint setup time models, solutions were achieved for up to 20 machines and 40 jobs. Additionally, a fix-and-relax heuristic was developed for large-scale problems, enabling solutions for instances ranging from 20 to 100 jobs.

In their study, Saraç and Özçelik (2023) focus on a multi-objective problem in the unrelated parallel machine scheduling problem, aiming to minimize both total completion time and total tardiness. To achieve this, they

propose an alternative metaheuristic algorithm to the Augmented ε -constraint (AEC) algorithm. The authors emphasize that the proposed algorithm outperforms the AEC algorithm.

In the study, Ramos-Figueroa et al (2023) they aimed to solve the unrelated parallel machine scheduling problem using a Group Genetic Algorithm, an extension of the standard Genetic Algorithm. They achieved a 52% improvement over the original mutation operator by introducing a new mutation operator called 2-Items.

In their study, Elyasi et al.(2024) focus on an unrelated parallel machine scheduling problem related to Vestel. This problem aims to minimize both early and tardy completion times in a production environment with unrelated parallel machines. To achieve this, they employed the Imperial Competitive Algorithm, and the results showed that their algorithm outperformed the current state of the art by 39%, as well as surpassing the best algorithms in the literature by 23% and 12%.

In their study, Fonseca et al. (2024) proposed a "fix and optimize" algorithm for the unrelated parallel machine scheduling problem. They aimed to solve subproblems grouped by subsets of machines. To address these subproblems, they introduced a mathematical program called MPA, which was used to find solutions. Computational experiments demonstrated that the proposed approach provided significantly higher-quality solutions compared to the standalone exact algorithm. When compared to the best heuristic approaches in the literature, the proposed algorithm performed better in instances with a high number of jobs per machine, but exhibited lower performance in instances with fewer jobs per machine.

In their 2024 study, Muñoz-Díaz et al. proposed an unrelated parallel machine problem inspired by a station in the wind tower production process, which includes setup times for the machines. They also introduced a new feature involving supportive machines that assist those with capacity shortages. For this problem, a mixed-integer linear programming model was formulated, and solutions were proposed using three different algorithms: a constructive heuristic, simulated annealing, and tabu search. The results of these algorithms were compared to evaluate their effectiveness.

The aim of this study is to develop a proposed VND algorithm (VND_KMP_SP), which is a single-solution metaheuristic, with two new parameters, and to test it on a commonly used problem, instead of proposing an algorithm to be compared with hybrid or population-based algorithms.

4. Variable Neighborhood Descent Algorithm

The Variable Neighborhood Search (VNS) algorithm is based on the idea of systematically changing predefined neighborhood structures to search for solutions (Mladenović and Hansen, 1997). In this study, the proposed algorithm with new parameters is the Variable Neighborhood Descent (VND) algorithm, which is the deterministic version of the VNS algorithm and does not include a local search phase (Hansen and Mladenovic, 2003). The VND algorithm has been used as the local search phase in many hybrid metaheuristic algorithms, including scheduling problems (Gao et al., 2008; Haupt and Haupt, 2004). The basic form of the VND algorithm is presented below.

Algorithm VND

input: x = initial solution, neighborhood structures $N_k, k = 1, \dots, k_{\max}$

output: x : Final Scheduled Jobs

1. **procedure** VND (x, N_k)
 2. **repeat** until stopping criterion is met:
 3. $k=1$
 4. $k = k_{\max}$ repeat until:
 5. $x' = N_k(x)$
 6. **if** (x' is better than x):
 7. $x = x', k = 1$
 8. **else:**
 9. $k=k+1$;
 10. **return** x
 11. **finish.**
-

VND algorithm aims to search for a better solution by swapping jobs within neighborhood structures. In solving scheduling problems, typically five different neighborhood structures are used. Three of these involve intra-machine swaps, while the other two involve inter-machine job swaps. The intra-machine swaps consist of swapping two jobs on the same machine (K1), inserting one job after another job on the same machine (K2), and reversing the order of two jobs on the same machine (K3). The inter-machine job swaps involve swapping jobs between two different machines (K4) and inserting a job from one machine after a job on another machine (K5) (Wang et al., 2016).

5. Proposed adapted VND Algorithm

VND algorithm requires an initial solution and the predefinition of neighborhood structures. In this study, five different neighborhood structures, as outlined in Section 3, have been utilized, and a balanced-random initial algorithm has been proposed for generating the initial solution.

5.1 Initial Solution (Balanced- Random)

The proposed balanced-random initialization algorithm aims to distribute jobs across machines such that all machines are assigned an equal number of jobs. When a randomly selected job is assigned to a machine, the machine with the fewest jobs is chosen from the available machines. If there is more than one machine with the minimum load, the selection among these machines is made randomly.

Algorithm Balanced- Random

input: N : All Jobs, M : All machines UM : Available machines

output: x : Final scheduling

1. **procedure** balaced-random (N, M, UM)
 2. $N, M, UM \leftarrow M, m=j=L=\emptyset$
 3. **repeat** until N is empty:
 4. if UM is empty:
 5. $UM \leftarrow M$
 6. $j = \text{random.choise}(N)$
 7. $m = \text{random.choise}(UM)$
 8. $x.append(m, j)$
 9. $N.remove(j)$
 10. $UM.remove(m)$
 11. **return** x
 12. **finish.**
-

The balanced-random algorithm creates an initial solution for testing the parameters proposed to the VND algorithm. The initial solution is the same for each scenario. In this way, the proposed parameters were tested with the same initial solutions in different scenarios.

5.2 New parameters for VND

In this study, two new parameters are proposed for the VND algorithm. These are the critical machine selection parameter and the constraint parameter.

5.2.1 Critical machine selection parameter

In scheduling problems where the objective function is Cmax, the machine with the highest load determines the Cmax value. This machine can be referred to as the critical machine. When selecting two machines randomly during neighborhood changes, if one of these machines is not the critical machine, the Cmax value does not decrease even if the workloads of the selected machines change when the neighborhood structure is applied. For this reason, a critical machine parameter (kmp) has been added to the neighborhood structures found in the literature. When the kmp parameter is 1, if the number of affected machines is one in the neighborhood structure

to be applied, it is ensured that this machine is the critical machine. If the number of affected machines is two, one of these machines is ensured to be the critical machine. This parameter aims to reduce the Cmax value as soon as possible in the neighborhood structure. The kmp parameter aims to more effectively explore the solution space.

5.2.2 Constraint parameter

The study proposes a constraint parameter (sp) to constrain the tasks that can change in neighborhood structures. This parameter can take values in the range $sp = [0 - N/2]$ where N is the total number of jobs. During neighborhood changes, the restriction parameter sp can limit the change to all tasks in the list or only to those on the critical machine. If only the tasks on the critical machine are limited to change, the sp can take values in the range $sp = [0 - n_{km}/2]$, where n_{km} is the number of tasks on the critical machine. When $sp=0$, it is possible to select all jobs during the neighborhood change. For each increment of 1 in the sp parameter, the two consecutive jobs with the lowest processing and setup times among the tasks assigned to the machines are calculated. These jobs are then fixed on their assigned machine and prevented from changing.

5.2.3 Test Scenarios

By introducing new parameters to the VND algorithm, a new adapted VND algorithm called VND_KMP_SP has been proposed. These parameters have been tested with initial solutions generated using the balanced-random initialization algorithm in four different scenarios. The scenarios and parameter values, including the critical machine selection (kmp) from Section 3.2.1 and the constraint parameter (sp) from Section 3.2.2, are presented in Table 2.

Table 2. Test scenarios ve parameter values

Scenario	kmp	sp
scenario -1	0	0
scenario -2	1	0
scenario -3	1	deg_sp
scenario -4	1	km_sp

The explanations of the scenarios and their parameters given in Table 2 are as follows.

scenario-1: In this scenario, machine and job selection is kept free. All machines and jobs can be selected in the neighborhood change. This scenario represents the basic VND algorithm introduced in section 3.

scenario -2: In this scenario, one of the selected machines must be a critical machine. There is no constraint in job selection, all jobs can be chosen.

scenario -3: In machine selection, one of the selected machines must be a critical machine. In job change, change of some of the jobs is not allowed according to the sp parameter. The sp parameter varies depending on the number of iterations and the number of jobs to be prevented from changing also varies.

scenario -4: In machine selection, one of the selected machines must be a critical machine. In job change, only some of the jobs on the critical machine are not allowed to change according to the sp parameter.

A new adapted VND algorithm is proposed with the scenarios and parameters introduced above (VND_KM_SP). The parameters of the VND_KMP_SP algorithm are as follows.

Algorithm VND_KMP_SP

input: Neighborhood structures: $N_k, k = 1, \dots, k_{\max}$, stopping count: ($n = 50$). x = initial solution with balanced-random algorithm. scenario = (scenario -1, scenario -2, scenario -3, scenario -4). i = iteration number is 0 at beginig

output: x : Final scheduling

1. **procedure** VND_KMP_SP (N_k, x , scenario, n):

2. **while** ($i \leq n$):

3. **if** (scenario = scenario -1) **then** $sp=0, kmp=0$

if (scenario = scenario -2) **then** $sp=0, kmp=1$

if (scenario = scenario -3) **then** $maxsp = n/2, kmp=1$

if (scenario = scenario -4) **then** $maxsp = \text{job count on critical machine}/2, kmp=1$

```

4.   $k=1$ 
5.  while ( $k = k_{\max}$ ):
        if (scenario = scenario -3 or scenario = scenario -4) then  $sp = \text{mod}(i, \text{maxsp})$ 
6.     $x' = N_k(x)$ 
7.    if ( $x'$  is better than  $x$ ):
8.         $x = x', k = 1$ 
9.    else:
10.         $k = k + 1$ ;
11.     $i = i + 1$ 
12. return  $x$ 
13. finish.

```

The difference between scenario -1 and scenario -2 lies in the kmp parameter. These two scenarios allow for measuring the effectiveness of the kmp parameter without any constraints on job swaps. In scenario-3 and scenario-4, the constraint parameter (sp) starts at 0 and is modulated by the number of iterations relative to the maximum value of sp (maxsp). In this case, the selection of all jobs is random, allowing for a broader search. As the sp parameter approaches its maximum value, the swapping of jobs on the critical machine becomes more restricted to the least costly jobs, enabling a narrower, more refined search. When the number of iterations reaches the maxsp parameter, only the two most costly jobs are swapped.

6. Application

6.1 Benchmark dataset

In this study, the parameters proposed for the VND_KMP_SP algorithm were tested using the dataset created by Al-Salem (2004). This large dataset consists of 540 data files, with balanced setup and processing times. The data files involve scheduling N jobs {20, 40, 60, 80, 100, and 120} on M machines {2, 4, 6, 8, 10, and 12}. The small dataset involves scheduling N jobs {6, 7, 8, 9, 10, and 11} on M machines {2, 4, 6, and 8}.

The problem and dataset of interest have been widely recognized in academic studies, with many researchers proposing solutions using various metaheuristic methods (Arnaout, 2020; Rabadi et al., 2006; Helal et al., 2006; Arnaout et al., 2010; Chang and Chen, 2011; Ying et al., 2012; Fleszar et al., 2012; Lin and Ying, 2014; Arnaout et al., 2014; Yilmaz Eroglu et al., 2014; Cota et al., 2017). The dataset and the results of other researchers can be accessed through (SchedulingResearch, 2022).

6.2 Testing VND_KMP_SP

6.2.1 Testing VND_KMP_SP on small dataset

The proposed VND_KMP_SP algorithm was run 50 times for each data file using a balanced-random initial algorithm on a small dataset. The Cmax values obtained under different scenarios and initial solutions are grouped by the number of machines and jobs. The results are presented in Table 3.

Table 3. Average Cmax Values for VND_KMP_SP Algorithm on Small Dataset Grouped by Number of Machines and Jobs

machines	jobs	Balanced-random	scenario -1 (VND)	scenario -2	scenario -3	scenario -4
2	6	467.676	419.968	418.880	416.512	418.460
2	7	599.843	528.648	523.541	522.727	523.440
2	8	615.835	558.229	555.761	552.149	552.896
2	9	743.924	654.793	650.467	645.248	647.107
2	10	770.911	698.211	693.653	688.008	690.609
2	11	890.765	783.955	777.759	769.104	774.276
4	6	315.395	281.159	267.207	273.863	267.813
4	7	322.011	288.125	276.287	279.723	277.176
4	8	327.483	299.732	289.931	296.623	289.591
4	9	446.104	389.524	373.972	378.749	374.844
4	10	469.175	412.669	398.072	400.733	397.380

4	11	479.261	426.984	412.529	410.853	411.833
6	8	313.833	278.704	259.276	268.360	259.725
6	9	322.355	287.687	269.043	273.920	268.793
6	10	329.653	296.924	279.063	285.601	278.844
6	11	332.701	301.708	285.552	289.047	285.792
8	10	317.083	278.535	254.501	265.771	254.341
8	11	323.837	288.816	265.243	271.511	265.281

According to Table 3, The use of the proposed parameters results in average best outcomes compared to the basic VND algorithm. When the number of machines is 2, Scenario 3 is the most successful. However, as the number of machines increases, the effectiveness of Scenario 2 and Scenario 4 increases.

The proposed VND_KMP_SP algorithm has been compared with previously used algorithms on the same small dataset. For each compared algorithm, the known best results for all instances (C_{max_alg}) were compared with the best results from the test scenarios of the proposed algorithm ($C_{max_scenario}$). The error percentages were calculated using Equation 1.

$$error\ percentages = \frac{C_{max_alg} - C_{max_scenario}}{C_{max_alg}} \times 100 \quad (10)$$

The averages of the values obtained with Equation 1 have been calculated for all instances. The average error percentages are provided in Table 4.

Table 4. Averages of Initial Solution Improvement Percentages by Number of Machines with VND_KMP_SP Algorithm

Algorithm	scenario-1	scenario-2	scenario -3	scenario -4
Meta-RaPS (Rabadi et al. (2006))	4.093111	1.738846	2.079439	1.618032
Tabu Search (Helal et al. (2006))	1.600028	-0.66695	-0.3482	-0.78759
Ant Colony Optimization (Arnaout et al. (2010))	4.087209	1.733748	2.074086	1.61281
Ant Colony Optimization (Arnaout et al. (2010))	1.817143	2.145203	1.675349	1.672795

When examining Table 4, it is observed that the VND_KMP_SP algorithm, run 50 times, produces better results than the commonly used Tabu Search algorithm. Additionally, it achieves results close to those of population-based algorithms such as Ant Colony Optimization. It is evident that the effectiveness of the VND_KMP_SP algorithm increases when its parameters are adjusted in the scenarios.

While VND_KMP_SP algorithm performs better than the metaheuristic Tabu Search algorithm in solving problems, it does not outperform the population-based Ant Colony Optimization algorithm. The goal of this study is not necessarily to develop a superior algorithm but to enhance the effectiveness of the basic VND algorithm with the proposed parameters.

6.2.2 Testing VND_KMP_SP on big dataset

The proposed VND_KMP_SP algorithm was run 50 times on a large dataset using a balanced-random initial algorithm for each data file. The improvement percentages of the initial solution C_{max} values (C_{max_bas}) compared to the C_{max} values from the tested scenarios ($C_{max_scenario}$) were calculated using Equation 2.

$$improvement\ percentages = \frac{C_{max_bas} - C_{max_scenario}}{C_{max_bas}} \times 100 \quad (11)$$

The averages of the development percentages were calculated and grouped according to the number of jobs and machines, and the results in Table 5 and Table 6 were obtained. The best results in the tables are indicated in bold.

Table 5. Average of initial solution improvement percentages according to the number of jobs with the VND_KMP_SP algorithm

Machines	scenario -1	scenario -2	scenario -3	scenario -4
2	8.594	9.521	11.039	10.359
4	7.62	10.106	11.78	10.869
6	8.591	11.707	12.941	12.295
8	8.186	11.465	12.507	11.929

10	6.884	10.115	10.678	10.469
12	8.397	12.302	12.69	12.537

When Table 5 is examined, it can be seen that the most successful scenario in developing the balanced-random starting solution according to the number of machines is scenario-3, where one of the machines is forced to choose a critical machine and the constraint parameter is variable.

Table 6. Average of initial solution improvement percentages according to the number of jobs with the VND_KMP_SP algorithm

Jobs	scenario -1	scenario -2	scenario -3	scenario -4
20	9.533	13.87	13.501	13.939
40	8.809	11.978	12.915	12.486
60	7.834	10.429	11.739	11.03
80	7.663	10.062	11.496	10.697
100	7.794	10.114	11.675	10.853
120	6.638	8.763	10.309	9.452

When Table 6 is examined, it is seen that similar results are obtained when grouped according to the number of jobs and scenario-3 is the most successful scenario. It has been observed that when the number of jobs is low, restricting only the jobs on the critical machine (scenario-4) gives better results.

7. Conclusion

In this study, a newly adapted VND algorithm is proposed to solve the UPMSPSDST. The proposed new algorithm tests the effectiveness of two new parameters in four different scenarios. The proposed new VND_KMP_SP algorithm suggests an effective critical machine selection parameter for scheduling problems with the objective function C_{max} . The proposed critical machine selection parameter has added efficiency to the machine selection and has been effective in reducing the C_{max} value. The other proposed constraint parameter has been found to be beneficial in reducing the C_{max} value by preventing job changes in scheduling problems with sequence-dependent setup times. The proposed VND_KMP_SP algorithm can solve the UPMSPSDST and other scheduling problems more effectively by being used in hybrid form with other metaheuristic algorithms. The effectiveness of the parameters can be investigated more extensively by adding new neighborhood structures. Also the proposed algorithm may use with local searches in the VNS algorithm. The effectiveness of the proposed algorithm can be investigated with local searches in the VNS algorithm.

Author contribution statement

In the study carried out, Günay Kılıç was involved in the formation of the idea, making the design, literature review and obtaining the results; Arzu Organ contributed to the evaluation of the results, spelling and checking the article for content.

Conflict of Interest

No conflict of interest is declared by the author.

References

- Al-Salem, A. "Scheduling to minimize makespan on unrelated parallel machines with sequence dependent setup times." *Engineering Journal of the University of Qatar* 17.1 (2004): 177-187. https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Scheduling%20to%20minimize%20makespan%20on%20unrelated%20parallel%20machines%20with%20sequence%20dependent%20setup%20times&publication_year=2004&author=A.%20Al-Salem
- Anagnostopoulos, G. C., & Rabadi, G. (2002, June). A simulated annealing algorithm for the unrelated parallel machine scheduling problem. In *Proceedings of the 5th Biannual world automation congress* (Vol. 14, pp. 115-120). IEEE. <https://doi.org/10.1109/wac.2002.1049430>
- Arnaout, J. P. (2020). "A worm optimization algorithm to minimize the makespan on unrelated parallel machines with sequence-dependent setup times." *Annals of Operations Research*, 285(1), 273-293. <https://doi.org/10.1007/s10479-019-03138-w>
- Arnaout, J. P., Musa, R., & Rabadi, G. (2014). "A two-stage Ant Colony optimization algorithm to minimize the makespan on unrelated parallel machines—part II: enhancements and experimentations." *Journal of Intelligent Manufacturing*, 25(1), 43-53. <https://doi.org/10.1007/s10845-012-0672-3>

- Arnaout, J. P., Rabadi, G., & Musa, R. (2010). "A two-stage ant colony optimization algorithm to minimize the makespan on unrelated parallel machines with sequence-dependent setup times." *Journal of Intelligent Manufacturing*, 21(6), 693-701. <https://doi.org/10.1007/s10845-009-0246-1>
- Baker, K. R., & Trietsch, D. (2018). *Principles of sequencing and scheduling*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119262602>
- Berthier, A., Yalaoui, A., Chehade, H., Yalaoui, F., Amodeo, L., & Bouillot, C. (2022). "Unrelated parallel machines scheduling with dependent setup times in textile industry." *Computers & Industrial Engineering*, 174, 108736. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108736>
- Chang, P. C., & Chen, S. H. (2011). "Integrating dominance properties with genetic algorithms for parallel machine scheduling problems with setup times." *Applied Soft Computing*, 11(1), 1263-1274. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2010.03.003>
- Cota, L. P., Guimarães, F. G., de Oliveira, F. B., & Souza, M. J. F. (2017, June). "An adaptive large neighborhood search with learning automata for the unrelated parallel machine scheduling problem." In *2017 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)* (pp. 185-192). IEEE. <https://doi.org/10.1109/cec.2017.7969312>
- Elyasi, M., Selcuk, Y. S., Özener, O. Ö., & Coban, E. (2024). "Imperialist competitive algorithm for unrelated parallel machine scheduling with sequence-and-machine-dependent setups and compatibility and workload constraints." *Computers & Industrial Engineering*, 190, 110086. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2024.110086>
- Fleszar, K., Charalambous, C., & Hindi, K. S. (2012). "A variable neighborhood descent heuristic for the problem of makespan minimisation on unrelated parallel machines with setup times." *Journal of Intelligent Manufacturing*, 23(5), 1949-1958. <https://doi.org/10.1007/s10845-011-0522-8>
- Fonseca, G. H., Figueiroa, G. B., & Toffolo, T. A. (2024). "A fix-and-optimize heuristic for the Unrelated Parallel Machine Scheduling Problem." *Computers & Operations Research*, 163, 106504. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2023.106504>
- Gao, J., Sun, L., & Gen, M. (2008). "A hybrid genetic and variable neighborhood descent algorithm for flexible job shop scheduling problems." *Computers & Operations Research*, 35(9), 2892-2907. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2007.01.001>
- Hansen, P., & Mladenovic, N. (2003). "A tutorial on variable neighborhood search." *Les Cahiers du GERAD* ISSN, 711, 2440. <https://scispace.com/pdf/a-tutorial-on-variable-neighborhood-search-lq7nrkn4zn.pdf>
- Haupt RL, Haupt SE. *Practical Genetic Algorithms*. 2nd ed. New York, USA, Wiley, 2004. <https://doi.org/10.1002/0471671746>
- Helal, M., Rabadi, G., & Al-Salem, A. (2006). "A tabu search algorithm to minimize the makespan for the unrelated parallel machines scheduling problem with setup times." *International Journal of Operations Research*, 3(3), 182-192. https://www.researchgate.net/publication/228621816_A_tabu_search_algorithm_to_minimize_the_makespan_for_the_unrelated_parallel_machines_scheduling_problem_with_setup_times
- Lin, S. W., Lu, C. C., & Ying, K. C. (2011). "Minimization of total tardiness on unrelated parallel machines with sequence-and machine-dependent setup times under due date constraints." *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 53(1-4), 353-361. <https://doi.org/10.1007/s00170-010-2824-y>
- Lin, S. W., & Ying, K. C. (2014). "ABC-based manufacturing scheduling for unrelated parallel machines with machine-dependent and job sequence-dependent setup times." *Computers & Operations Research*, 51, 172-181. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2014.05.013>
- Mladenović, N., & Hansen, P. (1997). "Variable neighborhood search." *Computers & operations research*, 24(11), 1097-1100. [https://doi.org/10.1016/s0305-0548\(97\)00031-2](https://doi.org/10.1016/s0305-0548(97)00031-2)

- Muñoz-Díaz, M. L., Escudero-Santana, A., & Lorenzo-Espejo, A. (2024). "Solving an Unrelated Parallel Machines Scheduling Problem with machine-and job-dependent setups and precedence constraints considering Support Machines." *Computers & Operations Research*, 163, 106511. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2023.106511>
- Pinedo, M. L. (2018). *Scheduling: theory, algorithms, and systems*. Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-0-387-78935-4>
- Rabadi, G., Moraga, R. J., & Al-Salem, A. (2006). "Heuristics for the unrelated parallel machine scheduling problem with setup times." *Journal of Intelligent Manufacturing*, 17(1), 85-97. <https://doi.org/10.1007/s10845-005-5514-0>
- Ramos-Figueroa, O., Quiroz-Castellanos, M., Mezura-Montes, E., & Cruz-Ramírez, N. (2023). "An experimental study of grouping mutation operators for the unrelated parallel-machine scheduling problem". *Mathematical and Computational Applications*, 28(1), 6. <https://doi.org/10.3390/mca28010006>
- Sanati, H., Moslehi, G., & Reisi-Nafchi, M. (2023). "Unrelated parallel machine energy-efficient scheduling considering sequence-dependent setup times and time-of-use electricity tariffs." *EURO Journal on Computational Optimization*, 11, 100052. <https://doi.org/10.1016/j.ejco.2022.100052>
- Saraç, T., & Özçelik, F. (2023). "A matheuristic algorithm for multi-objective unrelated parallel machine scheduling problem Çok amaçlı ilişkisiz paralel makine çizelgeleme problemi için bir matsezgisel algoritma." *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 38(3). <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.873295>
- SchedulingResearch. (2022), Accessed 01.09.2022 from www.schedulingresearch.com.
- Toragay, O., & Pouya, S. (2023). "A Monte Carlo simulation approach to the gap-time relationship in solving the job shop scheduling problem." *Journal of Turkish Operations Management (JTOM)*, 7(1). <https://doi.org/10.56554/jtom.1286288>
- Wang, L., Wang, S., & Zheng, X. (2016). "A hybrid estimation of distribution algorithm for unrelated parallel machine scheduling with sequence-dependent setup times." *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 3(3), 235-246. <https://doi.org/10.1109/jas.2016.7508797>
- Yilmaz Eroğlu, D., Ozmutlu, H. C., & Ozmutlu, S. (2014). "Genetic algorithm with local search for the unrelated parallel machine scheduling problem with sequence-dependent set-up times." *International Journal of Production Research*, 52(19), 5841-5856. <https://doi.org/10.1080/00207543.2014.920966>
- Ying, K. C., Lee, Z. J., & Lin, S. W. (2012). "Makespan minimization for scheduling unrelated parallel machines with setup times." *Journal of Intelligent Manufacturing*, 23, 1795-1803. <https://doi.org/10.1007/s10845-010-0483-3>
- Zhang, L., Deng, Q., Lin, R., Gong, G., & Han, W. (2021). "A combinatorial evolutionary algorithm for unrelated parallel machine scheduling problem with sequence and machine-dependent setup times, limited worker resources and learning effect." *Expert Systems with Applications*, 175, 114843. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.114843>



Journal of Turkish Operations Management

Türkiye'deki üniversitelerin sürdürülebilirlik açısından bulanık c-ortalamalar yöntemi ile kümelenmesi

Kevser Arman^{1*}, Nilsen Kundakcı²

¹ İşletme Bölümü, İİBF, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye
e-mail:karman@pau.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-4400-5976>

² İşletme Bölümü, İİBF, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye
e-mail:nilsenk@pau.edu.tr ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-7283-320X>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 25.05.2023

Revize: 02.03.2025

Kabul: 14.03.2025

Anahtar Kelimeler:

Bulanık c-ortalamalar (BCO),
Sürdürülebilirlik,
Üniversiteler

Özet

Üniversiteler sürdürülebilirlik kavramının tüm toplum tarafından anlaşılması ve gelişmesi açısından oldukça önemli bir yere sahiptir. Bu çalışmanın amacı GreenMetric 2021 dünya sürdürülebilir üniversite sıralama raporu kullanılarak Türkiye'deki 71 üniversiteyi sürdürülebilirlik açısından bulanık c-ortalamalar (BCO) kümeleme yöntemi ile değerlendirmektir. Kümeleme, birçok farklı alanda uygulama imkanı sunması sayesinde önemli bir araştırma alanı olmuştur. Katı kümeleme, nesnelerin sadece bir kümeye ait olmasına izin verirken bulanık kümeleme nesnelerin kümelerle ilişkin üyeliklerinin değerlendirilmesine imkân sağlamaktadır. Bu yönü ile bulanık kümeleme, kümeler arasında keskin ayrımların olmadığı veriler için daha uygundur. Bu nedenle çalışmada bulanık kümeleme algoritmalarından biri olan bulanık c-ortalamalar (BCO) kullanılmaktadır. BCO algoritması analiz sonuçlarına göre iki küme elde edilmiş olup, 1. Küme 6 sürdürülebilirlik boyutu kapsamında daha yüksek ortalamalara sahiptir. Ayrıca, 5 üniversitenin her iki kümeye ait olma derecelerinin oldukça yakın olduğu ortaya çıkmıştır. Çalışma sonucunda Türkiye'de yer alan üniversitelerin sürdürülebilirlik konusundaki konumlarının görülməsi sağlanmaktadır. Ayrıca üniversitelere sürdürülebilirliğin geliştirilmesine yönelik öneriler sunulmaktadır.

Clustering of universities in Türkiye with fuzzy c-means method in terms of sustainability

Article Info

Article History:

Received: 25.05.2023

Revised: 02.03.2025

Accepted: 14.03.2025

Keywords:

Fuzzy c-means (FCM),
Sustainability,
Universities

Abstract

Universities have a very important place in terms of the understanding and development of the concept of sustainability by the whole society. The aim of this study is to evaluate 71 universities in Turkey in terms of sustainability with the Fuzzy c-means (FCM) clustering method using the GreenMetric 2021 world sustainable university ranking report. Clustering has become an important research area as it offers application opportunities in many different fields. While hard clustering allows objects to belong to only one cluster, fuzzy clustering allows the evaluation of the membership of objects in clusters. With this aspect, fuzzy clustering is more suitable for data where there are no sharp distinctions between clusters. For this reason, fuzzy c-means (FCM), which is one of the fuzzy clustering algorithms, is used in this study. According to the results of the FCM algorithm analysis, two clusters were obtained, and Cluster 1 has higher averages within the scope of the 6-sustainability dimensions. It has been found that the degrees of belonging to both clusters of 5 universities are quite close. As a result of the study, it is provided to see the current positions of the universities in Türkiye on sustainability. In addition, suggestions are offered to universities for the development of sustainability.

1. Giriş

Kümeleme analizi, birimlerin önemli özelliklerini temsil eden değişkenleri dikkate alarak gruplandırmak için kullanılan çok değişkenli bir istatistiksel yöntemdir (Ünsal ve Kasap, 2020:426). Kümeleme, veri madenciliğinin denetimsiz sınıflandırma tekniğinin önemli bir biçimidir. Veri öğelerini, bir grup içindeki öğeler yüksek benzerlik gösterirken diğer grupların öğelerinden farklı olacak şekilde birkaç gruba ayırmaktadır (Gosain ve Dahiya, 2016: 100). Bir diğer ifade ile kümeleme, nesneleri küme adı verilen ayrık gruplar kümesine atama işlemidir, böylece belirli bir küme içerisinde bulunan nesneler farklı kümelerdeki nesnelerden daha çok birbirine benzemektedir. Kümeleme algoritmaları, veri noktalarının benzerlikleri ve farklılıklarına dayalı olarak verileri gruplandırmayı ve gruplanmış verilere ilişkin özet bilgiler elde etmeyi amaçlamaktadır. Kümeleme algoritmaları günümüzde birçok uygulama için örneğin, bilgi erişimi, veri madenciliği veya bilgisayarla görme sistemlerinde başarıyla kullanılmaktadır.

Bugün, dünya genelinde sürdürülebilirlik bilinci önemli ölçüde artmıştır. Bu farkındalık sadece üretim işletmelerini değil hizmet işletmelerini de faaliyetlerini gerçekleştirirken çevre odaklı olmaya yöneltmiştir. Bu hizmet işletmelerinden biri de üniversitelerdir (Öztaş ve diğ., 2023: 163). 1990'lardan bu yana, üniversiteler, akademisyenler tarafından sürdürülebilir bir geleceğin yaratılması için toplumda yeni roller benimsemeye teşvik edilmektedir (Cuesta-Claros ve diğ., 2022: 525). Üniversiteler sürdürülebilirliği toplum içinde yaygınlaştırmada birer aracı olarak hareket etmekte ve onlara büyük sorumluluk düşmektedir. Bu nedenle, üniversiteler kaçınılmaz olarak sürdürülebilirlik ilkelerinin yayılmasında önemli bir rol oynamaktadır (Lukman ve Glavič, 2007: 103). Benzer şekilde Dagiliūtė ve diğ. (2018)'e göre, üniversiteler, toplum üzerinde önemli bir yönlendirici etkiye sahiptir ve sürdürülebilirliğin sağlanmasında kilit bir rol oynayabilir. Bu nedenle bu çalışmanın amacı, Türkiye'de yer alan üniversitelerin sürdürülebilirlik stratejilerini değerlendirmek için bulanık c-ortalamalar (BCO) kümeleme yöntemini uygulamaktır. Daha önce Perchinunno ve Cazzolle (2020) tarafından yapılan çalışma, 780 üniversiteyi sürdürülebilirlik açısından iki aşamalı kümeleme yöntemi ile analiz etmiştir. Çalışmada önerilen yöntemin hem kategorik hem de sürekli değişkenlere dayalı kümeler oluşturabilmesi ve çok büyük veri kümelerini işlemesi avantajları arasındadır. Ancak veri yapısı düşünüldüğünde sürdürülebilirlik konusu kapsamında boolean üyelik derecesi kullanmanın analiz sonuçlarını etkileyebiliş ve değiştirebileceği düşünülmektedir çünkü üniversiteye ilişkin yorumlar bağlı olduğu kümeye göre değişkenlik göstereceği için eğer bir üniversite birden fazla kümeye ait ise değerlendirmeleri oldukça farklı olabilmektedir. Bu nedenle önceki çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada BCO kümeleme yöntemi kullanılarak Türkiye'de yer alan üniversitelerin sürdürülebilirlik düzeyi değerlendirilmektedir. Makine öğrenmesi algoritmaları, karar verme problemi için gerçek dünya verilerinin analizinde oldukça önemli bir yere sahip olmuştur (Nilashi ve diğ., 2019: 2). BCO örüntü tanıma, görüntü analizi, tıbbi teşhis, şekil analizi ve hedef tanımda yaygın olarak kullanılan denetimsiz bir kümeleme algoritmasıdır. BCO yönteminde bulanık mantık kümesi kavramındaki üyelik derecesi sayesinde veri kümesindeki her nokta birden fazla kümeye belirli derecelerde üye olabilir. Bu özellik katı bir kümeleme algoritması olan k-ortalamalar kümelemede elde edilemeyen ilişkinin elde edilmesini sağlamaktadır (Tokat ve diğ., 2022: 6379). Bu nedenle çalışmada BCO yöntemi kullanılmaktadır. Çalışmada önerilen yaklaşımın sürdürülebilirlik ile ilgili mevcut literatüre katkı sağlayacağı beklenmektedir.

Çalışma şu şekilde düzenlenmiştir. İkinci bölümde, sürdürülebilirlik ve BCO ile ilgili literatür taraması sunulmaktadır. Üçüncü bölümde öncelikle kümeleme algoritmalarına yer verilmiş daha sonra bulanık mantık ve bulanık kümeler açıklandıktan sonra bulanık c-ortalamalar algoritması tanımlanarak bu yöntemin adımları sunulmuştur. Dördüncü bölüm, çalışmanın uygulanmasını ve analiz sonuçlarını içerir. Sonuç bölümünde ise çalışma genel olarak yorumlanmış ve gelecekteki çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

2. Literatür taraması

Bu bölüm, literatür taramasını iki açıdan tartışmaktadır. İlk olarak, sürdürülebilirliğe odaklanan çalışmalar ele alınmıştır. Daha sonra, BCO yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen farklı uygulamalar sunulmuştur. Daha önce yapılan birçok ampirik çalışma, sürdürülebilirlik konusunu detaylı bir şekilde ele almaktadır. Bu çalışmalar aynı amaca sahip olmalarına rağmen incelenen alan ve kullanılan yöntem yönünden farklılık göstermektedir. Bu çalışmalardan bazıları şu şekildedir. Cantuarias-Villessuzanne (2021), çalışmada şehirlerin sürdürülebilirlik stratejilerini anlamak için Avrupa akıllı şehirlerinin kümelenmesini temel bileşenler analizi (PCA) ve hiyerarşik artan sınıflandırma (HAC) yöntemleri ile ele almıştır. Çalışma sonucunda üç küme tespit edilmiştir. Buna göre ilk küme gelişmekte olan akıllı stratejilere sahip şehirleri temsil eder. İkinci küme, belirli zorluklarla başa çıkmak için teknoloji odaklı stratejileri olan uluslararası metropollerini yeniden gruplandırır. Üçüncü küme, iyi bir yaşam kalitesine sahip orta büyüklükteki Avrupa şehirlerini temsil etmektedir. Paulvannan Kanmani ve diğ. (2020), kendini düzenleyen haritalar (SOM) kullanarak ülkelerin küresel çevresel sürdürülebilirliğini değerlendirmektedir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar ülkelerin çevresel sürdürülebilirliklerini iyileştirmeye yönelik etkili yollar belirleyerek ülkelerin daha bilinçli kararlar almasını sağlamaktadır. Perchinunno ve Cazzolle (2020), üniversiteleri dünya sürdürülebilirlik sıralamasında sınıflandırmak için iki aşamalı kümeleme yaklaşımını kullanmıştır. Çalışma

sonucunda dört sürdürülebilirlik düzeyi tanımlanmaktadır: üst, yüksek, orta ve düşük sürdürülebilirlik. Çağlar ve Gürler (2022), dünya çapındaki ülkeleri sürdürülebilir kalkınma hedefleri süreci açısından k-ortalamlar kümeleme yöntemi ile sınıflandırmıştır. Analize 110 ülke dahil edilmiş olup, veriler, Sürdürülebilir Kalkınma Raporu 2019'dan elde edilmiştir. Analiz sonuçları, ülkelerin 5 kümeye ayrılabilirliğini göstermektedir. Öztas ve diğ. (2023), Avrupa'daki 35 yeşil üniversiteyi gini katsayısı tabanlı ağırlıklandırma yöntemine dayanan MABAC yöntemi ile sıralamaktadır. Veriler UI GreenMetric 2021 raporundan elde edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre "Düzenleme ve Altyapı" en önemli kriter, "Atık" ise en az önemli kriterdir. GreenMetric 2021 raporunun sunduğu sıralama ve çalışmada önerilen metodoloji ile elde edilen sıralama arasındaki korelasyon 0,815'tir.

Izakian ve Abraham (2011), BCO ve bulanık Parçacık Sürü Optimizasyonu (FPSO) yöntemlerine dayalı hibrit bir bulanık kümeleme yaklaşımı önermiştir. Bu amaçla, altı veri seti; Iris, Glass, Cancer ve Wine üzerindeki deneysel sonuçlar, önerilen hibrit yöntemin verimli olduğunu göstermektedir. Singh ve diğ. (2011), mamogramlarda meme kanseri kitlesi ve kalsifikasyon varlığını belirlemek için k-ortalamlar ve BCO kümeleme yöntemlerini kullanmışlardır. Önerilen birleşik yöntem ile mamogram görüntülerinde meme kanseri bölgesi başarıyla tespit edilmiştir. Şişeci ve Çetışli (2014) çalışmasında, k-ortalamlar ve BCO yöntemlerini kullanarak traverten plakalar için yeni bir sınıf tanımlaması önermiştir. Cebeci ve Yıldız (2015), farklı küme yapılarını k-ortalamlar ve BCO algoritmaları ile karşılaştırmıştır. Buna göre tüm veri setleri için k-ortalamlar BCO'dan daha hızlı çalışmaktadır. Bununla birlikte tüm durumlar için en iyi olan herhangi bir algoritma yoktur ve uygun bir algoritmaya karar vermek için veri kümelerinin dağılımı açısından dikkatlice incelenmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Alptekin ve Yeşilaydın (2015), BCO kullanarak OECD ülkelerini sağlık göstergelerine göre sınıflandırmıştır. Çalışma kapsamında, 34 ülke ele alınmış ve on değişken kullanılmıştır. Gosain ve Dahiya (2016) literatürde yer alan bulanık kümeleme algoritmalarının performansının kapsamlı bir çalışmasını ve deneysel analizini gerçekleştirmişlerdir. Zorlutuna ve Erilli (2018), MATLAB ortamında, illeri sosyo-ekonomik verilere göre BCO yöntemi ile sınıflandırmıştır. Yeh (2021), çalışanların üretim hattında performans gösterme becerilerini değerlendirmek ve her çalışan için hangi operasyonel yeteneklerin uygun olduğunu belirlemek için BCO kümeleme yöntemini kullanmıştır. Çalışkan ve diğ. (2021), BCO yöntemi kullanarak 32 ülkeyi yükseköğretim performanslarına göre değerlendirmiştir. Aydın ve Kayhan (2021), Jensen Shannon mesafesine dayanan Jensen Shannon bulanık c-ortalamlar (JSBCO) kümeleme yöntemini önermiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, JSBCO algoritmasının 10 farklı çalışma kapsamında %80 doğruluk sunduğunu göstermektedir. Zeybekoğlu (2021), BCO Yöntemi ile Türkiye Karadeniz Bölgesinde standart süreli yağış şiddetlerinin kümelenmesi konusunu ele almıştır. Ok (2022), BCO kullanarak 42 ülkenin işsizlik göstergeleri temelinde kümelenmesini MATLAB ve R ortamlarında ele almıştır. Eker ve diğ. (2022), kapasiteli araç rotalama problemini BCO ile başlangıç çözümü iyileştirilmiş tavlama benzetimi algoritması ile ele almıştır. Çalışma sonucunda BCO ile iyileştirilmiş başlangıç çözüm, optimuma daha yakın bir çözüm sunmaktadır. Wulandari ve Yogantara (2022), ekonomi ve sağlığa dayalı olarak ülkelerin kümelenmesi için k-ortalamlar ve BCO algoritmalarını kullanmış ve algoritmaların performanslarını karşılaştırmıştır. Tokat ve diğ. (2022), depo yükleme işlemleri için BCO kümeleme tabanlı performans göstergesi tasarımı konusunu ele almıştır. Çalışmada BCO sonuçları kullanılarak ambar yükleme işlemleri için performans göstergesi önerilmektedir.

Literatür incelendiğinde kümeleme algoritmalarının birçok farklı alanda uygulandığı görülmektedir. Bununla birlikte sürdürülebilirlik konusu ise birçok araştırmacı tarafından farklı çerçevelerden incelenmiştir. Bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak üniversitelerin sürdürülebilirlik açısından BCO algoritması ile kümelenmesi amaçlanmaktadır. Çalışmanın bu yönü ile literatüre katkı sunması beklenmektedir.

3. Yöntem

3.1. Kümeleme algoritmaları

Kümeleme algoritmaları kapsamında verilerle ilgili farklı temel varsayımlar göz önünde bulundurularak ve farklı yaklaşımlar kullanılarak farklı algoritmalar geliştirilmiştir. Kümeleme algoritmaları genel olarak katı ve bulanık olarak sınıflandırılabilir (Izakian ve Abraham, 2011: 1835). Nesneler yalnızca bir gruba tahsis edildiğinde, bu tür kümelemeye katı kümeleme denir. Katı kümelemede kümeler, elemanın üyeliğini temsil eden kesin kümelerle sahiptir, yani bir kümedeki öğelerin üyeliği, bir öğenin kümeye ait olup olmadığına ilişkin iki değerli koşula göre ikili terimlerle değerlendirilir. Nesneler yalnızca bir gruba ait olmadığında, bunun yerine birkaç gruptaki üyeliğin bir kısmını paylaştıklarında, bu tür kümelemeye bulanık kümeleme denir. Dolayısıyla, bulanık kümeleme, gerçek birim aralığında $[0,1]$ değerli bir üyelik fonksiyonu tarafından tanımlanan bir kümedeki elemanların üyeliğinin kademeli olarak değerlendirilmesine izin vermektedir (Gosain ve Dahiya, 2016: 101). Kendi kendini organize eden haritalar, k-ortalamlar, c-ortalamlar, bulanık c-ortalamlar iyi bilinen kümeleme algoritmalarından bazılarıdır (Torra, 2005: 646). En popüler kümeleme algoritmalarından biri olan k-ortalamlar araştırmanın amacına göre nesneleri önceden belirlenmiş küme sayısına (k) bölen katı kümeleme algoritmalarından biridir ancak k-ortalamlar, kümeler arasında kesin sınırların olmadığı gerçek veri kümeleri için uygun değildir (Izakian ve Abraham, 2011: 1835). Nayak ve diğ. (2015)'e göre, küme sınırları ile bazı nesneler,

bir küme grubunda veya benzer olmayan bir grupta yer alabilmektedir ve bu özellik, gerçek hayattaki uygulamalarda katı kümelemenin kullanımını sınırlamaktadır.

3.2. Bulanık mantık ve bulanık kümeler

Bulanık küme teorisinin temelini oluşturan Bulanık mantık, 1965'te Lotfi A. Zadeh tarafından "Bulanık Kümeler" adlı makale ile sunulmuştur. Gerçek fiziksel dünyada karşılaşılan nesne sınıfları kesin olarak tanımlanmış üyelik kriterlerine sahip değildir ve böyle belirsizlik durumlarında bulanık kümeler kullanılmaktadır (Zadeh, 1965: 338). Bulanık kümeler, nesneleri 0 ile 1 arasında değişen farklı üyelik derecesine sahip üyelik fonksiyonları ile belirtmektedir (Kundakcı, 2022: 391). Bulanık kümeler, bir nesnenin bir kümenin elemanı olup olmadığını kabul eden Aristoteles küme teorisindeki varsayımın aksine nesneleri 0 ile 1 arasında değişen farklı ve sonsuz sayıda üyelik derecesine sahip üyelik fonksiyonları ile nitelendirmektedir (Tokat ve diğ., 2022: 6379). Bulanık mantık, modelleme aşamasında değişkenlerin esnek bir şekilde belirlenme sürecidir ve buradaki esneklik belirsizlik içermemekte, modelin var olan yapısını koruyarak farklı koşullar altında esneklik sağlamaktadır (Kıyak ve Kahvecioğlu, 2003: 64). Bulanık mantık ve bulanık kümeler, mühendislik ve kontrol, yöneylem araştırması ve optimizasyon, veri tabanları ve bilgi alma, veri analizi ve istatistik gibi çok sayıda uygulama alanı için oldukça önemlidir. Yapay zekanın (AI), modern bilgi teknolojisinin ve veri bilimlerinin temel bir metodolojisi olarak makine öğrenmesinin artan popülaritesi, makine öğrenmesi algoritmalarında da bulanık kavramlar kullanılmasına ve bulanık tabanlı makine öğrenmesi alanının doğmasına neden olmuştur (Hüllermeier, 2015: 292).

3.3. Bulanık c-ortalamlar algoritması (BCO)

Dunn (1973) tarafından önerilen ve Bezdek (1981) tarafından geliştirilen bulanık c-ortalamlar (BCO) algoritması, gürültüye, aykırı değerlere ve kümelerin boyutuna karşı oldukça hassas olan en popüler bulanık kümeleme algoritmalarından biridir (Askari, 2021: 2). Izakian ve Abraham (2011)'e göre, bulanık kümeleme, birçok gerçek dünya uygulaması için araştırma konusu olan önemli konulardan biridir ve BCO algoritması verimli, anlaşılır ve uygulaması kolay olduğu için en popüler bulanık kümeleme algoritmalarındandır. Katı kümelemede (hard clustering) bir nesne boolean üyeliğe sahiptir yani, bir nesne bir kümeye ya aittir ya da değildir (0 ya da 1) ancak BCO algoritması, katı kümeleme algoritmalarından bu noktada farklılaşmaktadır (Torra, 2005: 647; Prasad ve diğ., 2016: 879). Katı kümeleme algoritmalarından farklı olarak, BCO, veri kümesindeki nesnelerin iki veya daha fazla kümeye ait olmasına izin vermekte ve nesneleri $[0,1]$ arasında değişen bir üyelik fonksiyonu ile ilişkilendirmektedir (Şişeci ve Çetişli, 2014: 242; Nilashi ve diğ., 2019: 3). BCO ile nesnelerin bir kümeye ait olabilme katsayıları görülmektedir ve nesnelerin yakın olduğu kümelere ait üyelik dereceleri daha yüksektir. Üyelik derecelerinin toplamı ise bulanık mantık kavramı gereği 1'dir (Zorlutuna ve Erilli, 2018: 15). BCO algoritmasının adımları aşağıdaki gibidir (Bezdek ve diğ., 1984:192-194; Çalışkan ve diğ., 2021: 3-4; Tokat ve diğ., 2022: 6379).

BCO yönteminin amacı, genelleştirilmiş en küçük hata kareler ile ilişkili Eşitlik 1'de yer alan amaç fonksiyonu en aza indirmektir.

$$J_m(U, v) = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^c (u_{ik})^m * d_{ik}^2 \quad (1)$$

Burada J_m değeri, küme içi mesafelerin toplamını gösterir. Bu nedenle J_m değeri en aza indirilerek, bir kümedeki nesneler arasındaki benzerlik artırılır.

Adım 1. İlk olarak başlangıç değerleri belirlenmektedir. $X = \{x | x \in X\}$ bölümlere ayrılacak olan kayıt kümesidir. n , X içindeki nesnelerin sayısıdır ve küme sayısı c ($2 \leq c < n$), bulanıklaştırma indeksi m ($m > 1$) ve hata değeri ε belirlenir ve U üyelik matrisi $U = \{u_{ij}\}$ için başlangıç üyelik matrisinin elemanlarına rasgele değerler atanır.

Adım 2. Küme merkezi (v_{ij}) Eşitlik 2 ile güncellenmektedir.

$$v_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n (u_{ik})^m * x_{kj}}{\sum_{k=1}^n (u_{ik})^m} \quad (2)$$

Adım 3. Öklid uzaklık matrisi (d_{ik}) Eşitlik 3 ile hesaplanır.

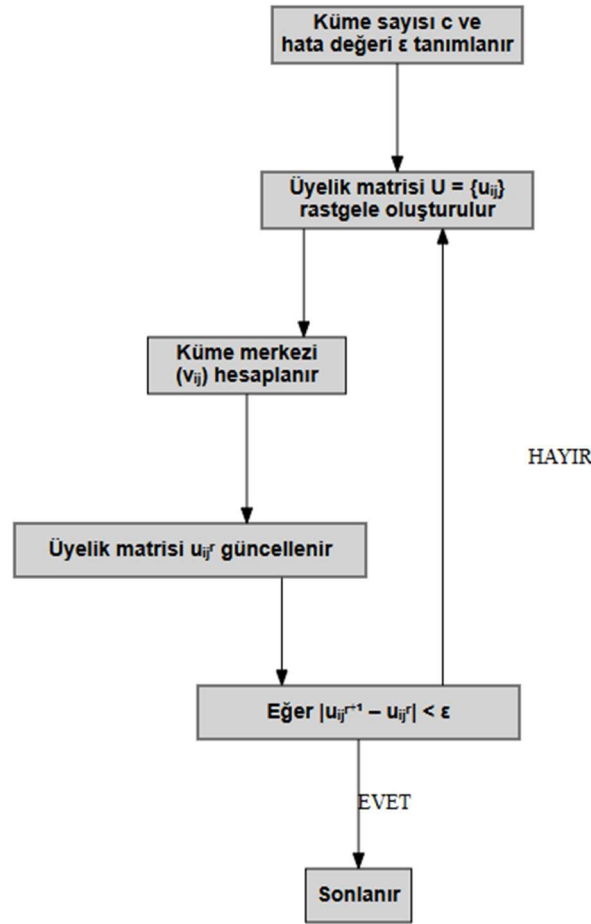
$$d_{ik} = [\sum_{j=1}^m (x_{kj} - v_{ij})^2]^{1/2} \quad (3)$$

Adım 4. k . veri noktasının i . kümeye üyelik değeri için bölümlenme matrisi $U^{(r)}$ her r adımı için Eşitlik 4 ile hesaplanır.

$$u_{ik}^{r+1} = \left(\sum_{j=1}^c \left(\frac{d_{ik}^r}{d_{jk}^r} \right)^{2/(m-1)} \right)^{-1} \quad (4)$$

Burada, $i = 1,2,3,\dots,n$ ve $k = 1,2,3,\dots,c$.

Eğer $U^{r+1} - U^r$ belirlenen hata değerinden küçükse algoritma durdurulur değilse 2. adımdan devam edilir. Şekil 1'de BCO algoritması akış şeması gösterilmektedir.



Şekil 1. BCO Algoritması Akış Şeması

3.3.1. BCO için kullanılabilirlik geçerlilik indeksleri

Geçerlilik indeksleri, elde edilen kümelemenin kalitesini değerlendirmektedir. Doğru küme sayısı seçildiğinde algoritma iyi ayrılmış ve kompakt kümeler üretmekte, aksi halde hatalı sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Klasik kümeleme yöntemlerinde kullanılan geçerlilik indeksleri, bulanık yapılar için uyarlanarak bulanık kümeleme tekniklerinde de uygulanabilmektedir (Sel, 2021: 126). Bununla birlikte, bulanık kümeleme için de çeşitli geçerlilik indeksleri geliştirilmiştir. Literatürde, bulanık kümeleme analizi kapsamında yaygın olarak kullanılan geçerlilik indeksleri arasında; Silhouette Katsayısı, Bölümleme Katsayısı, Bölümleme Entropisi ve Xie-Beni İndeksi yer almaktadır (Cebeci ve Yıldız, 2015: 6). Bu çalışmada kullanılan geçerlilik indekslerine Tablo 1'de yer verilmektedir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan geçerlilik indeksleri

İndeks	Fonksiyon	Optimal Küme Sayısı	Kaynak
Silhouette Katsayısı	$V_{FS}(U; X) = 1/n(\sum_{i=1}^n \frac{b(i) - a(i)}{\max\{a(i), b(i)\}})$	$\max\{V_{FS}(U, c_i, m)\}$	Rousseeuw (1987), Safouan ve diğ. (2024)
Bölümleme Katsayısı	$V_{PC}(U) = 1/n(\sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^c u_{ik}^2)$	$\max\{V_{PC}(U, c_i, m)\}$	Bezdek (1974), Verma ve diğ. (2023)
Bölümleme Entropisi	$V_{PE}(U) = -1/n(\sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^c u_{ik} \log_a(u_{ik}))$	$\min\{V_{PE}(U, c_i, m)\}$	Bezdek (1975), Verma ve diğ. (2023)
Xie Beni İndeksi	$V_{XB}(U; V; X) = \frac{\sum_{i=1}^c \sum_{k=1}^n u_{ik}^m \ x_k - v_i\ ^2}{n(\min\{v_i - v_j\})}$	$\min\{V_{XB}(U, c_i, m)\}$	Xie ve Beni (1991), Safouan ve diğ. (2024)

4. Uygulama

Bu çalışmada Türkiye’de yer alan ve GreenMetric 2021 raporuna dahil olan 71 üniversite BCO algoritması kullanılarak kümelenebilmektedir. GreenMetric tarafından sunulan 6 boyut ile sürdürülebilirlik ile ilgilenen üniversiteler değerlendirilmektedir. Bu boyutlar, “Düzenleme ve Altyapı, Enerji ve İklim Değişikliği, Su, Atık, Ulaşım, Eğitim ve Araştırma” şeklindedir (<https://greenmetric.ui.ac.id>). Çalışmada tüm analizler ve görselleştirmeler, Google Colab ortamında Python ile gerçekleştirilmiştir. Verileri analiz etmek için öncelikle Numpy, Pandas, seaborn ve matplotlib gibi temel python kütüphaneleri aktarılmaktadır. Çalışma kapsamında ilk olarak sklearn kütüphanesinin MinMaxScaler() nesnesi kullanılarak veriler normalize edilmiştir. Boyutlar arasındaki ilişkinin ortaya konulması amacıyla korelasyon testi, corr() nesnesi ile yapılmıştır. BCO algoritması Scikit-Fuzzy (skfuzzy) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Küme geçerliliğinin değerlendirilmesi amacıyla Silhouette Katsayısı (SS), Bölümleme Katsayısı (PC), Bölümleme Entropisi (PE) ve Xie-Beni (XB) İndeksi hesaplanmış ve describe() nesnesi ile veri kümelerinin tanımlayıcı istatistiksel değerleri, px.box() nesnesi ile kümelere ilişkin kutu-bıyık diyagramları elde edilmiştir.

4.1. Bulanık c-ortalamlar (BCO) algoritması uygulama adımları

Tablo 2’de çalışmaya dahil olan üniversiteler ve boyutlara ilişkin değerleri yer almaktadır.

Tablo 2. GreenMetric 2021 raporuna dahil olan 71 üniversite

Üniversite	Düzenleme ve Altyapı	Enerji ve İklim Değişikliği	Atık	Su	Ulaşım	Eğitim ve Araştırma
İstanbul Teknik Üniversitesi	1225	1400	1575	900	1400	1650
Özyeğin Üniversitesi	975	1525	1425	800	1450	1675
Erciyes Üniversitesi	1225	1400	1350	800	1425	1575
Yıldız Teknik Üniversitesi	1025	1450	1275	900	1575	1500
Ege Üniversitesi	1125	1300	1575	800	1425	1500
Uluslararası Kıbrıs Üniversitesi	1125	1350	1350	900	1550	1425
Yeditepe Üniversitesi	1025	1225	1575	800	1500	1575
Aksaray Üniversitesi	1200	1125	1575	700	1475	1575
Orta Doğu Teknik Üniversitesi	1325	1075	1200	850	1400	1800
Bartın Üniversitesi	1200	1150	1125	800	1475	1550
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü	1125	925	1425	700	1500	1550
Sakarya Üniversitesi	1225	1250	1050	850	1450	1300
Fırat Üniversitesi	1175	1450	975	850	1225	1275
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi	1225	1550	1050	650	1250	1175
Bilecik Üniversitesi	1025	1100	1275	400	1450	1575
Trakya Üniversitesi	1200	950	1425	500	1375	1325
Dokuz Eylül Üniversitesi	1125	950	1050	750	1525	1325
Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi	1050	1200	1275	700	1450	950
İnönü Üniversitesi Malatya	1075	1350	750	750	1350	1325
Bursa Uludağ Üniversitesi	1250	625	1200	500	1225	1675

Afyon Kocatepe Üniversitesi	875	925	1725	400	1525	975
Hitit Üniversitesi	1000	1275	1350	550	1375	850
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi	1025	1125	1125	450	1175	1400
Çukurova Üniversitesi	1350	975	600	500	1475	1350
Akdeniz Üniversitesi	1200	700	1200	500	1325	1300
Hasan Kalyoncu Üniversitesi	1100	1125	1125	550	1100	1175
Başkent Üniversitesi	925	950	1125	600	1425	1125
Mersin Üniversitesi	1100	600	1425	450	1100	1400
Süleyman Demirel Üniversitesi	1050	900	1425	500	1150	975
Kapadokya Üniversitesi	825	725	1350	500	1400	1175
İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi	700	875	1275	400	1350	1350
Kastamonu Üniversitesi	1200	450	975	600	1050	1600
Atatürk Üniversitesi	1150	750	975	600	1225	1100
Sabancı Üniversitesi	1050	1125	1050	700	825	975
Kütahya Sağlık Bilimleri Üniversitesi	925	750	825	700	1075	1450
Kütahya Dumlupınar Üniversitesi	1075	550	675	650	1375	1400
Gaziantep Üniversitesi	900	875	1350	600	850	1075
Piri Reis Üniversitesi	600	1200	1350	750	1075	625
Düzce Üniversitesi	1150	850	450	400	1175	1350
TOBB Üniversitesi	800	400	1275	700	1225	950
Ondokuz Mayıs Üniversitesi	1150	375	1275	550	800	1200
Adıyaman Üniversitesi	925	1025	975	400	750	1050
Atılım Üniversitesi	925	475	1350	550	900	875
Eskişehir Teknik Üniversitesi	750	775	1425	650	775	650
Selçuk Üniversitesi	950	500	1200	350	975	1000
Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi	825	350	1275	450	1100	850
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi	825	450	900	550	875	1225
KTO Karatay Üniversitesi	475	900	600	550	1425	850
İğdır Üniversitesi	750	750	825	400	950	1125
Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi	925	750	825	450	975	800
Bilkent Üniversitesi	875	275	1050	450	1325	725

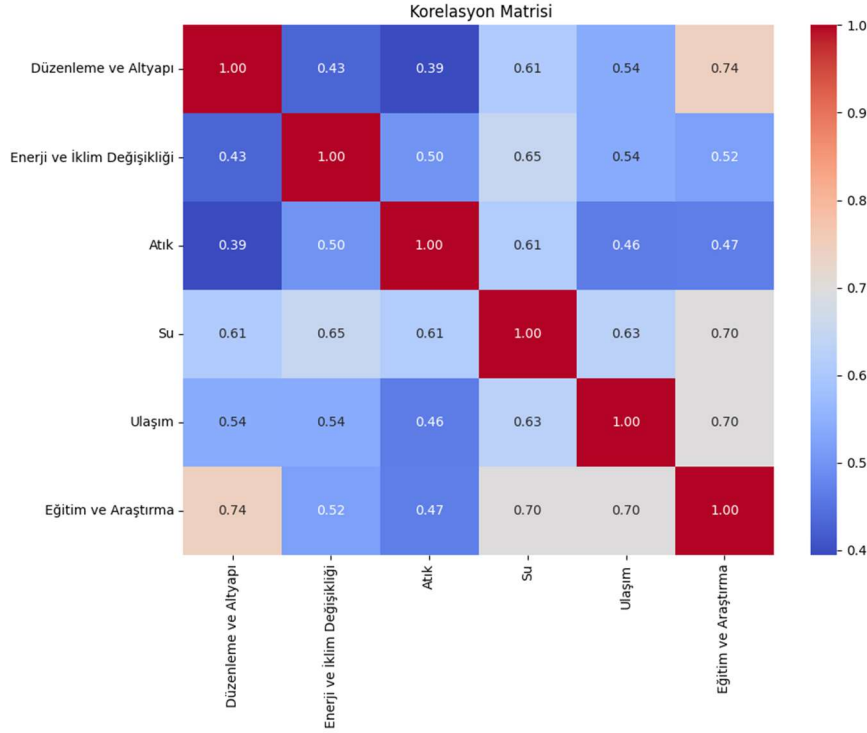
Antalya Bilim Üniversitesi	925	225	825	550	950	925
Kadir Has Üniversitesi	850	450	525	300	1200	850
Marmara Üniversitesi	750	350	900	450	1050	675
Dicle Üniversitesi	925	250	900	350	1200	525
Bayburt Üniversitesi	825	875	750	200	750	675
Ankara Üniversitesi	1025	250	600	400	800	1000
Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi	600	700	825	250	950	725
Gazi Üniversitesi	775	375	600	400	1075	775
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi	700	450	525	250	825	1100
Bingöl Üniversitesi	925	775	450	100	950	550
Çankaya Üniversitesi	550	525	600	300	825	925
Uşak Üniversitesi	975	650	300	200	525	750
Manisa Celal Bayar Üniversitesi	550	800	1125	100	750	0
Anadolu Üniversitesi	750	450	1125	250	450	225
Gebze Teknik Üniversitesi	650	300	0	0	1400	825
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi	850	225	600	200	725	475
Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi	300	875	675	150	350	200
Erzurum Teknik Üniversitesi	575	500	300	300	700	150
Konya Teknik Üniversitesi	450	275	375	150	675	400
Kilis 7 Aralık Üniversitesi	825	100	300	250	525	325

StandardScaler() nesnesi kullanılarak verilerin min-max yöntemine göre normalizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Tablo 3'te örnek olması açısından bazı üniversiteler için normalize edilmiş veriler gösterilmektedir.

Tablo 3. Verilerin normalize edilmesi

Üniversite	Düzenleme ve Altyapı	Enerji ve İklim Değişikliği	Atık	Su	Ulaşım	Eğitim ve Araştırma
İstanbul Teknik Üniversitesi	0.881	0.897	0.913	1	0.857	0.917
Özyeğin Üniversitesi	0.643	0.983	0.826	0.889	0.898	0.931
Erciyes Üniversitesi	0.881	0.897	0.783	0.889	0.878	0.875
Kadir Has Üniversitesi	0.524	0.241	0.304	0.333	0.694	0.472
Gebze Teknik Üniversitesi	0.333	0.138	0	0	0.857	0.458
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi	0.524	0.086	0.348	0.222	0.306	0.264
Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi	0	0.534	0.391	0.167	0	0.111
Konya Teknik Üniversitesi	0.143	0.121	0.217	0.167	0.265	0.222
Kilis 7 Aralık Üniversitesi	0.5	0	0.174	0.278	0.143	0.181

6 Boyut arasındaki ilişkinin ortaya konulması amacıyla corr() nesnesi ile yapılan korelasyon testi sonuçları Şekil 2’de yer almaktadır.



Şekil 2. 6 Boyut için korelasyon analizi sonuçları

Çalışmada optimal küme sayısının belirlenmesi için farklı geçerlilik indeksleri incelenmiştir. Tablo 4’te SS, PC, PE ve XB için elde edilen sonuçlar yer almaktadır.

Tablo 4. Farklı küme sayıları için SS, PC, PE, XB değerleri

Küme Sayısı	SS (max)	PC (max)	PE (min)	XB (min)
2	0.385	0.705	0.463	0.235
3	0.29	0.534	0.798	0.271
4	0.261	0.444	1.03	0.324
5	0.236	0.37	1.24	0.418
6	0.25	0.318	1.412	1.617

Tablo 4 incelendiğinde farklı geçerlilik indeksleri için en uygun küme sayısı 2’dir.

Tablo 5’te BCO analizi sonuçları yer almaktadır.

Tablo 5. Üniversitelerin BCO ile kümelenmesi

Üniversite	Küme	Üyelik	Üyelik
İstanbul Teknik Üniversitesi	1	0.870	0.130
Özyeğin Üniversitesi	1	0.870	0.130
Erciyes Üniversitesi	1	0.907	0.093
Yıldız Teknik Üniversitesi	1	0.874	0.126
Ege Üniversitesi	1	0.912	0.088
Uluslararası Kıbrıs Üniversitesi	1	0.894	0.106
Yeditepe Üniversitesi	1	0.904	0.096
Aksaray Üniversitesi	1	0.919	0.081
Orta Doğu Teknik Üniversitesi	1	0.878	0.122

Bartın Üniversitesi	1	0.933	0.067
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü	1	0.932	0.068
Sakarya Üniversitesi	1	0.912	0.088
Fırat Üniversitesi	1	0.868	0.132
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi	1	0.859	0.141
Bilecik Üniversitesi	1	0.853	0.147
Trakya Üniversitesi	1	0.903	0.097
Dokuz Eylül Üniversitesi	1	0.935	0.065
Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi	1	0.914	0.086
İnönü Üniversitesi Malatya	1	0.871	0.129
Bursa Uludağ Üniversitesi	1	0.752	0.248
Afyon Kocatepe Üniversitesi	1	0.693	0.307
Hitit Üniversitesi	1	0.834	0.166
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi	1	0.845	0.155
Çukurova Üniversitesi	1	0.751	0.249
Akdeniz Üniversitesi	1	0.804	0.196
Hasan Kalyoncu Üniversitesi	1	0.869	0.131
Başkent Üniversitesi	1	0.888	0.112
Mersin Üniversitesi	1	0.643	0.357
Süleyman Demirel Üniversitesi	1	0.735	0.265
Kapadokya Üniversitesi	1	0.688	0.312
İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi	1	0.618	0.382
Kastamonu Üniversitesi	1	0.613	0.387
Atatürk Üniversitesi	1	0.766	0.234
Sabancı Üniversitesi	1	0.650	0.350
Kütahya Sağlık Bilimleri Üniversitesi	1	0.670	0.330
Kütahya Dumlupınar Üniversitesi	1	0.665	0.335
Gaziantep Üniversitesi	1	0.544	0.456
Piri Reis Üniversitesi	1	0.569	0.431
Düzce Üniversitesi	1	0.523	0.477
TOBB Üniversitesi	2	0.481	0.519
Ondokuz Mayıs Üniversitesi	2	0.421	0.579
Adıyaman Üniversitesi	2	0.332	0.668
Atılım Üniversitesi	2	0.306	0.694
Eskişehir Teknik Üniversitesi	2	0.367	0.633
Selçuk Üniversitesi	2	0.197	0.803
Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi	2	0.225	0.775
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi	2	0.222	0.778

KTO Karatay Üniversitesi	2	0.411	0.589
Iğdır Üniversitesi	2	0.147	0.853
Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi	2	0.130	0.870
Bilkent Üniversitesi	2	0.268	0.732
Antalya Bilim Üniversitesi	2	0.172	0.828
Kadir Has Üniversitesi	2	0.124	0.876
Marmara Üniversitesi	2	0.075	0.925
Dicle Üniversitesi	2	0.158	0.842
Bayburt Üniversitesi	2	0.120	0.880
Ankara Üniversitesi	2	0.145	0.855
Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi	2	0.078	0.922
Gazi Üniversitesi	2	0.064	0.936
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi	2	0.093	0.907
Bingöl Üniversitesi	2	0.158	0.842
Çankaya Üniversitesi	2	0.085	0.915
Uşak Üniversitesi	2	0.173	0.827
Manisa Celal Bayar Üniversitesi	2	0.219	0.781
Anadolu Üniversitesi	2	0.174	0.826
Gebze Teknik Üniversitesi	2	0.267	0.733
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi	2	0.101	0.899
Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi	2	0.242	0.758
Erzurum Teknik Üniversitesi	2	0.154	0.846
Konya Teknik Üniversitesi	2	0.157	0.843
Kilis 7 Aralık Üniversitesi	2	0.166	0.834

Analiz sonuçlarına göre, Küme 1’de yer alan üniversiteler minimum 0.065 ve maksimum 0.935 arasındaki değerler ile Küme 2’de yer alan üniversiteler minimum 0.064 ve maksimum 0.936 arasındaki değerler ile ilgili kümelerle atanmıştır. Ayrıca 5 üniversitenin; Gaziantep Üniversitesi, Piri Reis Üniversitesi, Düzce Üniversitesi, TOBB Üniversitesi ve Ondokuz Mayıs Üniversitesi’nin her iki kümeye ait olma derecelerinin 0.5’e oldukça yakın olduğu görülmektedir. Kümelerle ilişkin tanımlayıcı istatistiksel değerler Tablo 6 ve Tablo 7’de gösterilmektedir.

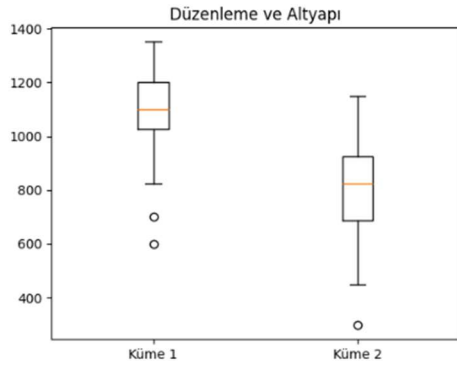
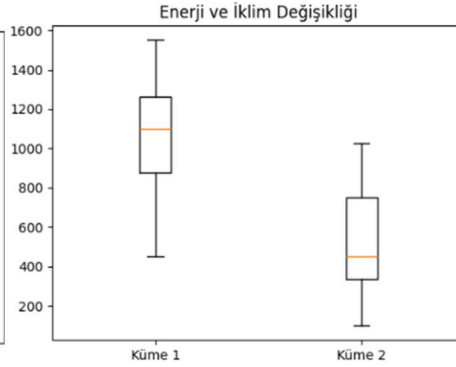
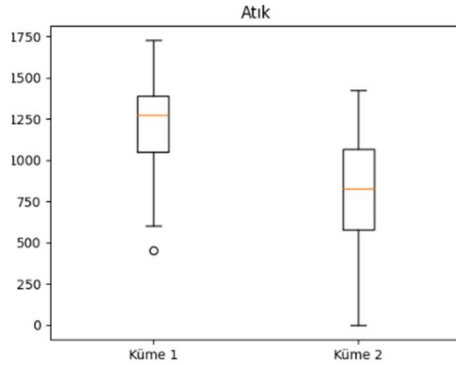
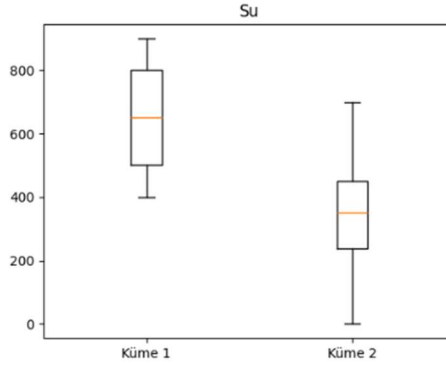
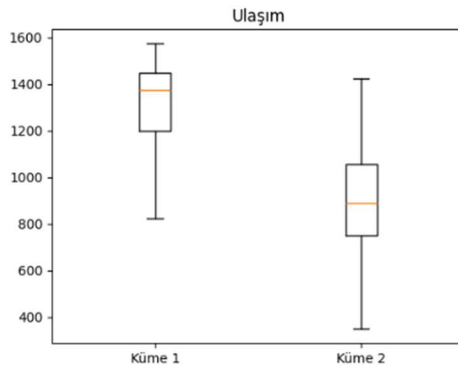
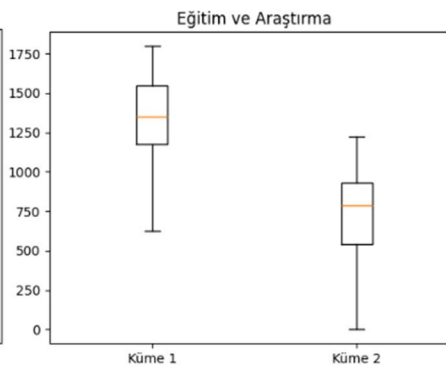
Tablo 6. Küme 1’e ilişkin tanımlayıcı istatistiksel değerler

	Veri sayısı	Ort.	Min	25%	50%	75%	Max
Düzenleme ve Altyapı	39	1080.128	600	1025	1100	1200	1350
Enerji ve İklim Değişikliği	39	1053.205	450	875	1100	1262.5	1550
Atık	39	1201.923	450	1050	1275	1387.5	1725
Su	39	648.718	400	500	650	800	900
Ulaşım	39	1321.154	825	1200	1375	1450	1575
Eğitim ve Araştırma	39	1332.051	625	1175	1350	1550	1800

Tablo 7. Küme 2'ye ilişkin tanımlayıcı istatistiksel değerler

	Veri sayısı	Ort.	Min	25%	50%	75%	Max
Düzenleme ve Altyapı	32	779.688	300	687.5	825	925	1150
Enerji ve İklim Değişikliği	32	513.281	100	337.5	450	750	1025
Atık	32	789.844	0	581.25	825	1068.75	1425
Su	32	350	0	237.5	350	450	700
Ulaşım	32	898.438	350	750	887.5	1056.25	1425
Eğitim ve Araştırma	32	730.469	0	543.75	787.5	931.25	1225

px.box() kullanılarak Şekil 3 – 8’de iki kümenin 6 boyuta ilişkin kutu-bıyık diyagramı karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır.

**Şekil 3.** Düzenleme ve altyapı boyutu**Şekil 4.** Enerji ve iklim değişikliği boyutu**Şekil 5.** Atık boyutu**Şekil 6.** Su boyutu**Şekil 7.** Ulaşım boyutu**Şekil 8.** Eğitim ve araştırma boyutu

Türkiye’de toplam 208 üniversite vardır (www.istatistik.yok.gov.tr). Bu çalışma Türkiye’de sürdürülebilirliğe önem veren ve GreenMetric 2021 raporuna dahil olan 71 üniversiteyi incelemekte olup, elde edilen kümelere ilişkin yorumlar üniversitelere ilişkin bir başarı ölçütü olarak değil, rapora dahil üniversiteler arasında sürdürülebilirlik kapsamında mevcut durumları ortaya koymak olarak ele alınmalıdır. Çalışmadan elde edilen

sonuçlara göre Küme 1’de yer alan üniversiteler Küme 2’de yer alan üniversitelere göre sürdürülebilirliğin 6 boyutu için daha yüksek ortalama değerlerine sahiptir. Bu çalışmada BCO kullanılması temel amaçlarından biri her iki kümeye de ait olma dereceleri birbirine yakın olan üniversiteleri tespit etmek ve üniversitelerin sürdürülebilirlik çabalarına yön vermek olduğu için Tablo 8’de üyelik dereceleri yakın olan ilgili üniversiteler ve üyelik dereceleri gösterilmektedir.

Tablo 8. BCO algoritması sonucu üyelik dereceleri yakın olan üniversiteler

Üniversite	Üyelik dereceleri		Küme
Gaziantep Üniversitesi	0.544	0.456	1
Piri Reis Üniversitesi	0.569	0.431	1
Düzce Üniversitesi	0.523	0.477	1
TOBB Üniversitesi	0.481	0.519	2
Ondokuz Mayıs Üniversitesi	0.421	0.579	2

Aşağıda Tablo 8’de yer alan ve üyelik dereceleri yakın olan üniversiteler ayrı ayrı incelenmiş ve sürdürülebilirlik düzeylerini geliştirmek için hangi boyutlara önem vermeleri gerektiği üzerinde durulmuştur. Buna göre, Gaziantep Üniversitesi’nin, Düzenleme ve Altyapı, Enerji ve İklim Değişikliği, Su, Ulaşım, Eğitim ve Araştırma boyutlarına, Piri Reis Üniversitesi’nin, Düzenleme ve Altyapı, Ulaşım, Eğitim ve Araştırma boyutlarına, Düzce Üniversitesi’nin, Enerji ve İklim Değişikliği, Atık, Su, Ulaşım boyutlarına, TOBB Üniversitesi’nin, Düzenleme ve Altyapı, Enerji ve İklim Değişikliği, Ulaşım, Eğitim ve Araştırma boyutlarına, Ondokuz Mayıs Üniversitesi’nin, Enerji ve İklim Değişikliği, Su, Ulaşım, Eğitim ve Araştırma boyutlarına odaklanması ve bu boyutları geliştirmeye yönelik stratejiler geliştirmesi tavsiye edilmektedir. Buna ek olarak üyelik dereceleri yakın olan üniversitelerin çoğunluğu Enerji ve İklim Değişikliği, Eğitim ve Araştırma boyutları için Küme 1’den düşük ortalamaya sahiptir. Üyelik dereceleri yakın olan üniversitelerin eğer 1. Kümeye ise mevcut durumunu korumak için 2. Kümeye ise diğer kümeye ait olma derecesini artırması için düşük ortalamaya sahip oldukları ilgili boyutlara önem vermesi tavsiye edilmektedir. Böylece üniversiteler sürdürülebilirlik çabaları konusunda daha iyi sonuçlar elde edilebileceklerdir.

5. Sonuç

Tüm dünyada sürdürülebilirliğe verilen önem, bu alanda önemli bir araç olan üniversiteler açısından sürdürülebilirliğin değerlendirilmesi ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır. Bu çalışmada, GreenMetric 2021 dünya sürdürülebilir üniversite sıralama raporu kullanılarak Türkiye’de yer alan 71 üniversite sürdürülebilirlik açısından BCO kümeleme yöntemi ile değerlendirilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, Küme 1 ve Küme 2 olarak iki küme elde edilmiş olup, Küme 1 daha iyi sürdürülebilirlik performansına sahip üniversiteleri, Küme 2 ise daha düşük sürdürülebilirlik performansına sahip üniversiteleri göstermektedir. Bir diğer sonuç, Küme 1’de “Eğitim ve Araştırma” boyutu en yüksek ortalamaya sahipken, Küme 2’de “Ulaşım” öne çıkmaktadır. Her iki kümede de “Su” boyutu en düşük ortalamaya sahip olduğundan, her iki küme için de bu alanda iyileştirmeye ihtiyaç olduğu düşünülebilir. Ayrıca, 5 üniversite 0.5’e çok yakın değer almıştır. 5 üniversitenin ise her iki kümeye ait olma derecelerinin oldukça yakın olması ilgili üniversiteler kapsamında farklı değerlendirilme yapılmasını gerekli kılmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre, ilgili 5 üniversitenin çoğunluğu Enerji ve İklim Değişikliği, Eğitim ve Araştırma boyutları kapsamında Küme 1’in ortalama değerlerinden düşük değerlere sahiptir. Bu nedenle özellikle ilgili boyutlara ilişkin strateji geliştirilmesi tavsiye edilmektedir. Çalışma sonucunda Türkiye’de yer alan üniversitelerin sürdürülebilirlik konusundaki durumlarının görülmesi sağlanmaktadır. Ayrıca belirsizliği yüksek olan 5 üniversite için hangi boyutlara önem verilmesi gerektiğine yönelik öneriler sunulmaktadır. Bu çalışma ile üniversitelerin sürdürülebilirlik çabaları konusunda daha iyi sonuçlar elde edebileceği düşünülmektedir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar literatürde yapılan çalışmalar ile karşılaştırıldığında, Görgülü vd. (2021), Türkiye’deki 56 üniversitenin sürdürülebilirlik performansını ÇKKV yöntemleriyle incelemiştir. Sonuçlara göre, üniversiteler COPRAS ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak sıralandığında, UI GreenMetric sıralaması ile benzer şekilde İstanbul Teknik Üniversitesi ve Orta Doğu Teknik Üniversitesi en yüksek sürdürülebilirlik performansına sahip ilk iki üniversite olarak elde edilmiştir. Benzer şekilde bu çalışmada da ilgili üniversiteler Küme 1’de yer almaktadır. Ayrıca “Su” boyutu en önemli, “Düzenleme ve Altyapı” ise en az önemli boyut olarak belirlenmiştir. Özdemir ve Karakutuk (2024), GreenMetric verilerini kullanarak Fuzzy C-Means, Possibilistic Fuzzy C-Means ve Generalized Possibilistic Fuzzy C-Means algoritmalarını uygulamış ve üniversitelerin sürdürülebilirlik performanslarını değerlendirmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ile benzer şekilde, sürdürülebilirlik performansları en yüksek olan kampüsler “eğitim ve araştırma” ile “atık” boyutlarında daha güçlü performans gösterirken, en az olan kampüslerin ise “su” boyutunda iyileştirmeye ihtiyaç duyduğu belirlenmiştir. Abacıoğlu vd. (2024), 2022 yılı için küresel ölçekte en iyi 50 üniversitenin sürdürülebilirlik performanslarını kapsamlı bir şekilde incelemiştir. Bu kapsamda, UI GreenMetric tarafından sağlanan veriler ve ÇKKV yöntemleri kullanılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, 2018 yılı için kullanılan tüm ÇKKV yöntemlerinde en yüksek ağırlığa sahip boyut “Ulaşım” iken, en düşük ağırlığa sahip boyutlar “Su” ve “Atık” olarak belirlenmiştir. 2019, 2020,

2021 ve 2022 yıllarında ise tüm yöntemlerde en yüksek ağırlığa sahip boyut “Düzenleme ve Altyapı” olarak elde edilmiştir. Sonuçların kullanılan metod, yıl ve örneklem gibi faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterebileceği ortaya konulmuştur. Bununla birlikte, hem yerel hem de küresel ölçekte üniversitelerin sürdürülebilirlik performansı açısından “Düzenleme ve Altyapı”, “Ulaşım” boyutlarının önemi vurgulanırken, “Su” boyutuna yeterince önem verilmediği hem bu çalışma hem de referans çalışmalarıyla desteklenmektedir.

Üniversitelerin daha geniş kapsamda sürdürülebilirliğe önem veren tüm kurumların sürdürülebilirlik kapsamında yalnızca tek boyuta odaklanmaması bu çalışmada ele alınan tüm boyutlara önem vermesi tavsiye edilmektedir. Bu çalışmada elde edilen sonuçların Türkiye’deki üniversitelerin sürdürülebilirlik politikalarına katkı sağlaması beklenmektedir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda BCO algoritması farklı problemler için kullanılabilir ya da GreenMetric metodolojisinin sürdürülebilirlik gereksinimlerine daha iyi uyum sağlaması için ek kriterler eklenebilir. Kağıtsız kampüs politikaları, karbon dengeleme programları gibi uygulamalar çevresel etkileri azaltabilir. Ayrıca, ikinci el kullanım, tek kullanımlık plastik yasağı ve yerel üreticilerden alınan gıda oranının artırılması kaynakların verimli kullanılmasına katkı sağlayabilir. Bu kriterlerle sürdürülebilirlik çabaları daha etkili değerlendirilebilir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Kevser Arman problemin tanımlanması, literatür taraması, teori kısmının yazımı, verilerin elde edilmesi, analizlerin gerçekleştirilmesi ve yorumlanmasında; Nilsen Kundakcı makale kurgusunun planlanması, makale yazım ve düzenlemesi, elde edilen sonuçların kontrolü ve yorumlanması konularında katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Abacıoğlu, S., Ayan, B., & Pamucar, D. (2024). The Race to Sustainability: Decoding Green University Rankings Through a Comparative Analysis (2018–2022). *Innovative Higher Education*, 1-35. doi: <https://doi.org/10.1007/s10755-024-09734-4>
- Alptekin, N. ve Yeşilaydın, G. (2015). OECD Ülkelerinin Sağlık Göstergelerine Göre Bulanık Kümeleme Analizi ile Sınıflandırılması. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 7(4), 137-155. doi: <https://doi.org/10.21441/sosyalguvence.1050881>
- Askari, S. (2021). Fuzzy C-Means clustering algorithm for data with unequal cluster sizes and contaminated with noise and outliers: Review and development. *Expert Systems with Applications*, 165, 113856. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113856>
- Aydın, N. ve Kayhan, G. (2021). Jensen Shannon Mesafesi Temelli Uyarlanmış Bulanık C Ortalamalar Kümeleme Yöntemi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 29, 58-64. doi: <https://doi.org/10.31590/ejosat.1021473>
- Bezdek, J. C., Ehrlich, R., & Full, W. (1984). FCM: The fuzzy c-means clustering algorithm. *Computers & Geosciences*, 10(2-3), 191-203. doi: [https://doi.org/10.1016/0098-3004\(84\)90020-7](https://doi.org/10.1016/0098-3004(84)90020-7)
- Bezdek, J.C., (1981). Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms. Plenum Press, New York. 10.1007/978-1-4757-0450-1. doi: <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-0450-1>
- Bezdek, J.C., (1974). Cluster Validity With Fuzzy Sets. *J. Cybernet.* 3 Ž.3, 58–72. doi: <https://doi.org/10.1080/01969727308546047>
- Bezdek, J.C., (1975). Mathematical models for systematics and taxonomy in Proc. 8th International Conference in Numerical Taxonomy, 143–166 (Freeman: San Francisco, 1975).
- Cantuarias-Villessuzanne, C., Weigel, R., & Blain, J. (2021). Clustering of European smart cities to understand the cities’ sustainability strategies. *Sustainability*, 13(2), 513. doi: <https://doi.org/10.3390/su13020513>
- Cebeci, Z., & Yıldız, F. (2015). Comparison of k-means and fuzzy c-means algorithms on different cluster structures. *Journal of Agricultural Informatics*, 6(3), 13–23. doi : <https://doi.org/10.17700/jai.2015.6.3.196>
- Cuesta-Claros, A., Malekpour, S., Raven, R., & Kestin, T. (2022). Understanding the roles of universities for sustainable development transformations: A framing analysis of university models. *Sustainable Development*, 30(4), 525-538. doi: <https://doi.org/10.1002/sd.2247>
- Çağlar, M., & Gürler, C. (2022). Sustainable Development Goals: A cluster analysis of worldwide countries. *Environment, Development and Sustainability*, 24(6), 8593-8624. doi: <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01801-6>

- Çalışkan, A., Koçak, D., & Ertürk, Y. (2021). Ülkelerin Yükseköğretim Performanslarının Bulanık C-Ortalamalar Kümeleme Algoritması ile Değerlendirilmesi. *Üniversite Araştırmaları Dergisi*, 4(1), 1-7. doi: <https://doi.org/10.32329/uad.898187>.
- Dagiliūtė, R., Liobikienė, G., & Minelgaitė, A. (2018). Sustainability at universities: Students' perceptions from Green and Non-Green universities. *Journal of Cleaner Production*, 181, 473-482. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.213>
- Dunn, J.C. (1973). A fuzzy relative of the ISODATA process and its use in detecting compact well-separated clusters, *Journal of Cybernetics*, 3:3, 32-57. doi: <https://doi.org/10.1080/01969727308546046>
- Eker, A. F., Çil, A. Y. ve Çil, İ. (2022). Bulanık C-Ortalama Algoritması ile Başlangıç Çözümü İyileştirilmiş Tavlama Benzetimi Algoritması ile Kapasiteli Araç Rotalama Problemi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 37(2), 783-798. doi: <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.784653>
- Gorgulu, Y., Ozceylan, E., & Ozkan, B. (2021). UI GreenMetric ranking of Turkish universities using entropy weight and COPRAS methods. In *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Bangalore, India*, 16-18. doi: <https://doi.org/10.46254/IN01.20210051>.
- Gosain, A., & Dahiya, S. (2016). Performance analysis of various fuzzy clustering algorithms: a review. *Procedia Computer Science*, 79, 100-111. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.03.014>
- <https://greenmetric.ui.ac.id/> (Erişim Tarihi: 27.12.2022).
- <https://istatistik.yok.gov.tr/> (Erişim Tarihi: 27.12.2022).
- Hüllermeier, E. (2015). Does machine learning need fuzzy logic? *Fuzzy Sets and Systems*, 281, 292-299. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fss.2015.09.001>
- Izakian, H., & Abraham, A. (2011). Fuzzy c-means and fuzzy swarm for fuzzy clustering problem. *Expert Systems with Applications*, 38(3), 1835-1838. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.07.112>.
- Kıyak, E. ve Kahvecioğlu, A. (2003). Bulanık Mantık ve Uçuş Kontrol Problemine Uygulanması. *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 1(2), 63-72. doi: <https://jast.hho.msu.edu.tr/index.php/JAST/article/view/85>
- Kundakcı, N. (2022). A Hybrid Fuzzy MCDM Approach for ESCO Selection. In: Terzioğlu, M.K. (eds) *Advances in Econometrics, Operational Research, Data Science and Actuarial Studies. Contributions to Economics*. Springer, Cham., 389-404. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-85254-2_24
- Lukman, R., & Glavič, P. (2007). What are the key elements of a sustainable university? *Clean Technologies and Environmental Policy*, 9(2), 103-114. doi: <https://doi.org/10.1007/s10098-006-0070-7>
- Nayak, J., Naik, B., & Behera, H. (2015). Fuzzy C-means (FCM) clustering algorithm: a decade review from 2000 to 2014. *Computational Intelligence in Data Mining*, 2, 133-149. doi: https://doi.org/10.1007/978-81-322-2208-8_14
- Nilashi, M., Rupani, P.F., Rupani, M.M., Kamyab, H., Shao, W., Ahmadi, H., Rashid, T.A., & Aljojo, N. (2019). Measuring sustainability through ecological sustainability and human sustainability: a machine learning approach. *Journal of Cleaner Production*, 240, 118162. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118162>
- Ok, Y. (2022). Bulanık C - Ortalamalar İle Ülkelerin İşsizlik Göstergeleri Temelinde Kümelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 34, 507-512. doi: <https://doi.org/10.31590/ejosat.1083246>.
- Ok, Y. (2022). Bulanık C-Ortalamlar İle Ülkelerin İşsizlik Göstergeleri Temelinde Kümelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 507-512. doi: <https://doi.org/10.31590/ejosat.1083246>
- Ozdemir, O., & Karakutuk, A. K. (2024). Comparison of Fuzzy Clustering Algorithms on UI GreenMetric University Rankings. *International Journal of Applied Mathematics, Computational Science and Systems Engineering*, 6, 230-237. doi: <https://doi.org/10.37394/232026.2024.6.19>
- Öztaş, T., Aytaç Adalı, E., Tuş, A., & Öztaş, G. Z. (2023). Ranking Green Universities from MCDM Perspective: MABAC with Gini Coefficient-based Weighting Method. *Process Integration and Optimization for Sustainability*, 7, 163-175. doi: <https://doi.org/10.1007/s41660-022-00281-z>
- Paulvannan Kanmani, A., Obringer, R., Rachunok, B., & Nateghi, R. (2020). Assessing global environmental sustainability via an unsupervised clustering framework. *Sustainability*, 12(2), 563. doi: <https://doi.org/10.3390/su12020563>
- Perchinunno, P., & Cazzolle, M. (2020). A clustering approach for classifying universities in a world sustainability ranking. *Environmental Impact Assessment Review*, 85, 106471. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2020.106471>

- Prasad, B. N., Rathore, M., Gupta, G., & Singh, T. (2016). Performance measure of hard c-means, fuzzy c-means and alternative c-means algorithms. *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, 7(2), 878-883. <https://www.ijcsit.com/docs/Volume%207/vol7issue2/ijcsit2016070297.pdf>
- Rousseeuw, P. J. (1987). Silhouettes: a graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 20, 53-65. doi: [https://doi.org/10.1016/0377-0427\(87\)90125-7](https://doi.org/10.1016/0377-0427(87)90125-7)
- Safouan, S., El Moutaouakil, K., & Patriciu, A. M. (2024). Fractional Derivative to Symmetrically Extend the Memory of Fuzzy C-Means. *Symmetry*, 16(10), 1353. doi: <https://doi.org/10.3390/sym16101353>
- Sel, A. (2021). Avrupa Bölgesi Ülkelerinin Enerji Kullanımları Açısından Bulanık Kümeleme Yöntemleri İle Analizi. *Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 16(1), 121-135. doi: <https://doi.org/10.48145/gopsbad.796137>
- Singh, N., Mohapatra, A. G., & Kanungo, G. (2011). Breast cancer mass detection in mammograms using K-means and fuzzy C-means clustering. *International Journal of Computer Applications*, 22(2), 15-21. doi: <https://doi.org/10.5120/2557-3507>
- Subbalakshmi, C., Krishna, G. R., Rao, S. K. M., & Rao, P. V. (2015). A method to find optimum number of clusters based on fuzzy silhouette on dynamic data set. *Procedia Computer Science*, 46, 346-353. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.02.030>
- Şişeci, M., & Çetişli, B. (2014). Traverten plaka taşlarda sınıfların K-ortalamalar ve bulanık C-ortalamalar kümeleme yöntemleri ile belirlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 16(3), 238-247. doi: <https://doi.org/10.19113/sdufbed.44402>
- Tokat, S., Karagul, K., Sahin, Y., & Aydemir, E. (2022). Fuzzy c-means clustering-based key performance indicator design for warehouse loading operations. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, 34(8), 6377-6384. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2021.08.003>
- Torra, V. (2005, May). Fuzzy c-means for fuzzy hierarchical clustering. In *The 14th IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, 2005. FUZZ'05. (pp. 646-651). IEEE. doi: <https://doi.org/10.1109/FUZZY.2005.1452470>
- Ünsal, M. G., & Kasap, R. (2020). Investigating Covid 19 data for G20, EU and OECD countries via using time series analysis & cluster analysis. *Journal of Turkish Operations Management*, 4(2), 424-432. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jtom/issue/59336/851834>
- Verma, R. K., Tiwari, R., & Thakur, P. S. (2023). Partition coefficient and partition entropy in fuzzy c means clustering. *J. Sci. Res. Rep*, 29(12), 1-6. doi: <https://doi.org/10.9734/JSRR/2023/v29i121812>
- Wulandari, L., & Yogantara, B. O. (2022). Algorithm analysis of K-means and fuzzy C-means for clustering countries based on economy and health. *Faktor Exacta*, 15(2), 109-116. doi: <https://doi.org/10.30998/faktorexacta.v15i2.12106>
- Xie, X. L., & Beni, G. (1991). A validity measure for fuzzy clustering. *IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence*, 13(08), 841-847. doi: <https://doi.org/10.1109/34.85677>
- Yeh, J. H. (2021). Assigning Unskilled Workers on the Production Line According to the Fuzzy C-Means Clustering Method. Science and technology reports of Kansai University= 関西大学理工学研究報告, 63, 53-66. doi: <https://doi.org/10.32286/00022962>
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, 8, p.338-353. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)
- Zeybekoğlu, U. (2021). Bulanık c ortalamalar yöntemi ile Karadeniz bölgesi standart süreli yağış şiddetlerinin kümelenmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(1), 147-154. doi: <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.864904>
- Zorlutuna, Ş. ve Erilli, N. A. (2018). Sosyo-Ekonomik Verilere göre İllerin Bulanık C-Ortalamalar Yöntemi ile Sınıflandırılması: 2002-2008-2013 Dönemleri Karşılaştırması. *İktisadi Yenilik Dergisi*, 5(2), 13-31. doi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/iy/issue/38106/439719>



Journal of Turkish Operations Management

Ömrünü tamamlamış araçların geri dönüşümü problemi: Marmara Bölgesi'nde uygulama

Gulseli Isler*, Harun Reşit Yazgan² Aslı Sultan Altınesik³

¹ Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye
gulseliisler@sakarya.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0003-0699-7262>

² Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye
yazgan@sakarya.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-8791-0458>

³ Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye
aslisultanaltnesik@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0009-0001-6878-6877>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 21.09.2024

Revize: 23.01.2025

Kabul: 14.05.2025

Anahtar Kelimeler

Ömrünü Tamamlamış Araç (ÖTA),
Tersine Lojistik,
Optimizasyon,
MILP,
Maliyet Minimizasyonu,
Atık Yönetimi

Özet

Ömrünü tamamlamış araçların (ÖTA) geri dönüşüm ve yeniden işleme süreci, atık yönetimi açısından önemli sorunlar barındırmaktadır. Özellikle, toplama noktalarından bertaraf tesislerine kadar olan süreçte, maliyetlerin yüksek olması ve tesislerin etkin kullanılmaması önemli problemlerdir. Bu makalede, ÖTA'ların geri dönüşüm sürecine yönelik bir tersine lojistik problemi ele alınmıştır. Araçların toplama noktaları, geçici depolama merkezleri, geri dönüşüm tesisleri, yeniden kazanım merkezleri ve bertaraf alanları dikkate alınarak karma tam sayılı doğrusal programlama (MILP) modeli geliştirilmiştir. Model, gerçek hayat verileri ile ticari bir yazılım kullanılarak çözülmüş, mevcut durum analizi ve iki farklı senaryo üzerinden önerilen ağ tasarımının operasyonel maliyetleri azaltma etkisi incelenmiştir. Sonuçlar, tesislerin optimize edilmiş kullanımının mevcut sistemde maliyet etkinliğini artırarak önemli bir iyileşme sağladığını göstermektedir. Bu bulgular, literatüre ÖTA tersine lojistik sistemi için geliştirilen özgün bir matematiksel model kazandırarak benzer sürdürülebilir sistemlerin tasarımına yönelik geniş bir uygulama potansiyeli sunmaktadır. Ayrıca, sürdürülebilir atık yönetimi stratejilerini güçlendirmek isteyen paydaşlara yol gösterici niteliği taşımaktadır.

Recycling end-of-life vehicles problem: Application in Marmara region

Article Info

Article History:

Received: 21.09.2024

Revised: 23.01.2025

Accepted: 14.05.2025

Keywords

End of Life Vehicle (ELV),
Reverse Logistics,
Optimization,
MILP,
Cost Minimization,
Waste Management

Abstract

The recycling and reprocessing of end-of-life vehicles (ELVs) presents significant challenges in waste management. Particularly, high costs and inefficient use of facilities throughout the process, from collection centers to disposal facilities, are major issues. This paper addresses a reverse logistics problem related to the recycling process of ELVs. A mixed-integer linear programming (MILP) model is developed, considering vehicle collection centers, temporary storage centers, recycling facilities, recovery centers, and disposal facilities. The model is solved using commercial software with real-life data, and the effect of the proposed network design on reducing operational costs is examined through the current situation analysis and two different scenarios. The results show that optimizing facility usage leads to significant improvements in cost efficiency within the existing system. These findings contribute a novel mathematical model to the literature for the ELV reverse logistics system, presenting broad potential for the design of similar sustainable systems. Additionally, it provides valuable insights for stakeholders aiming to enhance sustainable waste management strategies.

1. Giriş

Günümüzde, doğal kaynakların sınırlı olması ve çevresel etkilerin giderek artmasıyla birlikte atık yönetimi stratejileri, kurumlar için önemli bir mesele haline gelmiştir. Bu bağlamda, ömrünü tamamlamış araçların (ÖTA) etkili bir şekilde geri dönüştürülmesi, çevresel sürdürülebilirlik ve ekonomik açıdan kritik bir konu olarak öne çıkmaktadır (Ayvaz ve Erdoğan, 2020). Marmara Bölgesi, Türkiye'nin en yoğun nüfuslu ve endüstriyel olarak gelişmiş bölgesi olması nedeniyle atık yönetimi stratejileri açısından özel bir öneme sahiptir. Bu makale, Marmara Bölgesi'nde ÖTA'ların geri dönüşüm süreçlerini optimize etmeye yönelik bir açık döngü tersine lojistik ağ tasarımı problemini ele almaktadır. Atık yönetimi, sadece çevresel sürdürülebilirlik açısından değil, aynı zamanda işletmelerin ekonomik performansı ve toplumun genel refahı için de kritik bir öneme sahiptir. Bu bağlamda, bölgede ÖTA'ların etkili bir şekilde geri dönüştürülmesi, bölge ekonomisi için değerli hammadde kaynaklarına dönüşüm sağlayarak sürdürülebilir bir kalkınmanın anahtarı olabilir (İşler ve diğ., 2023).

Türkiye'de çevre ve sürdürülebilirlik konularındaki önemli adımlardan biri, Çevre ve Orman Bakanlığı'nın 30.12.2009 tarihli 27448 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan "Ömrünü Tamamlamış Araçların Kontrolü Hakkında Yönetmelik" ile atılmış, 01.01.2011 tarihinden itibaren uygulamaya başlanmıştır. ÖTA'ların kontrolü, geri kazanımı ve yeniden kullanımı düzenlenerek, çevresel etkileri en aza indirme amacı taşınmaktadır. Özellikle kullanım ve geri kazanım oranları belirlenerek sektördeki ekonomik operatörlere yönlendirici bir çerçeve sunulmaktadır. ÖTA'lardan çıkarılan parçaların kullanım ve geri kazanım oranları belirlenerek, bu oranların belirli bir ağırlık yüzdesine ulaşması hedeflenmektedir. Özellikle, kullanım-geri kazanım oranlarının ortalama araç ağırlığının en az %85'ine, kullanım-geri dönüşüm oranlarının ise en az % 80'ine çıkarılması istenmektedir. Yönetmelik, 01.01.2020 tarihinden itibaren bu oranların daha da artırılmasını öngörmekte olup, kullanım-geri kazanım oranlarının ortalama araç ağırlığının en az % 95'ine, kullanım-geri dönüşüm oranlarının ise en az %85'ine çıkarılması hedeflenmektedir. Yönetmelik, 1 Ocak 1980 tarihinden önce üretilmiş araçlarda yeniden kullanım-geri kazanım oranlarını daha esnek bir şekilde ele almaktadır. Bu araçlarda yeniden kullanım-geri kazanım oranı, ortalama araç ağırlığının %75'inden az olmamalı, yeniden kullanım-geri dönüşüm oranı ise ortalama araç ağırlığının %70'inden düşük olmamalıdır. Bu, kullanılmayan parçaların çevresel standartlara uygun bir şekilde geri dönüşüm ve kazanım süreçlerine dâhil edilmesini ifade etmektedir. ÖTA'lardan çıkarılan parçaların çevresel standartlara uygun bir şekilde yeniden kullanılmasını veya geri dönüştürülmesini zorunlu tutulmaktadır. Bu faaliyetler, hava emisyonları, gürültü kontrolü gibi çevresel gerekliliklere tam uyum içinde gerçekleştirilmelidir. Bu hedefler, hem ekonomik operatörleri hem de sektörde faaliyet gösteren diğer paydaşları, atık yönetimi süreçlerini daha sürdürülebilir ve çevre dostu bir yönde şekillendirmeye teşvik etmektedir. Böylece, atık malzemelerin etkili bir şekilde değerlendirilmesi ve kullanım ömrünün tamamlanan araçlardan elde edilen parçaların ekonomiye kazandırılması, çevresel sürdürülebilirliğe önemli bir katkı sağlayacaktır. ÖTA geri dönüşüm sürecindeki temel problem, geri dönüşüm tesislerinin optimize edilmemiş ağ yapısı nedeniyle maliyetlerin yüksek olması ve kaynak kullanımının verimsiz gerçekleşmesidir (Balci, 2017).

Açık döngü tersine lojistik ağı optimizasyonu, kullanım ömrünü tamamlamış ürünlerin, çeşitli geri dönüşüm, yeniden kazanım ve bertaraf süreçlerine yönlendirilmesi için tasarlanan lojistik ağların maliyet, çevresel sürdürülebilirlik veya başka kriterler doğrultusunda optimize edilmesini ifade eder. Bu süreçte ürünler, başlangıçta belirli bir amaca hizmet eden konvansiyonel tedarik zincirinin aksine, kullanım ömrünün sonunda farklı türdeki tesislere (örneğin, geri dönüşüm tesisleri, bertaraf alanları) taşınarak yeniden değerlendirilir veya bertaraf edilir (Hagelüken, 2007). Çalışmada ele alınan problem, bu ağların en uygun şekilde tasarlanarak toplam maliyetlerin minimize edilmesini amaçlayan matematiksel bir modelle çözülmüştür.

Bu makalede, Marmara Bölgesi'ndeki ÖTA geri dönüşüm süreçleri için tersine lojistik ağı tasarlanmış ve mevcut durum analizi ile iki farklı senaryo üzerinden analizler yapılmıştır. Mevcut durum analizinde, mevcut sistem incelenmiş ve tüm geri dönüşüm tesislerinin aktif olduğu dikkate alınarak maliyetler hesaplanmıştır. İlk senaryoda, önerilen karma tam sayılı doğrusal programlama modeli kullanılarak, tesislerin dönemlik açılması ve talep ile maliyet gibi faktörlere göre optimize edilmesi sağlanmıştır. Son olarak, ikinci senaryoda, son yıllardaki trafikten kaydı silinen araç sayısındaki azalma dikkate alınarak 2024 yılı için bir tahmin yapılmış ve ağ modeli bu öngörülere göre yeniden optimize edilmiştir. Bu senaryoların her biri, maliyetleri azaltmaya yönelik somut adımlar sunarak, mevcut sistemin verimliliğini artırmayı hedeflemiştir.

Önerilen modelin uygulanması ve geliştirilmesi, bölge için stratejik kararlar alınmasına katkıda bulunarak atık yönetimi stratejilerini güçlendirebilir. Bu çalışma, atık yönetimi stratejilerini geliştirmek isteyen işletmeler, yerel yönetimler ve çevre aktivistleri için önemli bir rehberlik sağlamayı amaçlamaktadır. Ayrıca, atık yönetimi alanında çalışan araştırmacılar için de matematiksel modelleme ve optimizasyon konularında yeni bir bakış açısı sunabilir.

2. Literatür Araştırması

Literatürde ÖTA'ların geri dönüşümüne yönelik yapılan sınırlı sayıda çalışma mevcuttur. Cruz-Rivera ve Ertel (2008)'in çalışmasında, Meksika'daki ÖTA'lar için kapasitesiz bir toplama ağı modeli geliştirilerek geri dönüşüm ağının birimlerinin konumunun optimizasyon modeli sunulmuş ve çözüm için ise karma tam sayılı hedef programlama yaklaşımı önerilmiştir. Bölgesel dağıtım merkezlerinin lokasyonlarının başlangıçta belirlenen potansiyel lokasyonlar arasından seçilmemiş, model tarafından gösterilmiştir. Sonuç olarak, Meksika içinde toplama kapsamının sırasıyla %100, %90 ve %75'ini dikkate alan üç olası senaryoya karşılık gelen üç toplama ağının yapılandırılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Harraz ve diğ. (2011) ise Mısır'da ÖTA'lar için sürdürülebilir bir kurtarma ağının tasarımını sunmuşlardır. Önerilen matematiksel model, farklı tesisler için konumları ve farklı Kullanım Ömrü Sonu (EoL) seçeneklerine tahsis edilecek malzeme miktarlarının bulunmasını sağlamıştır. Merksiz-Guranowska (2011), hurda araçların toplanması, sökülmesi ve geri kazanımını içeren geri dönüşüm ağının tasarımını ele almıştır. Çalışmada, araçların toplanması ve geri dönüşüm süreci için tersine lojistik ağı kurulmuş, maliyetleri minimize eden bir matematiksel model geliştirilmiş, çözüm için ise Evrimsel Algoritma kullanılmıştır. Farel ve diğ. (2013), araç camlarının geri dönüşümü için bir ağ optimizasyon modeli sunmuşlardır. EoL cam geri dönüşümünde karlılığı artırmak için maliyet-fayda analizi kullanılmış, çözüm için doğrusal programlama modeli önerilmiş, çeşitli senaryolar simüle edilerek en iyi geri dönüşüm uygulamaları belirlenmiştir. Mahmoudzadeh ve diğ. (2013) ise bir doğrusal programlama modeli kullanarak ÖTA'ların hurda sahaları için en iyi yer, tahsis ve malzeme akışlarını bulmaya çalışmışlardır. Model, ülke genelinde hurdalıkların optimum konumlarını ve bunların optimum tahsislerini ve malzeme akışlarını belirlemek için MILP aracılığıyla formüle edilmiştir. ÖTA'lar, farklı çıktı malzeme akışlarıyla üç kalite seviyesinde kategorize edilmiştir. Sonuçlar, tahsis sürecinde bir uzmanlaşma eğilimi olduğunu, yani hurdalıkların çoğunun yalnızca bir veya iki kalite seviyesinde hizmet vererek açıldığını göstermiştir. Ene ve Öztürk (2015) ise, AB'de ÖTA geri dönüşüm planlaması için bulanık riske açık bir MILP modeli formüle etmişlerdir. Ağ modelinin kapsamı, ağdaki tesislerin sayılarını, konumlarını ve bu tesisler arasındaki malzeme akışlarını belirlemektir. Simic (2015), belirsizlik altında hurda araçların tahsisini planlamak için çok aşamalı bir aralıklı-stokastik programlama modeli sunmuştur. Model, farklı bölgelerdeki araçların geri dönüşüm tesislerine tahsisini optimize ederek belirsizlikleri ele almıştır.

Demirel ve diğ. (2016), ÖTA'larının geri kazanımını verimli bir şekilde yönetmek ve ÖTA kurtarma sisteminde yer alan farklı aktörleri içeren ağ tasarımı için bir MILP modeli sunmuşlardır. Önerdikleri modelde yeniden kullanılabilir parça ve hurda metallerin satış gelirini dikkate almışlardır. Phuc (2017), bulanık parametrelerle kullanım ömrü sonu taşıtların geri yönlü tedarik zinciri sistemi modeli incelemiştir. Önerilen model daha sonra bulanık parametrelerle doğrusal programlama yoluyla eşdeğer yardımcı net modele dönüştürülmüş ve nihai tercih edilen uzlaşım çözümleri belirlenmiştir. Shankar ve diğ. (2018), hurda araçların geri kazanımını amaçlayan kapalı döngü tedarik zinciri için iki aşamalı bir karar modeli sunmuşlardır. İlk aşamada, kapalı döngü tedarik zinciri için talep, toplama oranı ve kapasite gibi parametrelerle karma tamsayılı bir matematiksel model oluşturulmuş; ikinci aşamada ise bu modelin çıktıları, stratejik kararların incelenmesi için kullanılmıştır. Kuşakçı ve diğ. (2019), İstanbul için ömrünü tamamlamış araçların tersine lojistik ağını optimize etmek için bulanık bir konum tahsisi modeli geliştirmişlerdir. ELV tedarikinin belirsiz olduğu varsayılarak tasarlanan model, geri dönüşüm sürecinin mevcut koşullar altında kârlı olmadığını ortaya koymuşlardır. Wenzhu Liao ve Luo (2022), elektrikli araç bataryalarının geri dönüşüm ve yeniden üretimi için çok katılımcılı bir tersine lojistik ağı tasarlamış ve sürdürülebilir gelişimi desteklemek için bulanık bir optimizasyon modeli kullanmışlardır. Çin'in Chongqing şehrindeki vaka çalışması, maliyet düşüşü ve verimlilik artışı sağlamıştır. He ve diğ. (2024), ömrünü tamamlamış araçların geri dönüşüm ağını tasarlamak için belirsizlik altında bir karma tamsayılı doğrusal ve bulanık karma tamsayılı doğrusal olmayan programlama modeli önermişlerdir. Çin'in Jiangsu Eyaleti vaka çalışması sonuçları, geri dönüşüm hacmi ve tesis kapasitesindeki değişimlerin toplam maliyeti ve tesis seçimlerini önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir.

Sezgisel algoritmaların tercih edilmesinin temel sebepleri, büyük boyutlu problemlerde optimum sonuca ulaşmanın zorluğu ve klasik yöntemlerle çözümün çok uzun süre almasıdır. Bu durumlarda, MILP gibi matematiksel modellerin çözüm sürecini hızlandırmak ve uygulanabilir çözümler elde etmek için sezgisel yöntemlere başvurulmaktadır. Sezgisel yöntemlerle çözüm sağlayan çalışmalara örnek olarak; Mansour ve Zarei (2008), Avrupa Birliği Yönergesi doğrultusunda kullanım ömrünü tamamlamış araçların (ELV) geri kazanımı için bir tersine lojistik optimizasyon modeli sunmuşlardır. Modelde, maliyetler en aza indirilirken, araçların toplanması, demontajı ve farklı tesisler arasında malzeme akışı optimize edilmesi hedeflenmiştir. Çözüm için Çoklu Başlangıç Arama Algoritması ve sezgisel yöntemler uygulanmıştır. Zarei ve diğ. (2010), çok dönemli tersine lojistik optimizasyon yaklaşımına sahip bir tesis yerleşim problemi sunmuş ve karma tamsayılı doğrusal olmayan programlama (MINLP) modeli kurmuşlardır. İleri lojistik ve tersine lojistik maliyetlerinin eş zamanlı minimizasyonuna dayanmaktadır. Genetik algoritmaya dayalı bir çözüm metodolojisi tasarlanmıştır. Govindan ve Gholizadeh (2021), çalışmalarında İran'daki kullanım ömrünü tamamlamış araçlar (ELVs) için sürdürülebilir ve

dayanıklı tersine lojistik ağının optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Belirsizlik durumlarına yönelik senaryo tabanlı modelleme ile toplam maliyetlerin minimize edilmesi amaçlanarak çözüm için Çapraz-Entropi algoritması kullanılmıştır. Hashemi (2021), çevresel maliyetleri ve tersine lojistik ağının toplam maliyetini minimize ederken müşteri talebini maksimize eden bir bulanık çok amaçlı model önermiştir. Modeli çözmek için bir elit strateji ve bir Meta-Sezgisel Arı Kolonisi Algoritması ile Genetik Algoritma kullanmıştır. Shafiee Roudbari ve diğ. (2021), geri dönüşümlü ürünlerin yeniden kullanımı, yenileme, yeniden üretim ve geri dönüşüm süreçlerini içeren tersine lojistik ağını, belirsizlikleri dikkate alarak iki aşamalı stokastik modelle tasarlamışlardır. Çözüm süresini kısaltmak için Genetik Algoritma ve Branch and Cut yöntemleri birleştirilmiştir. Reddy ve diğ. (2022), geliştirilmiş bir Benders ayrıştırma yöntemi geliştirmişlerdir. Bu yöntem MILP modelini çözerek daha hızlı bir çözüm sağlamak ve mevcut problemlerin doğal karmaşıklığını çözmektedir.

İncelenen bu çalışmaların özeti Tablo 1’de sunulmaktadır.

Tablo 1. Literatür taraması tablosu

YAZARLAR (YIL)	MODEL TİPİ	ÇÖZÜM YÖNTEMİ
Mansour ve Zarei (2008)	MILP	Sezgisel
Zarei ve diğ. (2010)	MINLP	
Govindan ve Gholizadeh (2021)	MILP	
Hashemi (2021)	MILP	
Shafiee Roudbari ve diğ. (2021)	MILP	
Reddy ve diğ. (2022)	MILP	
Cruz-Rivera ve Ertel (2009)	MILP	Matematiksel model
Harras ve diğ. (2011)	MILP	
Merkisz-Guranowska (2011)	LP	
Farel ve diğ. (2013)	MILP	
Mahmoudzadeh ve diğ. (2013)	LP	
Ene ve Öztürk (2015)	MILP	
Simic (2015)	LP	
Demirel ve diğ. (2016)	MILP	
Phuc ve diğ. (2017)	Fuzzy LP	
Shankar ve diğ. (2018)	LP	
Kuşakcı ve diğ. (2019)	LP	
Wenzhu Liao ve Luo (2022)	MILP	
He ve diğ. (2024)	MILP	

Literatürde ömrünü tamamlamış araçların (ÖTA) geri dönüşüm süreçlerini optimize etmeye yönelik sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar genellikle karma tamsayılı doğrusal programlama (MILP), doğrusal programlama (LP), ve karma tamsayılı doğrusal olmayan programlama (MINLP) gibi çeşitli modelleme teknikleri kullanılmaktadır. Genelde, problemin yapısı gereği lineer programlama modeli önerildiği görülmüştür. Büyük modeller için ise, sezgisel algoritma gibi kesin olmayan çözüm yöntemleri tercih edilmiştir. Bunun yanı sıra, belirsizlik altında karar verme süreçleri üzerinde duran çalışmalar da mevcuttur.

Bu makalenin literatürdeki diğer çalışmalardan farkı, ÖTA geri dönüşüm süreci için gerçek hayattan esinlenen bir tersine lojistik ağ modeli önerilmiş olması, buna uygun geliştirilen karma tamsayılı doğrusal programlama (MILP) modelinin global optimal sonuçlara ulaşması ve modelin gerçek verileri kullanılarak test edilmiş olmasıdır. Bununla birlikte, literatürde bazı büyük problemleri çözmek için kullanılan sezgisel yöntemler ile kesin sonuçlar sağlanamazken, bu makalede elde edilen çözüm global optimal olma özelliği taşımaktadır.

Çalışmanın temel katkısı, ÖTA’lar için çevresel sürdürülebilirlik ilke ve standartlarına uygun, geri dönüşüm süreçlerini içeren bir tersine lojistik ağı tasarlanması ve tasarlanan bu ağ için maliyeti en aza indirgeyerek süreçleri optimize eden özgün bir matematiksel model önerilmesidir. Bu problem, açık döngü, tek amaçlı ve tek ürünlü bir geri dönüşüm ağının tasarımını içerir. Bu makalede geliştirilen matematiksel model ile yalnızca maliyet minimizasyonuna odaklanılmamış, aynı zamanda mevcut durum analizi ve senaryolar ile modelin gerçek hayatta uygulanabilirliğinin kontrolü gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın, karar vericilerin sürdürülebilir atık yönetimi stratejilerinde daha bilinçli ve esnek kararlar alabilmesine yardımcı olabileceğini düşünüyoruz.

3. Ömrünü Tamamlamış Araçların Geri Dönüşüm Problemi

3.1. Problem Tanımı

Bu çalışma, Marmara Bölgesi'nde ÖTA'ların geri dönüşüm süreçlerini optimize etmeye odaklanan bir matematiksel model üzerine kurulu bir açık döngü, tek amaçlı ve tek ürünlü bir tersine lojistik ağı tasarımı problemi ele almaktadır.

Önerilen tersine lojistik ağına ÖTA'ların geri dönüşüm işlemleri ele alınmıştır. Teslim yerlerine ulaşan ÖTA'lar, doğrudan geçici depolama merkezine gönderilerek herhangi bir işleme tabi tutulmamaktadır. Geçici depolama merkezine gelen ÖTA'ların ilk olarak yakıt, motor yağı, transmisyon yağı, hidrolik yağ, soğutucu, klima sıvısı, fren sıvısı, direksiyon sıvısı gibi akışkan kısımları boşaltılmakta ve ardından söküm işlemine geçilmektedir. Söküm işlemi sonucunda elde edilen plastik, cam gibi materyaller ile "hulk" olarak adlandırılan ÖTA gövdesi parçalara ayrıştırılarak geri dönüşüm tesislerine gönderilmektedir. Söküm işlemi sonucunda ortaya çıkan değerli ve yeniden kullanılabilir parçalardan motor, diferansiyel, transmisyon (şanzıman), gövde panelleri (kaporta, kapılar, tampon) ve tekerlekler ikincil pazarlara/marketlere satılmaktadır. Hulk adı verilen araç gövdesine uygulanan parçalama işlemi sonucunda ASR olarak bilinen araç parça kalıntıları ile demir ve demir içermeyen metaller (alüminyum, bakır, çinko ve kurşun) elde edilmektedir. ASR'ler bertaraf merkezine gönderilerek elden çıkarılırken, demir ve demir içermeyen metaller geri dönüşüm tesisine ulaştırılmaktadır. Geçici depolama ve geri dönüşüm tesisinden yeniden kazanım merkezine gönderilen materyaller, geri kazanım işlemine tabi tutularak ham materyallerin tedarikçilere satışı yapılmaktadır. Geri kazanımı sağlanamayan tehlikeli ve zararlı atıklar ise ASR'ler gibi bertaraf merkezine gönderilerek elden çıkarılmaktadır.

3.2. Matematiksel Formülasyon

Önerilen tersine lojistik ağ modeline yönelik tek amaçlı, tek ürünlü, karma tam sayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Model için aşağıdaki varsayımlar dikkate alınmıştır:

- Teslim yerlerindeki ÖTA'ların tamamı toplanmalıdır.
- Tüm tesisler kapasitelidir.
- Taşınan malzemeler ağırlık birimi (ton) olarak tahsis edilebilir.
- Yeterli olan kapasiteden dolayı birikmiş siparişe veya stoğa izin verilmez.
- ÖTA'ların yüzdesel bileşenleri bilinmektedir.

Model formülasyonu aşağıdaki gibidir.

Kümeler:

- i : ÖTA teslim yeri $i \in \{1, 2, \dots, I\}$
 j : geçici depolama merkezleri $j \in \{1, 2, \dots, J\}$
 k : geri dönüşüm/öta işleme tesisleri $k \in \{1, 2, \dots, K\}$
 l : yeniden kazanım merkezleri $l \in \{1, 2, \dots, L\}$
 m : bertaraf tesisleri $m \in \{1, 2, \dots, M\}$

Parametreler:

- f_l : l yeniden kazanım merkezinin dönemlik sabit açılış maliyeti
 f_k : k geri dönüşüm tesisinin dönemlik sabit açılış maliyeti
 f_m : m bertaraf tesisinin dönemlik sabit açılış maliyeti
 c_k : k geri dönüşüm tesisinde parça işleme birim maliyeti
 c_l : l yeniden kazanım merkezinde parça işleme birim maliyeti
 t_{ij} : i ÖTA teslim yeri ile j geçici depolama tesisi arasında km başına taşıma maliyeti
 t_{jk} : j geçici depolama tesisi ile k geri dönüşüm tesisi arasında km başına taşıma maliyeti
 t_{kl} : k geri dönüşüm tesisi ile l yeniden kazanım merkezi arasında km başına taşıma maliyeti
 d_{ij} : i ÖTA teslim yeri ile j geçici depolama tesisi arasındaki mesafe (km)
 d_{jk} : j geçici depolama tesisi ile k geri dönüşüm tesisi arasındaki mesafe (km)
 d_{kl} : k geri dönüşüm tesisi ile l yeniden kazanım merkezi arasındaki mesafe (km)
 cap_j : j geçici depolama merkezi kapasitesi
 cap_k : k geri dönüşüm tesisi kapasitesi
 cap_l : l yeniden kazanım merkezi kapasitesi

cap_m : m bertaraf tesisi kapasitesi

$strc$: Geçici depolama merkezinden geri dönüşüm tesisine gönderilen atık miktarı

$stru$: Geçici depolama merkezinden yeniden kazanım merkezine gönderilen atık miktarı

$stds$: Geçici depolama merkezinden bertaraf tesisine gönderilen atık miktarı

$rcru$: Geri dönüşüm tesisinden yeniden kazanım merkezlerine gönderilen atık miktarı

$rcds$: Geri dönüşüm tesisinden bertaraf tesislerine gönderilen atık miktarı

Karar Değişkenleri:

Z_i : i ÖTA teslim yeri tarafından gönderilen ÖTA miktarı

X_{ij} : i ÖTA teslim yeri tarafından j geçici depolama merkezine gönderilen ÖTA miktarı

Y_{jk} : j geçici depolama merkezinden k geri dönüşüm tesisine gönderilen atık miktarı

T_{jl} : j geçici depolama merkezinden l yeniden kazanım merkezine gönderilen atık miktarı

V_{jm} : j geçici depolama merkezinden m bertaraf tesisine gönderilen atık miktarı

W_{kl} : k geri dönüşüm tesisinden l yeniden kazanım merkezine gönderilen atık miktarı

B_{km} : k geri dönüşüm tesisinden m bertaraf merkezine gönderilen atık miktarı

e_k : k geri dönüşüm tesisinin açılıp açılmama kararı (0 veya 1)

e_l : l yeniden kazanım Merkezinin açılıp açılmama kararı (0 veya 1)

e_m : m bertaraf tesisinin açılıp açılmama kararı (0 veya 1)

Amaç Fonksiyonu:

$$\begin{aligned} \text{En az } Z = & \sum_l^L f_l e_l + \sum_k^K f_k e_k + \sum_m^M f_m e_m + \sum_l^L \sum_k^K c_k W_{kl} + \sum_l^L \sum_k^K c_l W_{kl} + \\ & \sum_i^I \sum_j^J t_{ij} d_{ij} X_{ij} + \sum_j^J \sum_k^K t_{jk} d_{jk} Y_{jk} + \sum_k^K \sum_l^L t_{kl} d_{kl} W_{kl} \end{aligned} \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_j^J X_{ij} \leq Z_i \quad \forall i \quad (2)$$

$$\sum_i^I X_{ij} \leq cap_j \quad \forall j \quad (3)$$

$$\sum_j^J Y_{jk} \leq cap_k \times e_k \quad \forall k \quad (4)$$

$$\sum_k^K W_{kl} + \sum_j^J T_{jl} \leq cap_l \times e_l \quad \forall l \quad (5)$$

$$\sum_j^J V_{jm} + \sum_k^K B_{km} \leq cap_m \times e_m \quad \forall m \quad (6)$$

$$\sum_i^I X_{ij} = \sum_k^K Y_{jk} + \sum_l^L T_{jl} + \sum_m^M V_{jm} \quad \forall j \quad (7)$$

$$\sum_k^K Y_{jk} = \sum_l^L W_{kl} + \sum_m^M B_{km} \quad \forall j \quad (8)$$

$$strc \times \sum_i^I X_{ij} = \sum_k^K Y_{jk} \quad \forall j \quad (9)$$

$$stru \times \sum_i^I X_{ij} = \sum_l^L T_{jl} \quad \forall j \quad (10)$$

$$stds \times \sum_i^I X_{ij} = \sum_m^M V_{jm} \quad \forall j \quad (11)$$

$$rcru \times \sum_k^K Y_{jk} = \sum_l^L W_{kl} \quad \forall k \quad (12)$$

$$rcds \times \sum_j^J Y_{jk} = \sum_m^M B_{km} \quad \forall k \quad (13)$$

$$Z_i, X_{ij}, Y_{jk}, T_{jl}, V_{jm}, W_{kl}, B_{km} \geq 0 \quad \forall i, j, k, l, m \quad (14)$$

$$e_k, e_l, e_m \in \{0, 1\} \quad \forall k, l, m \quad (15)$$

(1) numaralı denklem modelin amaç fonksiyonudur. Açılma kararı verilen yeniden l kazanım merkezlerinin, k geri dönüşüm tesislerinin ve m bertaraf tesislerinin dönemlik sabit açılış maliyetleri, gönderilen ÖTA'ların k geri dönüşüm tesisinde ve l yeniden kazanım merkezinde parça işleme maliyetleri, i ÖTA teslim yeri ile j geçici depolama tesisi arasındaki, j geçici depolama tesisi ile k geri dönüşüm tesisi arasındaki ve k geri dönüşüm tesisi ile l yeniden kazanım merkezi arasındaki mesafeye ve atık miktarına bağlı atık taşıma maliyetlerinin toplamını içermektedir ve bu toplamın minimizasyonu gerçekleştirilir.

Kısıt (2), (3), (4) ve (5) kapasite kısıtlarıdır. Kısıt (2), teslim yerinden gönderilen ÖTA miktarının teslim yerinin, Kısıt (3) geçici depolama merkezlerinin, Kısıt (4) geri dönüşüm tesislerinin, Kısıt (5) yeniden kazanım merkezlerinin ve Kısıt (6) bertaraf tesislerinin kapasitelerinin aşılmamasını sağlar. Kısıt (7) ve (8), Atıkları tesislere yönlendirme kısıtıdır. Üç adet kısıt geçici depolama merkezindeki atıkların belirli oranlarda geri dönüşüm tesisine (Kısıt 9), yeniden kazanım merkezlerine (Kısıt 10) ve bertaraf tesislerine (Kısıt 11) gönderilmesini sağlar. Kısıt (12) ve (13) ise sırasıyla, geri dönüşüm tesisine gönderilen atıkların belirli oranlarda yeniden kazanım merkezlerine ve bertaraf tesislerine yönlendirilmesini gerektirir. Kısıt (14), karar değişkenlerinin negatif olmamasını garanti eder. Son olarak, Kısıt (15), geri dönüşüm tesisleri, yeniden kazanım merkezleri ve bertaraf tesislerine ilişkin açılma veya açılmama kararlarını modellemek amacıyla ilgili karar değişkenlerinin 0 veya 1 değerini almasını sağlar.

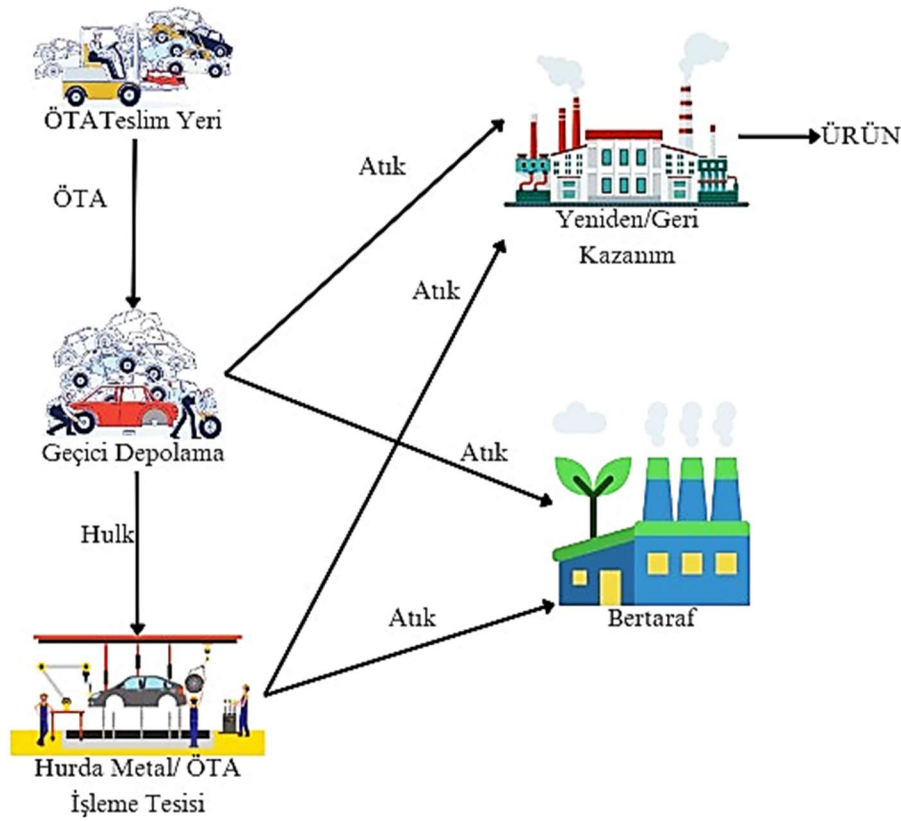
Geliştirilen model, ÖTA teslim yerleri, geçici depolama merkezleri, geri dönüşüm tesisleri, yeniden kazanım merkezleri ve bertaraf tesisleri gibi kritik bileşenlere odaklanır. Çeşitli parametreler ve karar değişkenleri aracılığıyla, taşıma miktarları ve tesislerin açılma/kapanma kararları gibi stratejik unsurlar matematiksel olarak ifade edilmiştir. Amaç fonksiyonu, toplam ağ maliyetini minimize etmeye yönelik stratejik bir hedefi temsil eder. Aynı zamanda, kısıtlar, teslim yerlerinin kapasiteleri, depolama merkezleri ve tesisler arası malzeme yönlendirmeleri gibi önemli faktörleri düzenler.

4. Uygulama

4.1. Mevcut durum analizi

Bu bölüm, Marmara Bölgesi'ndeki ÖTA'ların geri dönüşümü için tersine lojistik ağ tasarım probleminin uygulamasını içermektedir. Çalışmanın ana hedefi, ÖTA direktifi kapsamında Marmara Bölgesi'nde bulunan ÖTA'ların geri dönüşümü için bir ağ tasarımı yapmak, model parametrelerini belirleyerek minimum maliyetli bir tersine lojistik problemini çözmektir.

Belirtilen problemin çözümü için öncelikle mevcut durum analizinde, mevcut sistemin detaylı bir incelemesi yapılmış, maliyeti hesaplanmış ve bölgedeki atık yönetim tesislerinin kapasite durumları, kullanılan veriler ve ÖTA'ların özellikleri gibi faktörler analiz edilmiştir. Bu adım, mevcut problemlerin kök nedenlerini belirlemede temel bir rol oynamıştır. ÖTA'ların geri kazanımı için gerçek hayattan esinlenerek tasarlanan tersine lojistik ağ yapısı Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Tasarlanan ÖTA geri dönüşüm ağ modeli

Bölgedeki lisanslı araç toplama merkezleri, geçici depolama tesisleri, geri dönüşüm ve yeniden kazanım merkezlerinin toplam maliyetleri değerlendirilmiştir. Bölgede faaliyet gösteren toplamda 56 ton malzeme kapasiteli 154 adet tesis, mevcut durumda açıktır. Mevcut durumda ve senaryolardaki ortak tüm parametreler Senaryo 1 bölümünde mevcuttur. İllere özgü otomobil sayıları, kaydı silinen araç sayıları ve atık yönetimi süreçlerine dair mevcut veriler toplanarak, modelin temel girdilerini oluşturmuştur. Bu verilerin analizi sonucunda, mevcut durumda toplam ağ maliyeti 11.020.460.000,00 TL olarak tespit edilmiştir.

4.2. Senaryo 1

Bu problemin incelenmesi için 2 farklı senaryo oluşturulmuştur. Senaryo 1’de önerilen tersine lojistik ağ modeli, ÖTA teslim yerleri, geçici depolama merkezleri, geri dönüşüm tesisleri, yeniden kazanım merkezleri ve bertaraf tesisleri gibi kritik bileşenlere odaklanarak, bu tesisler arasındaki malzeme taşıma miktarlarını belirleyen karar değişkenleri ve stratejik kararları içermektedir. Bu çerçevede, bölgedeki atıkların yönetim uygulamalarını optimize etmeye odaklanmıştır ve elde edilen sonuçlar, Marmara Bölgesi’nde sürdürülebilir atık yönetimi stratejilerini güçlendirmeyi amaçlayan paydaşlara stratejik karar alma süreçlerine rehberlik etmeyi ve matematiksel optimizasyon modelleri kullanarak sürdürülebilir atık yönetimi stratejilerini tasarlamak isteyen uzmanlara geniş bir uygulama potansiyeli sunmayı amaçlamaktadır.

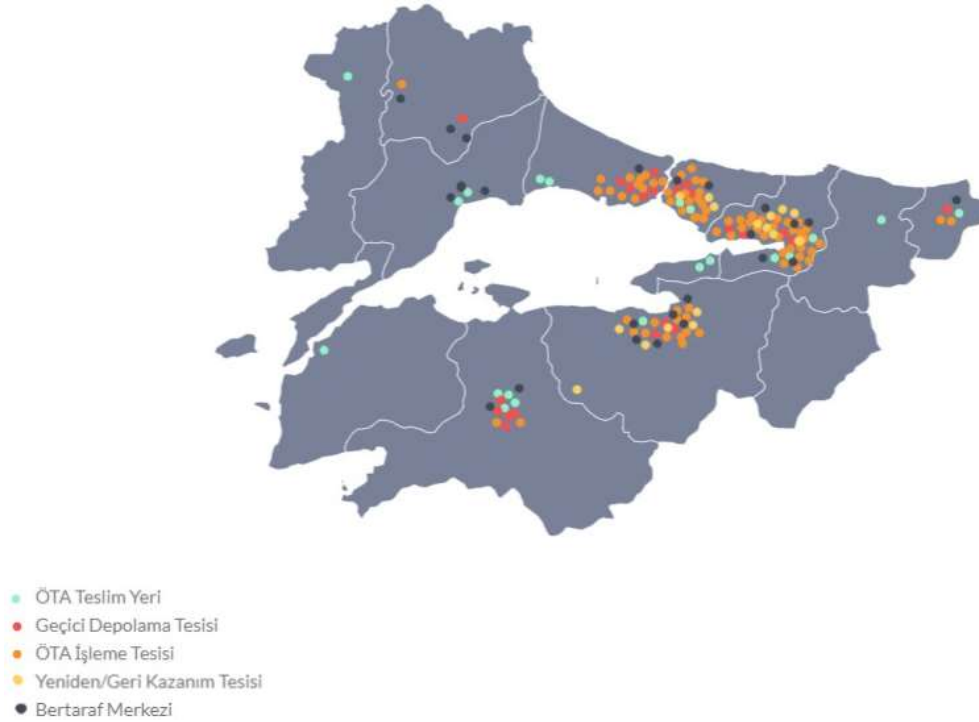
4.2.1. Kullanılan Veriler:

Marmara Bölgesi’nde ÖTA kaynağı olarak belirlenen Balıkesir, Bursa, Yalova, Tekirdağ, Edirne, Çanakkale, Kırklareli, Düzce, Sakarya, Bilecik, Kocaeli ve İstanbul olmak üzere toplamda 12 il ele alınmıştır. Bölgede faaliyet gösteren tesislerinin kapasiteleri, ÖTA akışlarını ve mevcut süreçlerini içermektedir ve piyasa araştırmaları sonucunda belirlenmiştir. ÖTA’ların toplandığı lisanslı araç toplayıcıları, araç söküm işlemlerinin yapıldığı yetkili geçici depolama/söküm tesisleri, söküm tesisinden gelen hulkun yeniden işleme tabi tutulduğu geri dönüşüm/ÖTA işleme tesisleri, akülerin, akışkanların, lastiklerin ve işlenmiş hulkaların geri dönüştürüldüğü yeniden kazanım tesisleri, tehlikeli ve zehirli atıkların elden çıkartıldığı bertaraf merkezlerinin sayıları ve kapasiteleri Tablo 2’de verilmiştir. Araçların her birinin ağırlığı 1.000 kg olarak kabul edilmiştir.

Tablo 2. Kullanılan tesislerin adetleri ve kapasiteleri (Kaynak: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı)

Tesis	Kapasite
ÖTA Teslim Yeri (Lisanslı Araç Toplayıcı)	20 adet, 4.000 ton
Geçici Depolama/Söküm Tesisi	22 adet, 5.000 ton
Geri Dönüşüm\ ÖTA İşleme Tesisi	73 adet, 9.000 ton
Yeniden Kazanım Tesisi	16 adet, 12.000 ton
Bertaraf Merkezi	23 adet, 26.000 ton

ÖTA teslim yerleri, geçici depolama tesisleri, geri dönüşüm işleme tesisleri, yeniden kazanım tesisleri ve bertaraf merkezleri gibi aktörlerin konumu ve tesisler arasındaki mesafelerin belirlenmesi için Google Haritalar kullanılmıştır. Şekil 2, ÖTA'ların geri dönüşüm sürecindeki aktörleri ve konumlarını göstermektedir.

**Şekil 2.** ÖTA'ların geri dönüşüm sürecindeki aktörleri ve konumları

2023 yılı itibarıyla Türkiye genelindeki trafiğe kaydı yapılan toplam taşıt sayısı 1.496.744, ÖTA sayısı 5.059'dur (TÜİK, 2024). Türkiye genelindeki bu sayılara göre, incelenen bölgedeki ÖTA teslim yerlerinden gönderilen ÖTA miktarları ise toplamda 1.833 adet araç olarak belirlenmiştir. İllerdeki otomobil sayısının toplam otomobil sayısına oranına göre bölgedeki toplam ÖTA miktarı illere paylaştırılmıştır. Tablo 3'te illerdeki otomobil sayıları verileri ile orantılı hesaplanan tahmini ÖTA sayıları verilmiştir.

Balıkesir, Bursa, Yalova, Tekirdağ, Edirne, Çanakkale, Kırklareli, Düzce, Sakarya, Bilecik, Kocaeli ve İstanbul illerinde toplam 20 tane teslim yeri bulunmaktadır ve bu illerin hepsi gerçek hayatta olduğu gibi ÖTA kaynağı olarak kabul edilmiştir.

Tablo 3. 2023 yılı illerdeki araç sayıları ile orantılı olarak belirlenen il bazlı ÖTA sayıları

İller	Otomobil Sayısı	İllere göre otomobil sayıları oranı	Kayıtlı Araç Sayısı	Silinen Araç Sayısı
İstanbul	3.530.325	%65,19	1.194	
Bursa	619.285	%11,44	209	
Kocaeli	292.000	%5,39	99	
Balıkesir	241.996	%4,47	82	
Sakarya	175.120	%3,23	59	
Tekirdağ	164.098	%3,03	56	
Çanakkale	106.290	%1,96	36	
Edirne	76.683	%1,42	26	
Kırklareli	67.096	%1,24	23	

Düzce	63955	%1,18	22
Yalova	41.327	%0,76	14
Bilecik	37.058	%0,68	13
TOPLAM	5.415.233	%100	1833

Geçici depolama merkezine gönderilen atıkların %81'i geri dönüşüm tesisine (strc), %14'ü yeniden kazanım merkezlerine (stru) ve %5'i de bertaraf tesislerine (stds), bir geri dönüşüm tesisine gönderilen atıkların %88'i yeniden kazanım merkezlerine (rcru), %12'si bertaraf tesislerine (rcds) gönderilmelidir (Ömrünü Tamamlamış Araçların Kontrolü Hakkında Yönetmelik, 2009).

Maliyet verilerinin gerçekçi bir şekilde belirlenmesi amacıyla Marmara Bölgesi'ndeki geri dönüşüm, yeniden kazanım ve bertaraf tesislerinde kapsamlı saha çalışmaları gerçekleştirilmiştir. İlgili veriler, Marmara Bölgesi'ndeki geri dönüşüm, yeniden kazanım ve bertaraf tesislerinde yapılan saha çalışmaları ve görüşmeler yoluyla derlenmiştir. Söz konusu tesislerin sabit açılış maliyetleri, birim işleme maliyetleri ve taşıma giderlerine ilişkin bilgiler, tesis yetkilileriyle yapılan görüşmeler sırasında elde edilmiştir. Görüşmeler sonucunda elde edilen maliyet verileri, gizlilik sebebiyle tesislere özgü detaylar belirtilmeden çalışmada genel şekilde sunulmuştur. Verilerin bu şekilde toplanması, çalışmada yer alan maliyet unsurlarının gerçek hayattaki koşulları yansıtmalarını ve modelin uygulanabilirliğinin artmasını sağlamıştır. Tablo 4, Marmara Bölgesi'nde ÖTA'ların geri dönüşüm süreçlerini optimize etmeye yönelik matematiksel modelde kullanılan maliyetleri göstermektedir.

Tablo 4. Maliyet verileri ve kaynakları

Maliyet Kalemi	Kaynak	Fiyat
Söküm tesisi açılış maliyeti	Piyasa araştırması	6.500.000 TL
Yeniden kazanım tesisi açılış maliyeti	Piyasa araştırması	25.000.000 TL
Sökme maliyeti	Yetkili bir söküm ve yeniden kazanım tesisi	5.000 TL
İşleme maliyeti	Yetkili bir söküm ve yeniden kazanım tesisi	2.500 TL
Bertaraf maliyeti	Yetkili bir bertaraf merkezi	1.250 TL
Geri dönüşüm yeniden kazanım maliyeti	Yetkili bir geri dönüşüm tesisi	1.000 TL
ÖTA taşıma maliyeti	Piyasa araştırması	1 TL/km*ton
Toplama merkezleri ile söküm tesisi arasındaki taşıma maliyeti	Piyasa araştırması	0.4 TL/km*ton
Hulk taşıma maliyeti	Piyasa araştırması	0.2 TL/km*ton
Bertaraf merkezine yapılan taşımaların maliyeti	Yetkili bir bertaraf merkezi	0.5 TL/km*ton

4.2.2. Analiz Sonucu:

ÖTA teslim yerlerinden çıkan atıkların geçici depolama/söküm tesislerine dağıtımı Tablo 5'te gösterilmiştir. ÖTA'lar ve ÖTA parça ve bileşenlerinin, geri dönüşüm ağı içerisinde geçici depolama tesislerinden hangi tesislere geçerek işlemlere tabi tutulduğu Tablo 6'da, geri dönüşüm tesislerinden yapılan taşımalar ise Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 5. ÖTA teslim yerlerinden yapılan taşımalar

ÖTA Teslim Yeri	Geçici Depolama Tesis
T1:Merkez/Yalova	G9:Gebze/Kocaeli
T2:Merkez/Yalova	G9:Gebze/Kocaeli
T3:Karesi/Balıkesir	G2:Karesi/Balıkesir
T4:Merkez/Balıkesir	G2:Karesi/Balıkesir
T5:Altıeylül/Balıkesir	G4:Gümüşçeşme/Balıkesir
T6:Altıeylül/Balıkesir	G4:Gümüşçeşme/Balıkesir
T7:Karesi/Balıkesir	G2:Karesi/Balıkesir
T8:Süleyman/Tekirdağ	G18:Silivri/İstanbul
T9:Süleymanpaşa/Tekirdağ	G18:Silivri/İstanbul
T10:Merkez/Edirne	G6:Lüleburgaz/Kırklareli
T11:Merkez/Çanakkale	G1:Bandırma/Balıkesir
T12:Merkez/Çanakkale	G1:Bandırma/Balıkesir
T13:Adapazarı/Sakarya	G8:Kartepe/Kocaeli
T14:Merkez/Düzce	G7:Merkez/Düzce
T15:Kartepe/Kocaeli	G8:Kartepe/Kocaeli
T16:İzmit/Kocaeli	G8:Kartepe/Kocaeli

T17:İzmit/Kocaeli	G8:Kartepe/Kocaeli
T18:Sancaztepe/İstanbul	G17:Maltepe/İstanbul
T19:Maltepe/İstanbul	G16:Ataşehir/İstanbul
T20:Nilüfer/Bursa	G20: Osmangazi/Bursa

Tablo 6. Geçici depolama tesislerinden yapılan taşımalar

Geçici Depolama Tesisi	Geri Tesisi	Dönüşüm Tesisi	Yeniden Kazanım Tesisi	Bertaraf Merkezi
G1				B2:Bandırma/ Balıkesir
G2				B1:Merkez/ Balıkesir
G4				B1:Merkez/ Balıkesir
G6				B14:Pınarhisar/Kırklareli
G7				B9:Merkez/ Düzce
G8	I57:Kartepe/Kocaeli	Y12:Kartepe Palet		B18:Kartepe/ Kocaeli
G9				B17:Darıca/ Kocaeli
G16				B21:Ataşehir/ İstanbul
G17				B21:Ataşehir/ İstanbul
G18				B10:Büyükçekmece/ İstanbul
G20				B5:Osmangazi/ Bursa

Tablo 7. Geri dönüşüm tesislerinden yapılan taşımalar

Geri Dönüşüm Tesisi	Yeniden Kazanım Tesisi	Bertaraf Merkezi
I57:Kartepe/Kocaeli	Y12:Kartepe Palet	18: Kartepe/Kocaeli

Optimal sonuçlara göre toplam 1.833 adet ÖTA, ÖTA teslim yerlerinden geçici depolama merkezine taşınmıştır. Geliştirilen tersine lojistik ağ modelinin minimum maliyeti 10.189.900.000 TL olarak bulunmuştur.

4.3. Senaryo 2

Senaryo 2’de, çözüme ulaştırılan problemin yanında, azalış trendi yaşanmakta olan trafikten kaydı silinen taşıt sayısındaki değişiklik için tahmin yapılarak model yeniden çözdürülmüş; sistem parametreleri hakkında yeni bilgiler ortaya çıktığında değişikliklerin çözümü nasıl etkilediği araştırılmıştır.

4.3.1. Kullanılan Veriler:

2021, 2022, 2023 yıllarında ve 2024’ün ocak ile temmuz ayları arasında trafikten kaydı silinen araç sayıları ve önceki yıla göre değişim oranları dikkate alınarak 2024 yılında trafikten kaydı silinen taşıt sayısının ortalamasının %14,45 azalacağı kabul edilmiştir. İlgili veriler Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8. Yıllara göre kaydı silinen taşıt sayısı, değişim oranı ve 2024 yılı tahmini (TÜİK, 2021, 2022, 2023, 2024)

	2021	2022	2023	2024 Ocak-Temmuz	2024 yılı tahmini verileri
Trafikten kaydı silinen taşıt sayısı	42.924	35.585	31.721	17.309	27.138
Önceki yıla göre değişim miktarı	- %11,2	- %17,1	- %10,9	- %18,6	- %14,45

4.2.2. Analiz Sonucu:

Trafikten kaydı silinen taşıtların sayısında bir azalış trendi görülmüş ve bu azalışın açılacak olan tesisleri nasıl etkilediği araştırılmıştır. Önerilen matematiksel model ile çözüme ulaşılmış, sonucunda açılma kararı verilen tesisler ve kategorileri ayrıntılı olarak Tablo 9’da gösterilmiştir.

Tablo 9. Senaryo 2 sonuçları

Tesisler	Optimum sonuç (2023)	Optimum sonuç (2024 ve %14,45 azalış)
----------	----------------------	---------------------------------------

Geçici depolama\Söküm Tesisi	G1, G2, G4, G6, G7, G8, G9, G16, G17, G18, G20	G1, G2, G4, G6, G7, G8, G9, G13, G17, G21
Geri Dönüşüm\ ÖTA İşleme Tesisi	L57	L72, L25
Yeniden Kazanım Tesisi	Y12	Y6
Bertaraf Merkezi	B1, B2, B5, B9, B10, B14, B17, B18, B21	B1, B2, B3, B9, B14, B17, B18, B21

Beklendiği gibi, trafikten kaydı silinen taşıtların sayısındaki azalış yaşanması, azalış oranlarına bağlı olarak karar değişkenlerinin optimum değerleri ve tesis sayılarını etkilemiştir. Tablo 9, trafikten kaydı silinen taşıt sayısındaki %14,55'lik azalışın, mevcut tesislerin ve işlemlerin nasıl etkilendiğini göstermektedir. Azalış, özellikle geçici depolama/söküm tesisleri, geri dönüşüm/ÖTA işleme tesisleri, yeniden kazanım tesisleri ve bertaraf merkezleri için farklı sonuçlar doğurmuştur. Senaryo 2, trafikten kaydı silinen taşıt sayısındaki beklenen azalışın, açılacak tesisleri ve tesisler arası ürün akışlarını nasıl etkilediğini göstermiştir.

4.4. Uygulama Sonuçları

Bölgede faaliyet gösteren toplamda 56 ton malzeme kapasiteli 154 adet tesis, mevcut durumda açıktır. Mevcut durum için yapılan hesaplamalarla, toplam ağ maliyeti 11.020.460.000,00 TL olarak tespit edilmiştir.

Senaryo 1'de, önerilen tersine lojistik ağ modeli için geliştirilen karma tam sayılı doğrusal programlama modeli, ticari bir optimizasyon yazılımı kullanılarak çözülmüştür. Sonucunda, ÖTA geri dönüşüm ağının aktörlerinden olan tesislerin optimum maliyeti tespit edilmiştir. Amaç fonksiyonu değeri, yani önerilen tersine lojistik ağ modelinin minimum maliyeti 10.189.900.000,00 TL olarak bulunmuştur.

Geliştirilen modelde, Marmara bölgesinde dönemlik olarak tüm tesisler açılmamış, talep miktarına, maliyete ve birçok diğer etkene göre optimum sayıda açılmıştır. Günümüzde ise bu tesislerin tamamı aktif olarak hizmet vermektedir. Makalede önerilen ağ modeli ile maliyet 830.560.000,00 TL azaltılmıştır. Böylece, önerilen ağ modeli ve geliştirilen matematiksel model ile mevcut sistemde %7,54 iyileştirme sağlanmıştır.

Senaryo 2'de ise son 3 yılın ve 2024 yılının ilk 7 ayının verileri doğrultusunda, trafikten kaydı silinen taşıt sayısının geçen yıla göre %14 azalacağı kabul edilerek model, optimizasyon yazılımı ile yeniden çözülmüştür. Bunun sonucunda 2024 yılında bölgede faaliyet gösteren tesislerin minimum maliyet tahmini 8.722.010.000 TL olmuş; önerilen model sayesinde mevcut duruma göre %20,86 iyileştirme sağlanacağı öngörülmüştür.

Üç senaryo için sonuçların özeti Tablo 10'da bulunabilir.

Tablo 10. Senaryo uygulama sonuçları özeti

	Mevcut Durum	Senaryo 1 (Önerilen Durum)	Senaryo 2 (Önerilen Durum 2024 Tahmini)
Toplam Ağ Maliyeti (TL)	11.020.500.000 TL	10.189.900.000 TL	8.722.010.000 TL
İyileştirme Miktarı (TL)	-	830.600.000 TL	2.298.490.000 TL
Mevcut Duruma Göre İyileştirme Oranı	-	%7,54	%20,86

Problemin çözümü, mevcut kapasite yetersizlikleri, maliyet artışları ve çevresel etkiler gibi sorunlara karşı kapsamlı bir yaklaşım sunarak, bölgede ÖTA'ların geri dönüşüm sürecini optimize etmeyi hedeflemiştir. Bu strateji, atık yönetiminde etkinliği artırmak ve sürdürülebilir bir atık yönetimi sistemini benimsemek adına somut çözümler sunmaktadır.

Geliştirilmiş senaryolar, mevcut tesislerin tamamının kullanılması yerine optimize edilmiş bir ağ yapısının maliyetleri daha da düşürebileceğini göstermiştir. Bu, sektörde kaynak kullanımını azaltırken, operasyonel verimliliği artırma potansiyeline sahiptir. Literatürdeki diğer çalışmalara kıyasla, bu modelin gerçek verilerle desteklenmiş olması ve Marmara Bölgesi gibi geniş ve ticari anlamda kritik bir coğrafi alanda uygulanmış olması, çalışmanın kapsamını ve uygulama alanını genişleterek sektöre somut bir katkı sunmaktadır.

5. Sonuç

Ömrünü tamamlamış araçların (ÖTA) geri dönüşüm ve yeniden işleme sürecindeki mevcut sistemlerin, yüksek maliyetler ve tesislerin verimsiz kullanımı gibi önemli zorluklar içermektedir. Yürürlüğe konulan yeni yönetmelikler ve uygulamalarla birlikte üretimde atık yönetimi zorunlu hale getirilmiştir. Böylece atık yönetimi

konusunda var olan sistem dışında yeni ve daha iyi endüstriyel lojistik sistemlerine ihtiyaç vardır. Marmara Bölgesi, Türkiye'nin endüstri ve ticaret merkezlerinden biri olarak, atık yönetimi konusunda özel bir öneme sahiptir. Bölgedeki yoğun nüfus ve endüstri faaliyetleri, atık yönetimi süreçlerinin etkili bir şekilde planlanmasını ve uygulanmasını gerektirmektedir. Literatürde ÖTA'ların geri dönüşüm sürecine etkin bir şekilde dâhil edilmesi, çevresel sürdürülebilirlik ve ekonomik getiriler açısından stratejik bir zorunluluk olarak ele alınmaktadır.

Bu doğrultuda çalışmada, Marmara Bölgesi'nde bulunan lisanslı araç toplama merkezleri, geçici depolama tesisleri, geri dönüşüm tesisleri, yeniden kazanım merkezleri ve bertaraf tesislerini içeren bir tersine lojistik ağı tasarlanmış ve karma tam sayılı doğrusal programlama (MILP) modeli geliştirilmiştir.

Geliştirilen modelin, Marmara Bölgesi'nde uygulaması yapılmış, belirlenen 12 il için önerilen çözümleri sunulmuştur. İllerdeki otomobil sayıları, kaydı silinen araç sayıları gibi verilerin toplanması, modelin temel girdilerini oluşturmuştur. Bu verilerin analizi, atık yönetimi süreçlerinin önceden belirlenmiş parametreler üzerinden şekillendirilmesini sağlamış ve modelin gerçek dünyadaki koşullara uygunluğunu güçlendirmiştir. İllere özgü araç sayıları ve atık miktarları, modelin çeşitliliği ve bölgesel farklılıkları dikkate almasını sağlamıştır. Mevcut durum ile yapılan kıyaslamada önerilen modelin daha düşük maliyet sonucu sağladığı görülmüştür.

Mevcut durum ve iki farklı senaryo üzerinden yapılan analizler şunları ortaya koymuştur: Mevcut sistemin maliyetleri yüksekken, önerilen tersine lojistik ağı modelinin uygulanması maliyetleri önemli ölçüde düşürmüştür. Ayrıca, 2024 yılındaki trafikten kaydı silinen araç sayısındaki değişimlerin tahminine göre modelin performansı değerlendirilmiş ve daha büyük maliyet iyileştirmeleri öngörülmüştür.

Bu çalışmanın sonuçları, ömrünü tamamlamış araçların geri dönüşüm süreçlerinin optimize edilmesinde önemli bir adım olduğunu göstermektedir. Farklı politikalar ve seçeneklerin senaryolar ile değerlendirilmesi, karar vericilere daha geniş bir perspektif sunarak daha bilinçli kararlar almalarını sağlayabilir. Bu sonuçlar, sadece araştırılan bölge için değil, genel sürdürülebilir atık yönetimi politikalarının oluşturulmasında ve geri dönüşüm süreçlerinin yönetiminde karar vericiler için değerli bir rehber kaynak olabileceğini göstermektedir.

Makale, atık yönetimi süreçlerini etkinleştirmeyi ve bölgede geri dönüşüm süreçlerini optimize etmeyi amaçlayan kapsamlı bir lojistik model sunmuştur. Ancak, gerçek dünyada değişkenlik gösterebilecek birçok faktör olduğunu göz önünde bulundurulmalıdır. Atık yönetimi süreçlerinin etkinleştirilmesi, doğal kaynak kullanımında verimliliği artırarak enerji tasarrufuna ve sera gazı emisyonlarının azalmasına katkıda bulunabilir. Ayrıca, bölgesel ekonomik kalkınma ve istihdam artışı gibi toplumsal faydaların olası olduğu gözlemlenmektedir. Bu yüzden, modelin ekonomik başarıya ulaşabilmesi için yerel yönetimlerle, endüstri paydaşlarıyla ve toplumla etkileşimde bulunmak önemlidir. Maliyet etkinliği ve çevresel sürdürülebilirliği bir araya getiren bir çözümün, bölgede ve endüstride olumlu bir etki yaratma potansiyeli bulunmaktadır. Gelecekteki çalışmaların, bu alanda daha ileri adımlar atarak çevresel sürdürülebilirliği artırmaya odaklanması önerilir.

Bu çalışma, ömrünü tamamlamış araçların geri dönüşüm süreçlerini optimize etmek için kapsamlı bir tersine lojistik ağı tasarımı sunmaktadır. Araştırmacıların bu konuda çalışabileceği potansiyel çalışma alanları arasında, modelin farklı senaryolar altında ve değişen sosyo-ekonomik koşullarda nasıl bir performans sergileyeceğinin araştırılması yer alabilir. Ayrıca, Marmara Bölgesi'nde elde edilen sonuçlar, diğer bölgeler veya ülkelerle karşılaştırılarak modelin genellenebilirliği ve farklı lojistik sistemlerde uygulanabilirliği değerlendirilebilir. Çalışmada maliyet minimizasyonu odaklı bir yaklaşım benimsenmiş olsa da ileride çevresel etkilerin azaltılması, karbon ayak izinin düşürülmesi ve istihdam gibi çok amaçlı optimizasyon hedefleriyle daha kapsamlı modeller geliştirilebilir. Bunun yanı sıra, geri dönüşüm ağlarının zaman içinde dinamik yapısını ele alan modeller, tesislerin açılıp kapanma kararlarının uzun vadeli etkilerini değerlendirme fırsatı sunabilir. Bu tür çalışmalar, sürdürülebilir atık yönetimi stratejilerinin geliştirilmesine yönelik önemli katkılar sağlayabilir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; Gülseli İşler ve Harun Reşit Yazgan, çözüm yönteminin önerilmesi, çözümün uygulanması, kavramsal çerçevenin oluşturulması, uygulama kısmının geliştirilmesi, makalenin oluşturulması ve düzenlenmesi konusunda, Aslı Sultan Altıneşik, literatür taraması, problemin ortaya konması, çözümün uygulanması, uygulama kısmının geliştirilmesi ve makalenin oluşturulması konusunda katkıda bulunmuştur.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Ayvaz B., & Erdoğan, D. (2020). Ömrünü Tamamlamış Araçların Geri Kazanımı için Belirsizlik Altında Ağ Tasarımı. *Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 3(1), 35-71. doi: <https://doi.org/10.46373/hafebid.654047>
- Balci, S. (2017). Ömrünü tamamlamış araçların geri kazanımı için sürdürülebilir çok amaçlı tersine lojistik ağ tasarımı (Publication No. 2000002371) [Yüksek lisans tezi, İstanbul Ticaret Üniversitesi].
- Cruz-Rivera, R., & Ertel, J. (2009). Reverse logistics network design for the collection of end-of-life vehicles in Mexico. *European journal of operational research*, 196(3), 930-939. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.04.041>
- Demirel, E., Demirel, N., & Gökçen, H. (2016). A mixed integer linear programming model to optimize reverse logistics activities of end-of-life vehicles in Turkey. *Journal of Cleaner Production*, 112, 2101-2113. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.079>
- Ene, S., & Öztürk, N. (2015). Network modeling for reverse flows of end-of-life vehicles. *Waste Management*, 38, 284-296. doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.01.007>
- Farel, R., Yannou, B., & Bertoluci, G. (2013). Finding best practices for automotive glazing recycling: a network optimization model. *Journal of Cleaner Production*, 52, 446-461. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.02.022>
- Govindan, K., & Gholizadeh, H. (2021). Robust network design for sustainable-resilient reverse logistics network using big data: A case study of end-of-life vehicles. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 149(1), 102279. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102279>
- Hagelüken, C. (2007). The challenge of open cycles-Barriers to a closed loop economy demonstrated for consumer electronics and cars. *Proceedings of R*, 7, 3-5.
- Harraz, N.A., & Galal, N.M. (2011). Design of sustainable end-of-life vehicle recovery network in Egypt. *Ain Shams Engineering Journal*, 2(3-4), 211-219. doi: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2011.09.006>
- Hashemi, S.E. (2021). A fuzzy multi-objective optimization model for a sustainable reverse logistics network design of municipal waste-collecting considering the reduction of emissions. *Journal of Cleaner Production*, 318, 128577. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128577>
- He, M., Li, Q., Lin, T., Fan, J., Wu, X., & Han, X. (2024). Designing a Reverse Logistics Network for End-of-Life Vehicles in an Uncertain Environment. *World Electric Vehicle Journal*, 15(4), 140. doi: <https://doi.org/10.3390/wevj15040140>
- İşler, G., Akyol, D. E., & Yazgan, H. R. (2023). Theory and research concerning the circular economy model and future trend, *International Symposium on Intelligent Manufacturing and Service Systems*, Singapore, 769-782. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-99-6062-0_74
- Kuşakcı, A. O., Ayvaz, B., Cin, E., & Aydın, N. (2019). Optimization of reverse logistics network of End of Life Vehicles under fuzzy supply: A case study for Istanbul Metropolitan Area. *Journal of cleaner production*, 215, 1036-1051. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.090>
- Liao, G. H. W., & Luo, X. (2022). Collaborative reverse logistics network for electric vehicle batteries management from sustainable perspective. *Journal of Environmental Management*, 324, 116352. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116352>
- Mahmoudzadeh, M., Mansour, S., & Karimi, B. (2013). To develop a third-party reverse logistics network for end-of-life vehicles in Iran. *Resources, Conservation and Recycling*, 78, 1-14. doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.06.006>
- Mansour S., & Zarei M. (2008) A multi-period reverse logistics optimisation model for end-of-life vehicles recovery based on EU Directive. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 21(7),764-777. doi: <https://doi.org/10.1080/09511920701685325>
- Merkisz-Guranowska, A. (2011). End-of-life vehicles recycling network design. *Journal of KONES*, 18, 261-268. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/266464034_End-of-life_Vehicle_Recycling_Network_Design
- Phuc, P. N. K., Vincent, F. Y., & Tsao, Y. C. (2017). Optimizing fuzzy reverse supply chain for end-of-life vehicles. *Computers & Industrial Engineering*, 113, 757-765. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.11.007>

- Reddy, K. N., Kumar, A., Choudhary, A., & Cheng, T. E. (2022). Multi-period green reverse logistics network design: An improved Benders-decomposition-based heuristic approach. *European Journal of Operational Research*, 303(2), 735-752. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022.03.014>
- Resmî Gazete. (2009, Aralık). Atık yönetimi genel esaslarına ilişkin yönetmelik. Retrieved from: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2009/12/20091230-5.htm>
- Roudbari, E. S., Ghomi, S. F., & Sajadieh, M. S. (2021). Reverse logistics network design for product reuse, remanufacturing, recycling and refurbishing under uncertainty. *Journal of manufacturing systems*, 60, 473-486. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.06.012>
- Shankar, R., Bhattacharyya, S., & Choudhary, A. (2018). A decision model for a strategic closed-loop supply chain to reclaim end-of-life vehicles. *International Journal of Production Economics*, 195, 273-286. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.10.005>
- Simic, V. (2015). A two-stage interval-stochastic programming model for planning end-of-life vehicles allocation under uncertainty. *Resources, Conservation and Recycling*, 98, 19-29. doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.03.005>
- T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (n.d.). Çevrimiçi çevre izin ve lisans portalı. Retrieved from: <https://eizin.cevre.gov.tr/Rapor/BelgeArama.aspx>
- Türkiye İstatistik Kurumu. (2022, Ocak). Motorlu kara taşıtları Aralık 2021. TÜİK. Retrieved from: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Motorlu-Kara-Tasitlari-Aralik-2021-45703>
- Türkiye İstatistik Kurumu. (2023, Ocak). Motorlu kara taşıtları Aralık 2022. TÜİK. Retrieved from: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Motorlu-Kara-Tasitlari-Aralik-2022-49436>
- Türkiye İstatistik Kurumu. (2024, Ocak). Motorlu kara taşıtları Aralık 2023. TÜİK. Retrieved from: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Motorlu-Kara-Tasitlari-Aralik-2023-49432>
- Zarei, M., Mansour, S., Husseinzadeh Kashan, A., & Karimi, B. (2010). Designing a Reverse Logistics Network for End-of-Life Vehicles Recovery. *Mathematical Problems in Engineering*, 2010(1), 649028. doi: <https://doi.org/10.1155/2010/649028>



Journal of Turkish Operations Management

Uzaktan çalışma modelleri bağlamında denizcilik sektörü çalışanlarına yönelik bir öncelik analizi

Faruk KÖSEOĞLU^{1*}, Kenan TOK², Umur BUCAK³

¹Yüksek Lisans Öğrencisi, Kocaeli Üniversitesi, Denizcilik İşletmeleri Yönetimi Bölümü, Kocaeli, Türkiye

faruk.koseoglu@hotmail.com, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-3529-9618>

*Sorumlu Yazar

²Yüksek Lisans Öğrencisi, Kocaeli Üniversitesi, Denizcilik İşletmeleri Yönetimi Bölümü, Kocaeli, Türkiye

kenantok25@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0009-0008-7497-8112>

³Doç. Dr., Kocaeli Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi, Kocaeli, Türkiye

umur.bucak@kocaeli.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0001-5112-8133>

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 23.07.2024

Düzeltilme: 24.03.2025

Kabul: 04.05.2025

Anahtar Kelimeler:

Uzaktan çalışma,
Denizcilik sektörü,
Çok Kriterli Karar Verme,
Öncelik analizi

Özet

Bu çalışmada, uzaktan çalışma modelleri bağlamında denizcilik sektörü çalışanlarına yönelik bir öncelik analizi yapılmıştır. Araştırmada yerli literatürden faydalanılarak uzaktan çalışma modelleri ile ilgili genel bilgi ve tanımlara ulaşılmış olup araştırmanın ana ve alt kriterleri belirlenmiştir. Belirlenen ana ve alt kriterler anket formu kullanılarak alanında uzman otuz denizcilik sektörü çalışanı tarafından değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden, Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (BAHS) tekniği kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışma kapsamında; farklı uzaktan çalışma modelleri (tamamen, kısmen, hibrit) altında çalışan bireylerin uzaktan çalışma modelinin denizciliksektöründeki bireysel ve toplumsal avantajları ve sakıncaları üzerindeki öncelik algıları karşılaştırılarak analiz edilmiştir. Bireysel avantajlar ve sakıncalar ana kriterleri altında beşer kriter, toplumsal avantajlar ve sakıncalar ana kriterleri altında ise üçer kriter araştırmaya dahil edilmiştir. Araştırmanın bulgularına göre; uzaktan çalışma modellerinin bireysel avantajlarına daha fazla odaklanıldığı görülmüştür.

A Priority Analysis of Maritime Sector Employees in the Context of Remote Working Models

Article Info

Article History:

Received: 23.07.2024

Revised: 24.03.2025

Accepted: 04.05.2025

Keywords:

Remote working,
Maritime sector,
Multi-Criteria Decision Making
Priority analysis

Abstract

In this study, a priority analysis was conducted for maritime sector employees in the context of teleworking models. In the research, general information and definitions about teleworking models were obtained by utilising the local literature and the main and sub-criteria of the research were determined. The main and sub-criteria were evaluated by thirty maritime sector employees who are experts in their fields using a questionnaire form. The data obtained were analysed using the Fuzzy Analytical Hierarchy Process (BAHS) technique, one of the Multi-Criteria Decision Making Maritime sector, (MCDM) methods. The objective of the present study was to compare and analyse the priority perceptions of individuals working under different teleworking models (fully, partially, or hybrid) in order to identify the individual and social advantages and disadvantages of teleworking in the maritime sector. Five criteria each under the main criteria of individual advantages and disadvantages and three criteria each under the main criteria of social advantages and disadvantages were included in the research. According to the findings of the study; it is seen that the individual advantages of teleworking models are more focussed.

1. Giriş

Uzaktan çalışma modelleri, uzun yıllardır kullanılmasına rağmen 2019 yılında tüm dünyayı etkisi altına alan Kovid-19 salgını sonrasında daha da yaygınlaşmıştır (Yiğit, 2021:313). Denizcilik sektörünün alt kolları olan gemi acenteleri, brokerlar, liman çalışanları da pandemi döneminde tamamen, kısmen veya hibrit uzaktan çalışma yöntemlerini uygulayarak faaliyetlerine devam etmiştir. Bu dönemde dijitalleşmenin sunduğu fırsatlar denizcilik iş kolunda hizmet üreten birçok işletme tarafından değerlendirilmiş ve uzaktan çalışma modellerinin sağladığı avantajlardan faydalanılmak istenmiştir.

Literatürde teknolojiye gelişmelerin (özellikle Endüstri 4.0 uygulamalarının) denizcilik iş gücü üzerindeki etkileri son yıllarda yoğunlukla çalışılmıştır. Przybyłowski vd. (2022) yaptıkları çalışmada, dijitalleşme ile denizcilik şirketlerinin yeni çalışma modellerine geçiş çabaları arasında bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur. Bu modeller ya uzaktan çalışmaya dayanmakta ya da geleneksel ve uzaktan çalışmayı birleştirmektedir. Yeni becerilerin edinilmesi ve denizcilik işgücü için yeni yetkinliklerin geliştirilmesinin yanı sıra, yeni teknolojiler insan kaynakları uygulamalarını da etkileyecektir (Kaptan, 2022). Dijitalleşmeyi teşvik eden kuruluşlardaki iklim ve liderlik boyutlarının çalışanların motivasyonunu etkilediği tespit edilmiştir. Li vd. (2022), dijitalleşme ve otomasyon bağlamında sağlıklı bir örgüt ikliminin, destekleyici iş arkadaşlarının ve özgün liderliğin bir araya gelmesinin denizcilerin psikolojik sermayesini artırdığını bulmuştur. Gupta vd. (2022) Hindistan lojistik sektörü bağlamında Endüstri 4.0 için insan gücü hazırlığını incelemiştir. Literatür taramasına dayanarak, yetenek oluşturmaya katkıda bulunan faktörleri tanımlamışlardır. İnsansız gemiler için yüksek vasıflı işgücüne olan talepte beklenen artış ışığında, “denizci (seafarer)” teriminin yerini, teknolojik araçlarla bir geminin operasyonlarını denetleyen bir bireyi ifade eden “e-farer” alacaktır (Jo vd., 2020). Yalnızca gemi organizasyonunda değil, denizcilik sektöründe iş gören farklı örgütlerde çalışanların geleneksel rollerinin dijitalleşmenin sarsıcı etkisi ile dönüşmesi muhtemeldir. Örneğin limanlarda çalışanların operasyonel rolü uygulamaktan çok denetlemeye doğru evrilmektedir. Theotokas vd. (2024) tarafından tespit edilen gözlem, literatürdeki yayınların ağırlıklı olarak denizcilik işgücü piyasasına odaklandığı ve gemicilikte dijitalleşmenin kıyı çalışanları üzerindeki etkisini inceleyen araştırmaların eksikliğidir. Literatürde görüldüğü üzere özellikle Endüstri 4.0 bağlamında denizci iş gücünün niteliksel evrimi oldukça önemlidir. Bu evrim tamamlandığında çalışma koşullarının da kökten değişeceği yadsınamaz bir gerçektir. Ancak keskin bir geçişten ziyade süreç içerisinde çalışma prensipleri bağlamında yapılacak değişiklikler çalışma çevresinin dijital dönüşümüne entegrasyonunu kolaylaştıracaktır. Bu noktada uzaktan çalışma modellerinin uygulanmasındaki zorlukların tespiti, verimliliği artırıcı yönde stratejilerin belirlenmesi gibi süreçler oldukça kıymetli olacaktır.

Uzaktan çalışmanın bireysel ve toplumsal avantajlarının yanı sıra sakıncaları da bulunmaktadır. Bireysel avantajlar olarak; özerklik veya bağımsızlık, esnek çalışma saatleri, zaman yönetiminde iyileştirme ve mesleki esneklik, seyahat masraflarında ve sürelerinde azalma, aile bireylerine ayrılan zamanda esneklik sıralanabilir. Bireysel sakıncalar ise aidiyet duygusunda bozulma, izolasyon, iş ve ev ortamı arasındaki ayrımın yok olması, öz disiplin ihtiyacı, profesyonel destek eksikliği olarak sıralanabilir (Mükellef & Çakmak, 2023). Uzaktan çalışmanın toplumsal açıdan avantajları; çevresel zararın azaltılması, trafik sıkışıklığında azalma, özel ihtiyaçları olan nüfus için çözüm olarak sıralanabilirken, toplumsal sakıncaları ise; bağı zayıflamış toplum yaratılması, enerji ve kaynakların daha fazla kullanılması ile sosyal etkileşim eksikliği olarak sıralanabilmektedir. Öte yandan, uzaktan çalışma modelinin uygulanmasıyla birlikte işletmelerde tespit edilen çalışanlara dair bireysel, toplumsal ve hatta örgütsel bazı sakıncalar ön plana çıkmıştır. Bireylerin iş yaşamında izole olması beraberinde toplumsal bağı zayıflatmakta ve bireylerin sosyal ihtiyaçlarının belli düzeyde karşılanamamasına sebebiyet vermektedir. Ayrıca örgüt içerisinde bağlılığın zayıflaması, örgüt kültürünün sektöre uğraması gibi durumlar ortaya çıkabilmektedir.

Przybyłowski vd. (2022), çalışanlardan uzaktan çalışmanın avantajları ve dezavantajları ile bu çalışma modelinin görevlerini yerine getirme şekilleri üzerindeki etkisi hakkındaki görüşlerini ifade etmelerini istemiş ve bu görüşleri analiz etmiştir. Juchnowicz ve Kinowska (2021) Kovid-19 döneminde uzaktan çalışanların sağlığı üzerine odaklanmışlar ve çalışanların refahının işyeri ilişkileri, sağlık ve iş-yaşam dengesini içerecek şekilde üç boyutta incelemişlerdir. Sonuçlara göre, sadece uzaktan çalışmanın işyeri ilişkileri ve iş-yaşam dengesi açısından iyi olma halini olumsuz etkilediği ortaya konulmuştur. Mazeas vd. (2023) makine bakımı operasyonunda uzaktan bulunma yeteneklerinin uygulanması yoluyla geleneksel makine alanı bakımının fizibilitesini değerlendirmek için ölçeklenebilir bir çerçeve sunmaktadır. Literatürde denizcilik alanında uzaktan çalışma modellerinin bireysel ve toplumsal avantaj ve dezavantajlarını kapsayacak şekilde başka bir çalışmanın bulunmaması, bu çalışmanın yapılması ihtiyacına sebep olmuş ve bu çalışma kapsamında uzaktan çalışma modelleri bireysel ve toplumsal açıdan incelenmiştir. Ayrıca Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (BAHS) yöntemiyle denizcilik sektöründe uzaktan çalışan tecrübeli uzmanların değerlendirmeleri analiz edilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde uzaktan çalışma modellerinin kavramsal çerçevesi sunulmuş, üçüncü bölümde çalışmada kullanılan yöntemler tanıtılmış, dördüncü bölümde çalışmanın uygulama adımları anlatılmış, beşinci bölümde gösterilen bulgular sonuç bölümünde yorumlanmıştır.

2. Kavramsal Çerçeve

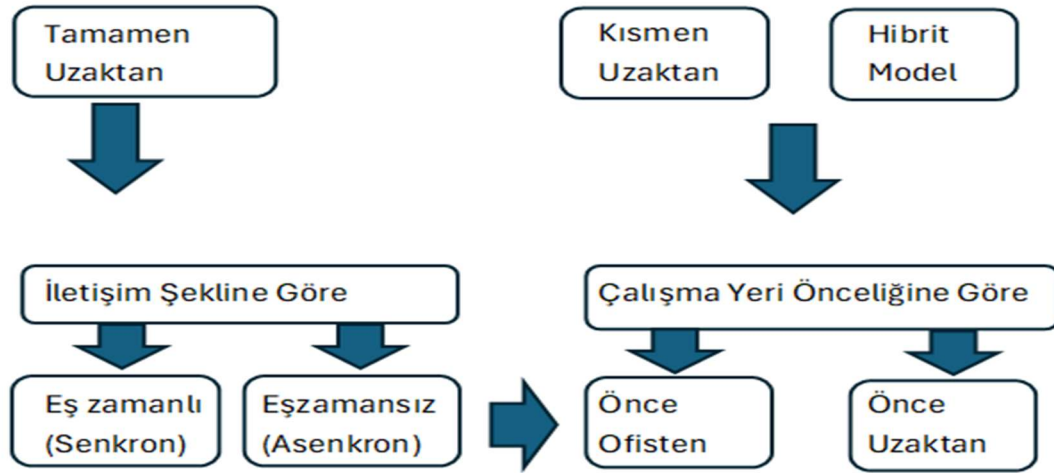
Yapılan literatür taramasında uzaktan çalışma ile ilgili genel kabul görmüş bir tanım veya terimin bulunmadığı tespit edilmiştir. Bazı tanımlarda ofis/bürodan uzakta çalışanları tanımlarken tele-bağlantı ile tele-çalışma gibi terimlerin birbirleri yerine kullanıldığı görülmüş, bazı tanımlamalarda ise uzaktan çalışma sadece evden çalışmak olarak nitelendirilmiştir. Uzaktan çalışma kavramı 1970’li yılların sonunda Alvin TOFFLER’in üçüncü dalga (The Third Wave) isimli kitabında yer alan “Elektronik Kulübe” fikri ile ortaya çıkmıştır. Bu fikir, insanların bilgi teknolojisi sayesinde evden veya istedikleri başka yerlerden çalışmasına izin verdiği modern iş yeri olarak tanımlanmaktadır. Günümüzde ise çalışanların çalışma şekillerine baktığımızda, Alvin TOFFLER’in 1970’li yılların sonunda ortaya koyduğu bu durumun gerçekleştiği görülmektedir (Yiğit, 2022:258-259).

Uzaktan çalışma terimini anlatmak için İngilizce makalelerde ‘telework’, ‘remote work’, ‘mobile work’, ‘telecommuting’, ‘distance working’, ‘remote job’, ‘flexible workplace’, ‘working from home’ ve ‘work from anywhere’ gibi farklı terimlerin kullanıldığı görülmektedir (Yılmaz, 2021; aktaran Mükellef, 2022). Bu durum literatürde uzaktan çalışmanın terimsel olarak genel kabul görmüş bir zemin bulamadığını gözler önüne sermektedir. Uzaktan çalışma modelinde uygulanan farklı uygulamalar (tamamen, kısmen, hibrit) terimsel olarak bir standartlaşmanın önüne geçmektedir. Hilbrecht vd. (2013:130) ise uzaktan çalışmayı; günlük iş yerine gidiş-geliş seyahatinin yerini, bilgi teknolojileri vasıtasıyla kısmen ya da tamamen ortadan kaldırmak olarak tanımlamaktadır. En basit ifade ile uzaktan çalışma; çalışanların/iş görenlerin alışlagelmiş ofis ortamı dışında işlerini yapabilmelerine imkân tanıyan çalışma sistemidir.

Ülkemizde 6715 sayılı kanun ile, 4857 sayılı kanunun 14. Maddesinin başlığının “çağrı üzerine çalışma ve uzaktan çalışma” olarak değiştirildiği görülmektedir. Böylece 4857 sayılı kanunda ilk kez uzaktan çalışma kavramına yer verilmiştir. Kanunda ise uzaktan çalışma; *“Uzaktan çalışma; işçinin, işveren tarafından oluşturulan iş organizasyonu kapsamında iş görme edimini evinde ya da teknolojik iletişim araçları ile işyeri dışında yerine getirmesi esasına dayalı ve yazılı olarak kurulan iş ilişkisidir”* şeklinde tanımlanmaktadır (Uzaktan Çalışma Yönetmeliği, 2021). Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı tarafından Mart 2021’de *‘Uzaktan Çalışma Yönetmeliği’* resmî gazetede yayımlanmıştır. Uzaktan çalışma uygulamalarına dair ‘çalışma mekânının düzenlenmesi’, ‘malzeme ve iş araçlarının temini ve kullanımı’, ‘üretim maliyetlerinin karşılanması’, ‘çalışma süresinin belirlenmesi’, ‘verilerin korunması’, ‘iş sağlığı ve güvenliğine ilişkin tedbirlerin alınması’ gibi hususlar ilgili yönetmelik kapsamında ele alınmıştır. Ayrıca, uzaktan çalışma modelinin uygulanamayacağı işler hususunda ise *“(1) Tehlikeli kimyasal madde ve radyoaktif maddelerle çalışma, bu maddelerin işlenmesi veya söz konusu maddelerin atıkları ile çalışma, biyolojik etkenlere maruz kalma riski bulunan çalışma işlemlerini içeren işlerde uzaktan çalışma yapılamaz. (2) Kamu kurum ve kuruluşlarınca ilgili mevzuatına göre hizmet alımı suretiyle gördürülen işler ile millî güvenlik açısından stratejik önemi haiz birim, proje, tesis veya hizmetlerden hangilerinde uzaktan çalışma yapılamayacağı birim, proje, tesis veya hizmetten sorumlu olan veya hizmeti alan kamu kurum ve kuruluşunca belirlenir.”* denilmiştir. Son olarak, ilgili yönetmelikte *“İş ilişkisi doğrudan uzaktan çalışma sözleşmesi ile kurulabilir veya hâlihazırda işyerinde çalışan işçinin iş sözleşmesi, işçinin ve işverenin anlaşması halinde, uzaktan çalışma sözleşmesine dönüştürülebilir.”* denilerek uzaktan çalışma modelinin uygulanmasında karşılıklı rızaya vurgu yapılmıştır.

Tüm dünyayı etkisi altına alan Kovid-19 pandemisi sürecinde meydana gelen kısıtlamalar sebebiyle neredeyse tüm mesleklerde uzaktan çalışma uygulamalarının zorunlu hale geldiği görülmektedir. Yapılan araştırmalarda uzaktan çalışmanın genellikle üç modelde gerçekleştiği görülmektedir. Bu modeller; tamamen uzaktan çalışma, kısmen uzaktan çalışma ve hibrit model olarak sıralanmakta olup, çalışma prensipleri şekil 1’de gösterilmiştir.

Şekil 1. Kovid-19 Salgını Sonrası Uzaktan Çalışma Modelleri



Kaynak: Çakmak ve Büyükyılmaz, 2021.

2. 1. Tamamen Uzaktan Çalışma Modeli

Bu modelde, işletmenin/kuruluşun genel manada bir ofisi yoktur ve bütün işletme çalışanları uzaktan çalışmaktadır (Achurch Consulting, 2020; aktaran Taştan, 2021). Tamamen uzaktan çalışma modelinde maliyetler minimize edilir. Bu modeli uygulamak oldukça zor olsa da bunu başarabilen işletmeler en iyi yeteneği elde etmede, daha iyi bir iş-yaşam dengesi sağlamada, üretkenlik kazanımlarında ve daha mutlu çalışanlar elde etmede avantaj sağlayabilirler (Taştan, 2021).

2. 1. 1. Eşzamanlı (Senkron) Tamamen Uzaktan Çalışma Modeli: Bu modelde işletmelerin çalışma saatleri belirlenmiş olup iki veya daha fazla kişi ile gerçek zamanlı etkileşim kurularak bilgi paylaşımı ve eşzamanlı toplantılar yapılabilmektedir (Remote-How.com, 2021; aktaran Taştan, 2021).

2. 1. 2. Eşzamansız (Asenkron) Tamamen Uzaktan Çalışma Modeli: Bu modelde belirlenmiş bir çalışma saati olmayıp dünya üzerinde herhangi bir yerden bu şekilde çalışmayı mümkün kılmaktadır (Remote-How.com, 2021; aktaran Taştan, 2021).

2. 2. Kısmen Uzaktan Çalışma Modeli

Bu modelde, işletme/kuruluş bir ofise sahip olup bu alanı çalışanları için bir otel işletmesi gibi kullanmaktadır. İşletmede çalışan hemen hemen tüm personel, yönetimin belirttiği gibi haftada birkaç gün uzaktan çalışır. Kuruluşların benimsediği bu modelde çalışanların tamamı eğitilmiş ve uzaktan çalışmaya hazır vaziyettedir (Achurch Consulting, 2021; aktaran Taştan, 2021). Çalışanlar, üzerinde çalışılan projeye bağlı olarak koordineli bir şekilde ofisi kullanabilirler.

2. 3. Hibrit Uzaktan Çalışma Modeli

Bu modelde, işletme/kuruluş çalışanlarının bazıları sürekli ofiste, bazıları ise sürekli uzaktan çalıştırılmaktadır. İşletme/kuruluşların bu farklı tipte çalışanla yürütmekte olduğu bu hibrit çalışma modelinde uzaktan çalışanların kendilerini dışlanmış ve imkanların daha düşük olduğu hissine kapılmaları olası olduğundan bu konuda yöneticilere daha çok iş düşmektedir (Taştan, 2021). Bu modelde işletmelerin günlük operasyonel maliyetleri azalırken, donanımsal yatırım maliyetleri artabilmektedir. Bu model ayrıca işletmeye bulunduğu konumun dışında kalan yetenekli personeli istihdam etme fırsatı sunabilmektedir. Uzaktan çalışan personel, örgütten soyutlanmış hissedebilir ve ofiste çalışanlarla aynı fırsatlara erişemeyebilirler. Ofiste çalışan personel ise uzaktan çalışan personelin çalışma şartlarını kıskanabilir. Bu çalışma modelinde örgütsel bağlılık, kurum kültürü, amaç birliği oluşturmak oldukça zorlu olabilmektedir.

2. 4. Kısmen Uzaktan ve Hibrit Uzaktan Çalışma Modellerinde Çalışma Yeri Önceliği Seçimi

Çalışma yeri önceliğine göre çalışma ikiye ayrılmakta olup bunlar ofis öncelikli çalışma ve uzaktan öncelikli çalışmadır.

2. 4. 1. Ofis Öncelikli Çalışma: Bu modelde çalışma zamanının çoğunluğu ofiste geçirilmektedir. Uzaktan çalışma için genellikle 16-24 saat arası bir süre belirlenmektedir. Bu çalışma modelinde çalışanların uzaktan çalıştıkları sürede şahsi ihtiyaçlarını giderme fırsatı bulabilmeleri ve bu sayede devamsızlıkta azalma sağlanması hem işletme/kuruluş hem de çalışanlar için esneklik/kolaylık sağlamaktadır. Bu çalışma modeli ayrıca Ofis Tabanlı, Uzaktan İzinli, Ara sıra evden çalışma, Uzaktan toleranslı, Uzaktan esneklikte ofis tabanlı olarak da adlandırılmaktadır (Achurh Consulting, 2021; aktaran Taştan, 2021).

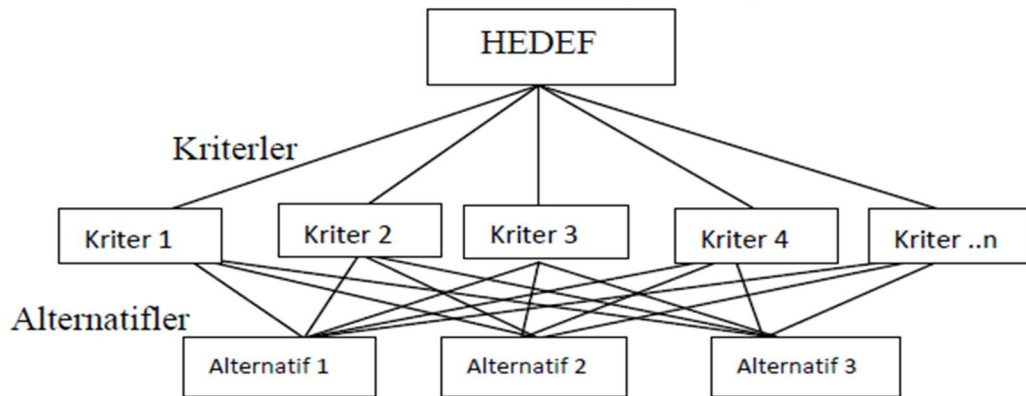
2. 4. 2. Uzaktan Öncelikli Çalışma: Bu çalışma modelinde çoğu çalışanlar uzaktan çalışırken çok az çalışan ise işletme/kuruluş gereksinimleri doğrultusunda işyerinde çalışmaktadır ve çalışanlar çoğu zamanını uzaktan çalışarak sürdürmektedir (Sowierszenko, 2020; aktaran Taştan, 2021).

3. Metodoloji

Çalışmada, ÇKKV yöntemlerinden BAHS tekniği kullanılmıştır. ÇKKV yöntemi, birden çok kriterin optimize edilerek mümkün olan çözüm şekilleri içinden en iyi alternatifin seçildiği yöntem olarak tanımlanabilir (Turan, 2018). Araştırma sonucunda elde edilen bilgilerin net olması durumunda klasik ÇKKV yöntemleri kullanılmakta olup eksik veya net olmayan bilgiler vasıtasıyla seçim yapmak için ise bulanık ÇKKV yöntemleri kullanılmaktadır (Dalbudak & Rençber, 2022). BAHS tekniği; her kriterin ikili karşılaştırması sonucunda elde edilen verilerin, üçgensel bulanık sayılar ile ifade edilebileceği gibi pisagor, çekimser, küresel, yamuksal olarak da ifade edilmesidir. BAHS tekniğinin en büyük avantajı, çoklu ölçütleri değerlendirirken kullanıcılara sağladığı kolaylıktır. BAHS tekniğinde algı tabanlı yargı aralıkları kullanılabilir. Ek olarak; AHS'deki tercihler, zorunlu olarak karar verenlerin algıya yönelik yargıları olmak durumundadır. Böyle durumlarda BAHS daha doğru karar verme süreci sağlayabilmektedir. (Pöyhönen vd., 1997).

BAHS, bulanık ilişkiyle birlikte ikili karşılaştırma kavramlarının kullanılmasıyla ortaya çıkmıştır. Bulanık dilsel ifadelerle karar mercilerinin olumlu/olumsuz tavırları hesaplanabildiğinden, BAHS geleneksel analitik hiyerarşi süreci tekniği yerine önerilmektedir (Kaplan, 2007). Şekil 2'de AHS yönteminin hiyerarşik yapısı ifade edilmiştir.

Şekil 2. AHS Yönteminin Hiyerarşik Yapısı



Kaynak: Saaty ve Vargas, 2001.

Şekil 2'de gösterildiği gibi AHS yönteminin ilk adımı, karar problemini daha küçük parçalara ayırarak hiyerarşik bir yapı oluşturmaktır. Bu yapı, karar vericinin odaklanması gereken temel bileşenleri belirler. Karar hiyerarşisinin en üst seviyesinde ana hedef bulunurken, bir alt seviyede kriterler ve en alt seviyede ise karar seçenekleri yer alır. Hiyerarşinin amacı, üst düzey öğelerin alt düzey öğeler üzerindeki etkilerini tahmin etmek ve bu sayede en uygun kararın verilmesine yardımcı olmaktır. Bu yaklaşım, karmaşık karar süreçlerini daha sistematik ve analiz edilebilir hale getirir (Şengül, vd., 2012).

BAHS yönteminde ikili karşılaştırmalar, ikinci temel adımı oluşturmaktadır. İkili karşılaştırma kavramı iki seçeneğin ya da kriterin birbirleri arasında karşılaştırılması anlamına gelmektedir. Karar vericinin yargısına da dayanmaktadır. İkili karşılaştırma sisteminde karar ölçütlerinin önemli ağırlıkları ve alternatiflerin ölçüt açısından öneminin ortaya çıkmasını sağlamaktadır. İkili karşılaştırma değerleri $n \times n$ boyutlarında bir matriste bulunur ve bu matris ikili karşılaştırmalar matrisi (reciprocal matrix) olarak tanımlanmakta olup, Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. İkili karşılaştırmalar matrisi

	Kriter 1	Kriter 2	Kriter n
Kriter 1	w_1/w_1	w_1/w_2	w_1/w_n
Kriter 2	w_2/w_1	w_2/w_2	w_2/w_n
Kriter n	w_n/w_1	w_n/w_2	w_n/w_n

Kaynak: Vargas, 1990.

Hiyerarşi n kadar kriter içermektedir; toplamda $n(n-1)/2$ adet ikili karşılaştırma yapılması gerekmektedir. İkili karşılaştırmalı matriste w_i/w_j değerleri elde edilmektedir. w_i/w_j ifadesi, i. kriterinin j. kriterinden ne kadar fazla önemli olduğunu belirtmektedir. Sonrasında yapılacak subjektif değerlendirmelerde, Tablo 2’de verilen değerlere göre ikili karşılaştırma matrisleri değerlerinin dilsel karşılıkları ortaya çıkmaktadır (Günden & Miran, 2008:196). Örneğin; yapılan bir matriste subjektif değerlendirme var ise yani 1. kriter 2. kriterden çok büyük oranda önemli ise $w_2/w_1 = 9$ olur. Objektif bir değerlendirme mevcut ise yani 1. kriterin değeri 25 br, 2. kriterin değeri ise 5 br ise w_1 ’in w_2 ’ye göre önemi $w_1/w_2 = 25/5 = 5$ olur. Bu da 1.kriterin 2.kriteriden 5 kat daha önemli olduğu ifade etmektedir.

Tablo 2. AHS karşılaştırma değerlerinin dilsel karşılıkları

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit önemli	İki kriterde eşit düzeyde önemlidir.
3	Orta derecede önemli	Tecrübe ve yargıya göre, bir kriter diğer kriterle göre biraz daha fazla önemli olursa.
5	Kuvvetli derecede önemli	Tecrübe ve yargıya göre, bir kriter diğer kriterden fazla önemli olursa.
7	Çok kuvvetli derecede önemli	Tecrübe ve yargıya göre, bir kriter diğer kriterden daha fazla önemli olursa.
9	Kesin önemli	Tecrübe ve yargıya göre, bir kriter diğer kriterden kesin önemli olursa.
2,4,6,8	Ortalama değerler	1,3,5,7 ve 9 da yer alan yargılar arasında uzlaşma gerektiğinde kullanılacak değerler.

Kaynak: Saaty ve Vargas, 2006.

Tablo 2’de yargılar, genellikle belirli bir sayıya karşılık gelen değerlere dayanır ve bu değerler açıkça belirtilmektedir. BAHS yönteminde, bu değerlerin yer aldığı matrisin ana vektör, kriterlerin göreceli önceliklerini belirler. Öncelikler vektör, her kriterin diğer kriterlere göre ne kadar önemli olduğunu gösteren bir ölçü olarak ortaya çıkmaktadır. Bu öncelikler, tutarlı bir şekilde çoğaltıldığında, tek bir doğru çözüm ortaya çıkmaktadır. Yani, kriterlerin toplamı belirli bir değere eşit olduğunda (genellikle 1’e), bu önceliklerin tüm hesaplamalarla tutarlı olduğu kabul edilir. Eğer öncelikler bire toplanarak sağlanırsa, bu durumda sayılar mutlak bir ölçüye sahiptir ve bu da kararların daha net ve anlaşılır olmasını sağlar. Bu sayede, kriterler arasındaki ilişkiler açıkça tanımlanmış olur (Saaty, 2006).

Tutarlılık, oluşturulan ikili karşılaştırmalar matrisinin sonucunda bulunan değerlerin birbiriyle olan mantıksal ve matematiksel ilişkisi olarak tanımlanmaktadır. Bir karşılaştırma matrisinin tutarlı bir değer ortaya çıkarması için en büyük öz değerinin (λ_{max}) matris boyutuna (n) eşit bir değerde olması gerekmektedir. Son adım için tutarlılık göstergesi ve tutarlılık oranının ortaya çıkarılması gerekmektedir. Bu oranların ortaya çıkması için aşağıdaki Denklem (1) ve Denklem (2) kullanılmaktadır.

$$\text{Tutarlılık Göstergesi} = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} \quad (1)$$

$$\text{Tutarlılık Oranı} = \frac{\text{Tutarlılık Göstergesi}}{\text{Rassallık Göstergesi}} \quad (2)$$

Rassallık göstergeleri en fazla 15 boyutlu matrisler için hesaplanabilmektedir. Kriter sayısının fazla olması durumunda tüm kriterler değerlendirildiğinde tutarlı bir sonuca ulaşma olasılığı azalacaktır (Güngör & İşler, 2005).

Tutarlılık oranı 0,1'den küçük ise matris sonucu ortaya çıkan değerlerin tutarlı olduğu kabul edilir (Şengül, vd., 2012).

BAHS, karar verenin belirsizliğini hesaplayabilmek için tam değer yerine bir aralıkta bulunan değerleri kullanmaktadır (Kahraman, 2008).

$X=\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ nesne kümesi ve $U=\{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ hedef kümesi olarak, Chang'in (1996) genişletme analiz yöntemine istinaden her bir nesne alınarak gi genişletme analizine göre hedef için genişletme analizi sırayla uygulanır. Genişletme analiz değerleri aşağıdaki değerler ile elde edilir.

$M_{gi}^1, M_{gi}^2, \dots, M_{gi}^m = 1, 2, \dots, n M_{gi}^j (j = 1, 2, \dots, m)$ Bu formül üçgensel bulanık sayıları temsil etmektedir. Genişletme analizi adımlarının tanımları aşağıdaki gibidir;

4. Adım: i. nesnesiyle alakalı bulanık sentetik değeri tanımı Denklem (3) ile hesaplanabilmektedir:

$$S_i \Sigma_{j=1}^m M_{gi}^j \oplus [\Sigma_{i=1}^n \Sigma_{j=1}^m M_{gi}^j] \quad (3)$$

Denklem 3'teki bu değeri elde etmek için, bir matris için m genişletme analiz değerleri bulanık toplama işlemi (Denklem(4)) yapılmaktadır.

$$\Sigma_{j=1}^m M_{gi}^j = (\Sigma_{j=1}^m l_i, \Sigma_{j=1}^m m_i, \Sigma_{j=1}^m u_i) \quad (4)$$

Denklem (4)'teki değeri ortaya çıkarmak için Denklem (5)'teki bulanık toplama işlemi yapılmaktadır.

$$\Sigma_{i=1}^n \Sigma_{j=1}^m M_{gi}^j = (\Sigma_{i=1}^n l_i, \Sigma_{i=1}^n m_i, \Sigma_{i=1}^n u_i) \quad (5)$$

Denklem (3)'teki vektörün tersi Denklem (6) aracılığıyla hesaplanır.

$$[\Sigma_{i=1}^n \Sigma_{j=1}^m M_{gi}^j]^{-1} = \left(\frac{1}{\Sigma_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\Sigma_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\Sigma_{i=1}^n l_i} \right) \quad (6)$$

5. Adım: $M_2 = (l_2, m_2, u_2) \geq M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ olasılığının derecesi:

$$V(M_2 \geq M_1) = \sup_{y \geq x} [\min(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y))] \quad (7)$$

olarak tanımlandıktan sonra aşağıdaki Denklem (8)'deki gibi bir eş değer ortaya çıkabilir.

$$V(M_2 \geq M_1) = hgt(M_2 \cap M_1) = \begin{cases} 1 & M_2 \geq M_1 \\ 0 & l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & \text{diğer} \end{cases} \quad (8)$$

d, μ_{m_1} and μ_{m_2} D'nin ordinatında ki en yüksek ara kesim noktasıdır.

$k \neq i; k = 1, 2, \dots, n$ için ağırlık vektörü Denklem (9)'daki formülle hesaplanır.

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n)) \quad (9)$$

6.Adım: Normalize ağırlık vektörü W bulanık olmayan sayıya göre Denklem (10)'daki gibidir (Söyler ve Yaraş, 2016).

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n)) \quad (10)$$

Tablo 3. BAHS bulanık sayı aralıkları değerleri

Saaty ölçeği	Bulanık AHS ölçeği	
	Üçgensel bulanık ölçek	Üçgensel bulanık karşıt ölçek
1	(1,1,1)	(1,1,1)
3	(2,3,4)	(1/4,1/3,1/2)
5	(4,5,6)	(1/6,1/5,1/4)
7	(6,7,8)	(1/8,1/7,1/6)
9	(9,9,9)	(1/9,1/9,1/9)
2	(1,2,3)	(1/3,1/2,1)
4	(3,4,5)	(1/5,1/4,1/3)
6	(5,6,7)	(1/7,1/6,1/6)
8	(7,8,9)	(1/9,1/8,1/7)

Kaynak: Söyler ve Yaraş, 2016.

Tablo 3'te görüleceği üzere, BAHS bulanık sayı aralık değerleri, karar vericilerden alınan oran ölçeği değeri, bir üyelik fonksiyonu olarak tanımlanan bulanık sayılara dönüşmektedir. Üyelik fonksiyonu, öncelik setindeki elemanların değerlerini belirler ve bu sayede belirsizliği ifade ettiği ortaya çıkmaktadır. Uzmanların bir konuda görüşlerini kesin sayılar yerine sözel değerlendirmelerle iletmeleri daha uygun olabilir; bu değerlendirmeler, üçgensel bulanık sayılar (Triangular Fuzzy Numbers - TFN) ile ifade edilir. TFN, (l, m, u) şeklinde gösterilir ve burada l, m, u sırasıyla mümkün en küçük değeri, en çok beklenen değeri ve mümkün en büyük değeri temsil eder. Bulanık AHS hesaplamalarında kullanılan üçgensel bulanık sayılar, karar verme süreçlerinde belirsizliği modellemek için etkin bir araç sunar (Alp ve Gündoğdu, 2012).

4. Uygulama

Araştırmanın bu bölümünde problemin tanımına, problemin çözümü başvurulacak kriterlere ve o kriterlerin tanımlarına ve son olarak araştırmanın veri toplama aracının uygulandığı uzmanlar hakkında uzmanlık derecelerini gösteren bilgilerine yer verilmiştir.

4. 1. Problemin Tanımı

Denizcilikte uzaktan çalışma modelinin uygulamadaki faydalarına ve zararlarına odaklanan bu çalışmada öncelikle uzaktan çalışma modelinin bireysel ve toplumsal avantajları ve sakıncaları üzerinde durulmuştur. Bu kapsamda; ulusal literatürden yararlanılarak elde edilen bulgulara göre uzaktan çalışma modelinin örgüt yapısı içerisindeki bireysel ve toplumsal avantajlar ve sakıncalar birer alt kriter olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu kriterler tanımlarıyla birlikte Tablo 4'te gösterilmiştir. Ardından bu kriterler üç farklı uzaktan çalışma modeli (tamamen, kısmen, hibrit olmak üzere) altında çalışan denizcilik sektörü çalışanlarına sorularak farklı uzaktan çalışma modellerindeki algısal farklılıklar analiz edilmeye çalışılmıştır. Son olarak, ana ve alt kriterlerin toplam ağırlıkları bulunarak denizcilik sektörü özelinde uzaktan çalışma modelini deneyimleyen çalışanların modele dair algıları yansıtılmaya çalışılmıştır. Tablo 4'te bulunan kriter ve alt kriterler Mükellef (2022) tarafından hazırlanan çalışmadan alıntılanmıştır.

Bu çalışmada kullanılan kriterlerin tek bir çalışmadan alınması ve denizcilik sektörüyle uyumlu olduğu varsayımıyla veri toplanması çalışmanın kısıtları arasında gösterilebilir. Ancak, uzaktan çalışma modellerinin denizcilik sektöründe uygulanması oldukça yenilikçi bir strateji olması sebebiyle uygulamanın denizcilik sektöründe ortaya çıkaracağı bireysel ve toplumsal avantaj ve sakıncaların ön görülmesi varsayımından öteye geçemeyecektir. Bu sebeple çalışmada literatürde var olan çıktılar kullanılmış, denizcilik sektörüne özgü çıkarımlar elde edilmesi hedeflenmiştir.

Tablo 4. Ana ve alt kriterler ve tanımları

Kriter	Tanım
<i>Bireysel Avantajlar</i>	
Özerklik veya bağımsızlık	Özgür ve üstünde baskı olmadan bir çalışma ortamının olmasıdır.
Esnek çalışma saatleri	Herhangi bir zamana bağlı kalmaksızın yapılacak işe odaklı çalışma biçimidir.
Zaman yönetiminde iyileştirme ve mesleki esneklik	Zamanı, uzaktan çalışma sistemi ile daha verimli hale getirmektedir. Bununla birlikte ofiste yapabileceği tüm işleri evden de yapabilmektedir.
Seyahat (işe-gidiş geliş) masraflarında ve sürelerinde azalma	Sürekli ofise giderken yaptığı harcamaların uzaktan çalışma ile tamamen ya da kısmen ortadan kalkmasıdır.
Aile bireylerine ayrılan zamanda esneklik	Evin ofis olarak kullanılmasıyla aile bireylerine daha fazla zaman ayrılabilir.
<i>Bireysel Sakıncalar</i>	
Aidiyet duygusunda bozulma	Uzaktan çalışma ile ofise ve unsurlarına (iş arkadaşları, örgüt kültürü vb.) olan bağlılığın azalmasıdır.
İzolasyon	Çalışanın evden çalışmasıyla sosyal hayatının sınırlandırılması ve insan etkileşiminin minimuma düşürülmesi
İş ve ev ortamı arasındaki ayrımın yok olması	Uzaktan çalışan personelin evini hem ofis hem de yaşama alanı olarak kullanması sonucunda iş yerindeki motivasyon, evdeki rahatlama hissinden mahrum kalmasıdır.

Öz disiplin ihtiyacı	Ofiste çalışan personelin yöneticileriyle beraber çalıştığı için disiplinli bir çalışma sistemleri vardır. Uzaktan çalışan ise kendi kendini disipline etmek durumundadır.
Profesyonel destek eksikliği	Herhangi bir problemde yöneticilerinden ya da profesyonel iş arkadaşlarından yüz yüze destek almak, uzaktan destek almaktan daha verimlidir.
Toplumsal Avantajlar	
Çevresel zararın azaltılması	Uzaktan çalışma ile enerji giderlerinin, hava kirliliğinin, doğaya verilen zararların minimuma indirilmesidir.
Trafik sıkışıklığında azalma	Uzaktan çalışma ile ulaşım araçlarının kullanılmaması trafik sorununun minimuma indirilmesine katkı verebilir.
Özel ihtiyaçları olan nüfus için çözüm	Özel ihtiyaçları bulunan dezavantajlı gruplara yönelik ofislere ek yatırım gerekmemesi istihdam sürecinde fırsat eşitliği getirmektedir.
Toplumsal Sakıncalar	
Bağı zayıflamış toplum yaratılması	Toplumdan tamamen izole edilmiş bir çalışma ortamında bireyler arasındaki bağın zayıflamasıdır.
Enerji ve kaynakların daha fazla kullanılması	Ofiste toplu olarak kullanılan enerji kaynaklarının evlerde her bir birey tarafından daha fazla kullanılması anlamına gelmektedir.
Sosyal etkileşim eksikliği	Dış bağlantılarla, çevresiyle iletişim becerilerinde azalmaya neden olmasıdır.

Yukarıda bulunan ana kriterler ve değişkenlerin yer aldığı anket, denizcilik sektöründe çalışan toplam otuz kişi üzerinde uygulanmıştır. Kocaeli Liman Bölgesinde yürütülen çalışma kapsamında liman işletmeleri ve gemi acenteleri arasından uzaktan çalışma prensiplerine uyan işletmeler değerlendirilmiştir. Bu bağlamda Tamamen, Kısmen ve Hibrit uzaktan çalışma prensipleri ile çalışan işletmelerden her biri için 10 kişinin yeterli bir temsil gücü olduğu karar verilmiştir. Bu sayede hem yanlış ifadelerin kontrol altında tutulabileceği hem de kriter ağırlıklarının birbirine yakınsamasının önlenilebileceği düşünülmektedir. Anket formu olarak düzenlenen veri toplama aracı tamamen uzaktan çalışanları temsilen on liman planlama personeli, kısmen uzaktan çalışanları temsilen on gemi acente personeli, hibrit uzaktan çalışanları temsilen limanlarda çalışan 4 adet Sağlık, Emniyet, Çevre personeli, 1 adet teknik personel ve 5 adet satış/pazarlama personeli olmak üzere 10 kişi tarafından cevaplanmıştır. Elde edilen veriler yukarıda formülleri bulunan BAHS yöntemi ile analiz edilerek çözümlenmiştir. Bu çalışma, denizcilik sektöründe uzaktan çalışma modeli ile çalışan personellerin bireysel ve toplumsal hayatlarına ne tür etkilerinin olduğunu araştırmak amacıyla yapılmıştır.

4. 2. Uzmanların Tanıtılması

Çalışma kapsamında belirlenen uzaktan çalışma modelinin bireysel ve toplumsal avantaj ve sakıncaları üzerine denizcilik sektöründe uzaktan çalışan personellerin algıları ölçülmek istenmiştir. Bu kapsamda; tamamen uzaktan çalışan ‘Liman Planlama Uzmanları’, kısmen uzaktan çalışan ‘Gemi Acente Personelleri’, hibrit olarak limanlarda uzaktan çalışan ‘Sağlık, Emniyet, Çevre Personelleri’, ‘Liman Maliyet Kontrol Uzman Yardımcısı’ ve ‘Satış Pazarlama Personelleri’ uzman olarak çalışmaya katkı vermişlerdir. Uzmanların tecrübeleri ortalama 7,97 yıldır. Uzmanların çalıştıkları kuruma özgü uygulamaların algılarına olan etkisini minimize etmek üzere uzman grubu 9 farklı firmadan seçilmiştir. Bu 9 farklı firmaların 5’i liman, 4’ü de gemi acente sektöründen tercih edilmiştir. Tek bir firma seçilerek yapılan analiz, o firmanın özgün özelliklerine, koşullarına odak olarak değerlendirme yapılacağından dolayı geniş stratejilerden yoksun kalabilmektedir. Farklı firmalarla beraber yapılan analiz ise geniş bir veri seti sunarak, sektördeki farklı bilgi ve görüşler ile daha kapsamlı ve etkin bir sonuç ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Farklı firmalardan analizler yapılmış olup uzmanların profil bilgileri Tablo 5’te verilmiştir.

Çalışmanın örnekleminde yer alan uzmanlardan ‘Liman Planlama Uzmanı’ olarak çalışanlar limanlardaki ofisleri kullanmadan çalışmaktadır. İlgili uzmanlar, evlerinde kurulan bilgisayar bağlantısı aracılığıyla gemilerin üzerindeki yüklerin notasyonlarını planlamaktadır. Bu sayede ilgili liman planlama uzmanlarının çalıştıkları limanın bulunduğu konumda olmalarına gerek duyulmamaktadır. Bunun ötesinde Türkiye dışındaki ülkelerde de terminal işleten bu liman işletmelerinin planlama işleri de Türkiye’de çalışan liman planlama uzmanlarınca yapılabilmektedir. Bu durum liman işletmesi açısından hem kalifiye iş gücüne erişim noktasında lokasyon kısıtlılığını ortadan kaldırmakta hem de ülkeler arası ücret ölçeği farklılığı göz önünde bulundurulduğunda iş gücü maliyetini minimize etmektedir. Çalışmada görüşlerine başvuru uzmanlardan ‘Gemi Acente Personeli’ kısmen uzaktan çalışmaktadır. Buna göre çalışanlar düzenli saat aralıklarında ofis kullanmamakta, bunun yerine temsilcisi oldukları gemi temsilci olarak atandıkları limana geldiğinde ya limanda operasyonları takip etmekte ya da gemi ile ilgili evrak işleri için ofisi kısıtlı bir vakitte kullanabilmektedir. Bunun dışında ofis kullanılmamakta, çalışanlar günlük işlerini yapabilmektedirler. Son olarak, çalışmanın örnekleminde yer alan ve limanlarda hibrit bir şekilde

çalışanlar ise daha önce belirlenen haftanın belli günlerinde dönüşümlü olarak limandaki ofis alanlarını kullanmaktadırlar. Bunun dışındaki günlerde evlerinden bilgisayarlar aracılığıyla toplantılara katılmakta ve işlerini yürütebilmektedir.

Tablo 5. Uzmanların profil bilgileri

Uzman No.	Tecrübe (yıl)	Mesleği	Firma	Uzaktan Çalışma Tipi
Uzman-1	4	Liman Planlama Uzmanı	A Limanı	Tamamen Uzaktan
Uzman-2	1	Liman Planlama Uzmanı	A Limanı	Tamamen Uzaktan
Uzman-3	1	Liman Planlama Uzmanı	A Limanı	Tamamen Uzaktan
Uzman-4	1	Liman Planlama Uzmanı	A Limanı	Tamamen Uzaktan
Uzman-5	2	Liman Planlama Uzmanı	A Limanı	Tamamen Uzaktan
Uzman-6	11	Liman Planlama Uzmanı	A Limanı	Tamamen Uzaktan
Uzman-7	4	Liman Planlama Uzmanı	A Limanı	Tamamen Uzaktan
Uzman-8	8	Liman Planlama Uzmanı	A Limanı	Tamamen Uzaktan
Uzman-9	1	Liman Planlama Uzmanı	A Limanı	Tamamen Uzaktan
Uzman-10	15	Liman Planlama Uzmanı	A Limanı	Tamamen Uzaktan
Uzman-11	24	Gemi Acente Personeli	A Acentesi	Kısmen Uzaktan
Uzman-12	22	Gemi Acente Personeli	B Acentesi	Kısmen Uzaktan
Uzman-13	4	Gemi Acente Personeli	D Acentesi	Kısmen Uzaktan
Uzman-14	4	Gemi Acente Personeli	D Acentesi	Kısmen Uzaktan
Uzman-15	22	Gemi Acente Personeli	C Acentesi	Kısmen Uzaktan
Uzman-16	15	Gemi Acente Personeli	C Acentesi	Kısmen Uzaktan
Uzman-17	1,5	Gemi Acente Personeli	D Acentesi	Kısmen Uzaktan
Uzman-18	17	Gemi Acente Personeli	A Acentesi	Kısmen Uzaktan
Uzman-19	23	Gemi Acente Personeli	B Acentesi	Kısmen Uzaktan
Uzman-20	14	Gemi Acente Personeli	D Acentesi	Kısmen Uzaktan
Uzman-21	10	Liman Sağlık, Emniyet, Çevre Yöneticisi	B Limanı	Hibrit
Uzman-22	1,5	Liman Sağlık, Emniyet, Çevre Uzmanı	B Limanı	Hibrit
Uzman-23	5,5	Liman Sağlık, Emniyet, Çevre Yöneticisi	C Limanı	Hibrit
Uzman-24	1	Liman Sağlık, Emniyet, Çevre Personeli	B Limanı	Hibrit
Uzman-25	7	Liman Satış Pazarlama Yöneticisi	C Limanı	Hibrit
Uzman-26	2	Liman Satış Pazarlama Uzmanı	D Limanı	Hibrit
Uzman-27	3,5	Liman Satış Pazarlama Yöneticisi	B Limanı	Hibrit
Uzman-28	2,5	Liman Satış Pazarlama Uzmanı	D Limanı	Hibrit
Uzman-29	3	Liman Satış Pazarlama Yöneticisi	C Limanı	Hibrit
Uzman-30	4,5	Liman Maliyet Kontrol Uzman Yardımcısı	E Limanı	Hibrit

5. Bulgular

Yapılan analizin sürecini aktarmak amacıyla Uzman-18'in ana kriterler üzerine yapmış olduğu değerlendirmeler sunulmuş ve analiz aşamaları gösterilmiştir. Tablo 6'da Uzman-18'in ana kriterlere yönelik yaptığı ikili karşılaştırmalar matris şeklinde gösterilmiştir. Tablo 7'de normalizasyon işlemi sonrası her bir ana kritere ait 'l, m, u' değerleri gösterilmiştir. Tablo 7'de ayrıca 'l, m, u' değerlerinin geometrik ortalamasının alınmasıyla elde edilen durulaştırılmış kriter ağırlıkları gösterilmiştir.

Tablo 6. Uzman-18'e Ait İkili Karşılaştırma Matrisi

ANA KRİTER	CR1			CR2			CR3			CR4		
CR1	1	1	1	4	5	6	4	5	6	1/3	1/2	1
CR2	1/6	1/5	1/4	1	1	1	1	2	3	1/6	1/5	1/4
CR3	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	1	1	1	1/4	1/3	1/2
CR4	1	2	3	4	5	6	2	3	4	1	1	1

Tablo 7. Normalizasyon ve Durulaştırma İşlemleri Sonrası Ana Kriterlere Ait Değerler

ANA KRİTER	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	Durulaştırılmış Ağırlık
CR1	0,38	0,36	0,37	0,37247
CR2	0,10	0,10	0,10	0,10179
CR3	0,09	0,08	0,09	0,08635
CR4	0,43	0,45	0,44	0,43907

Uzaktan çalışma modelinin bireysel ve toplumsal avantaj ve sakıncalarının analiz edildiği bu çalışmada, ilgili avantaj ve sakıncalar birer kriter olarak ele alınmış ve benzer kriterler ana kriterler altında gruplandırılmıştır. Seçilen uzmanlar tarafından yapılan değerlendirmelerin tutarlılık analizi gerçekleştirilmiş ve tutarlılık analizi sonuçları Tablo 8'de sunulmuştur. Ardından, çalışma kapsamında seçilen uzmanlar tarafından ana kriterlerin birbirlerine göre öncelik algıları, alt kriterlerin kendi ana kriteri altındaki ve genel ağırlıkları tespit edilmiştir. Ayrıca, farklı uzaktan çalışma modelleri (tamamen, kısmen, hibrit) altında çalışan denizcilik sektörü çalışanlarına göre ana ve alt kriterlerin farklılaşan algısal ağırlıkları tespit edilmiştir. Yapılan analiz sonuçları Tablo 9'da gösterilmiştir.

Tablo 8. Tutarlılık Analizi Sonuçları

Uzman	Ana Kriterlere dair karşılaştırma		Bireysel Avantajlara dair karşılaştırma		Bireysel Sakıncalara dair karşılaştırma		Toplumsal Avantajlara dair karşılaştırma		Toplumsal Sakıncalara dair karşılaştırma	
	CI*	CR**	CI	CR	CI	CR	CI	CR	CI	CR
Uzman-1	4,09	0,03	5,23	0,05	5,26	0,06	3,09	0,08	3,10	0,08
Uzman-2	4,21	0,08	5,20	0,04	5,10	0,02	3,01	0,01	3,00	0,00
Uzman-3	4,13	0,05	5,02	0,01	5,13	0,03	3,10	0,08	3,09	0,08
Uzman-4	4,15	0,05	5,15	0,03	5,14	0,03	3,05	0,05	3,00	0,00
Uzman-5	4,07	0,02	5,36	0,08	5,20	0,04	3,05	0,05	3,03	0,03

Uzman-6	4,18	0,07	5,21	0,05	5,18	0,04	3,08	0,07	3,05	0,05
Uzman-7	4,11	0,04	5,28	0,06	5,32	0,07	3,00	0,00	3,08	0,07
Uzman-8	4,22	0,08	5,28	0,06	5,34	0,08	3,05	0,05	3,07	0,06
Uzman-9	4,15	0,06	5,22	0,05	5,21	0,05	3,00	0,00	3,05	0,05
Uzman-10	4,05	0,02	5,30	0,07	5,05	0,01	3,10	0,09	3,09	0,07
Uzman-11	4,18	0,07	5,15	0,03	5,36	0,08	3,05	0,05	3,10	0,09
Uzman-12	4,23	0,09	5,18	0,04	5,40	0,09	3,09	0,08	3,10	0,09
Uzman-13	4,22	0,08	5,10	0,02	5,30	0,07	3,10	0,09	3,05	0,05
Uzman-14	4,22	0,08	5,10	0,02	5,30	0,07	3,03	0,03	3,05	0,05
Uzman-15	4,26	0,09	5,14	0,03	5,41	0,09	3,00	0,00	3,05	0,05
Uzman-16	4,16	0,06	5,36	0,08	5,11	0,02	3,09	0,08	3,07	0,06
Uzman-17	4,12	0,05	5,25	0,06	5,11	0,02	3,05	0,05	3,08	0,07
Uzman-18	4,25	0,09	5,13	0,03	5,16	0,04	3,10	0,09	3,00	0,00
Uzman-19	4,20	0,08	5,27	0,06	5,06	0,01	3,03	0,03	3,05	0,05
Uzman-20	4,17	0,06	5,27	0,06	5,11	0,03	3,09	0,08	3,05	0,05
Uzman-21	4,20	0,07	5,37	0,08	5,11	0,02	3,00	0,00	3,05	0,05
Uzman-22	4,22	0,08	5,39	0,09	5,19	0,04	3,07	0,06	3,00	0,00
Uzman-23	4,25	0,09	5,40	0,09	5,23	0,05	3,00	0,00	3,00	0,00
Uzman-24	4,18	0,07	5,17	0,04	5,27	0,06	3,01	0,01	3,11	0,09
Uzman-25	4,25	0,09	5,21	0,05	5,42	0,09	3,00	0,00	3,03	0,03
Uzman-26	4,07	0,02	5,42	0,09	5,33	0,07	3,04	0,03	3,01	0,01
Uzman-27	4,25	0,09	5,29	0,06	5,09	0,02	3,01	0,01	3,05	0,05
Uzman-28	4,19	0,07	5,28	0,06	5,09	0,02	3,10	0,08	3,04	0,03
Uzman-29	4,12	0,04	5,17	0,04	5,14	0,03	3,09	0,07	3,01	0,01
Uzman-30	4,07	0,03	5,19	0,04	5,39	0,09	3,02	0,02	3,03	0,03

*CI: Tutarlılık Göstergesi (consistency index)

**CR: Tutarlılık Oranı (consistency ratio)

Tablo 9. Bulgular

KRİTERLER	TAMAMEN UZAKTAN ÇALIŞANLAR	KISMEN UZAKTAN ÇALIŞANLAR	HİBRİT ÇALIŞANLAR	YEREL AĞIRLIK	GLOBAL AĞIRLIK	SIRA
BİREYSEL AVANTAJLAR	0,44955	0,49757	0,33993	0,43338		1
Özerklik veya Bağımsızlık	0,15943	0,18545	0,15985	0,17098	0,37050	4
Esnek Çalışma Saatleri	0,20764	0,12844	0,15091	0,16208	0,35121	5
Zaman Yönetiminde İyileştirme ve Mesleki Esneklik	0,22942	0,38167	0,22534	0,27532	0,59659	1

Seyahat Masraflarında ve Sürelerinde Azalma	0,17194	0,13667	0,22526	0,17757	0,38478	3
Aile Bireylerine Ayrılan Zamanda Esneklik	0,23157	0,16777	0,23864	0,21406	0,46385	2
BİREYSEL SAKINCALAR	0,27082	0,14427	0,10755	0,17098		4
Aidiyet Duygusunda Bozulma	0,12509	0,15213	0,34363	0,20798	0,17780	12
İzolasyon	0,16805	0,21360	0,13775	0,17322	0,14809	15
İş ve Ev Ortamı Arasındaki Ayrımın Yok Olması	0,24355	0,32105	0,19104	0,25153	0,21503	7
Öz Disiplin İhtiyacı	0,22688	0,13530	0,16363	0,17635	0,15076	14
Profesyonel Destek Eksikliği	0,23643	0,17792	0,16395	0,19091	0,16321	13
TOPLUMSAL AVANTAJLAR	0,16664	0,18749	0,25528	0,20757		2
Çevresel Zararın Azaltılması	0,32996	0,40655	0,37277	0,37207	0,23169	6
Trafik Sıkışıklığında Azalma	0,36484	0,29557	0,24091	0,29956	0,18654	11
Özel İhtiyaçları Olan Nüfus İçin Çözüm	0,30520	0,29786	0,38630	0,32837	0,20448	10
TOPLUMSAL SAKINCALAR	0,11298	0,17068	0,29724	0,18807		3
Bağı Zayıflamış Toplum Yaratılması	0,21797	0,17856	0,38773	0,25951	0,14642	16
Enerji ve Kaynakların Daha Fazla Kullanılması	0,39526	0,43815	0,28154	0,37004	0,20878	9
Sosyal Etkileşim Eksikliği	0,38678	0,38328	0,33071	0,37046	0,20902	8

Tablo 8 incelendiğinde, öncelikle ana kriterler arasındaki değerlendirmeler ön plana çıkmaktadır. Buna göre, ana kriterler arasında olan bireysel avantajlar 0,43338 toplam skoru ile algısal olarak en öncelikli ana kriter olarak görülmüştür. Bireysel avantajlar ana kriteri tamamen uzaktan çalışanlara göre 0,44955, kısmen uzaktan çalışanlara göre 0,49757, hibrit olarak uzaktan çalışanlara göre ise 0,33993 skor ile en öncelikli ana kriter olarak seçilmiştir. Bu noktada çalışma kapsamında seçilen ve farklı uzaktan çalışma modelleri altında çalışan uzmanların en öncelikli ana kriter üzerine ortak görüşünün bireysel avantajlar olduğu yönündedir.

‘Bireysel Avantajlar’ ana kriteri altındaki alt kriterlere ait analiz sonuçlarına göre ‘Zaman Yönetiminde İyileştirme ve Mesleki Esneklik’ alt kriteri 0,27532 skoru ile en öncelikli alt kriter olarak görülmüştür. Tamamen uzaktan çalışanlar ve hibrit olarak uzaktan çalışanların en öncelikli alt kriter olarak ‘Aile Bireylerine Ayrılan Zamanda Esneklik’ alt kriterini seçmelerine rağmen, kısmen uzaktan çalışanların 0,38167 gibi yüksek bir skorla ‘Zaman Yönetiminde İyileştirme ve Mesleki Esneklik’ alt kriterini öncelikli görmeleri sebebiyle genel toplamda ilgili kriter en öncelikli alt kriter olmuştur.

‘Bireysel Sakıncalar’ ana kriterine dahil olan alt kriterlere dair yapılan analiz sonuçları göstermektedir ki en öncelikli kriter olarak 0,25153 değeri ile ‘İş ve Ev Ortamı Arasındaki Ayrımın Yok Olması’ görülmüştür. Tamamen uzaktan ve kısmen uzaktan çalışanlar bu kriteri en öncelikli kriter olarak görürken, hibrit çalışanların ‘Aidiyet Duygusunda Bozulma’ alt kriterini en öncelikli alt kriter olarak algıladıkları ortaya konulmuştur.

‘Toplumsal Avantajlar’ ana kriteri kapsamında değerlendirilen alt kriterler için yapılan analiz sonuçlarına göre 0,37207 değeri ile ‘Çevresel Zararın Azaltılması’ en öncelikli kriter olarak görülmüştür. Bu ana kritere dair yapılan değerlendirmeler göstermektedir ki farklı çalışma biçimlerine sahip uzaktan çalışanların bu ana kriter altındaki alt kriterlere dair öncelik algıları birbirinden farklılaşmaktadır. Tamamen uzaktan çalışanlara göre en öncelikli alt kriter ‘Trafik Sıkışıklığında Azalma’ iken, kısmen uzaktan çalışanlara göre ‘Çevresel Zararın Azaltılması’ ve hibrit olarak uzaktan çalışanlara göre ise ‘Özel İhtiyaçları Olan Nüfus İçin Çözüm’ olmuştur.

‘Toplumsal Sakıncalar’ ana kriteri altındaki alt kriterlere dair yapılan değerlendirmelere bakıldığında küçük bir farkla da olsa ‘Sosyal Etkileşim Eksikliği’ 0,37046 değeri ile en öncelikli alt kriter olarak görülmüştür. İlginç olan ise ilgili alt kriter spesifik olarak bakıldığında hiçbir uzaktan çalışan grubuna göre en öncelikli alt kriter değildir. Tamamen ve kısmen uzaktan çalışanlara göre ‘Enerji ve Kaynakların Daha Fazla Kullanılması’ en öncelikli toplumsal sakınca olarak görülürken, hibrit olarak uzaktan çalışanlara göre ‘Bağı Zayıflamış Toplum Yaratılması’ en öncelikli toplumsal sakınca olarak görülmüştür.

Son olarak, alt kriterlerin ana kriterleri altındaki ikili karşılaştırmalarının ötesinde genel ağırlıkları da incelenmiştir. Alt kriterlerin genel ortalaması hesaplanırken her bir ana kriter ağırlığı kendi alt kriterlerinin ağırlıkları ile çarpıldıktan sonra, yine kendi alt kriter sayılarının toplamı ile de çarpılarak, daha az sayıda alt kriterle bir ana kriter altında kümelenen alt kriterlerin avantajlı olması durumunun önüne geçilmiştir. Bunun sonucunda ‘Bireysel Avantajlar’ ana kriterinin ağırlık avantajıyla ‘Zaman Yönetiminde İyileştirme ve Mesleki Esneklik (0,59659)’, ‘Aile Bireylerine Ayrılan Zamanda Esneklik (0,46385)’ ve ‘Seyahat Masraflarında ve Sürelerinde Azalma (0,38478)’ sırasıyla en öncelikli ilk üç alt kriter olmuştur.

6. Sonuç ve Tartışma

Uzaktan çalışma modelinin maliyetleri azalttığı, belirli iş grupları için verimliliği artırdığı görüşleri ışığında, son yıllarda dijitalleşmenin gelişmesi ve pandemi dönemindeki mesafe önlemleri sonucunda iş dünyasında uzaktan çalışma uygulamaları yaygınlaşmıştır. Bununla beraber, farklı iş grupları için farklı uzaktan çalışma modelleri uygulanmaya başlamıştır. Denizcilik sektöründe de tamamen, kısmen ve hibrit uzaktan çalışma modellerinin uygulandığı bazı iş grupları tespit edilmiştir. Bu çalışmada, öncelikle uzaktan çalışma uygulamalarının denizcilik sektörü üzerindeki etkisi tespit edilmiş, ardından da farklı çalışma modellerindeki uzaktan çalışma uygulamalarına yönelik algısal farklılık analiz edilmiştir.

Çalışma bulguları göstermektedir ki uzaktan çalışma uygulamalarının çalışanlar açısından bireysel avantajları daha baskındır. Özellikle tamamen ve kısmen uzaktan çalışanlar açısından uzaktan çalışma uygulamalarının bireysel avantajları bireysel ve toplumsal sakıncalar ve toplumsal avantajlara göre çok daha önceliklidir. Denizcilik sektöründe uzaktan çalışanların bu uygulamaları bireysel olarak kendileri açısından avantajlı olarak görmesi örgütsel olarak verimli bir çalışma ortamının oluşmasına zemin hazırlamaktadır. Bu noktada özellikle motivasyon gereçlerinin doğru kullanılması durumunda uzaktan çalışma uygulamalarının örgütsel bağlılığa, performansa, kültür oluşmasına, vb. olumlu etkileri olabileceği ön görülmektedir.

Uzaktan çalışma uygulamalarının etkileri açısından yapılan değerlendirmede en öncelikli kriterler sırasıyla ‘Zaman Yönetiminde İyileştirme ve Mesleki Esneklik’, ‘Aile Bireylerine Ayrılan Zamanda Esneklik’ ve ‘Seyahat Masraflarında ve Sürelerinde Azalma’ olarak belirlenmiştir. Buna göre denizcilik sektöründe uzaktan çalışanlar açısından zamanın etkin kullanımının çok değerli olduğu görülmektedir. Bunun en önemli sebeplerinden biri olarak denizcilik sektörünün 7/24 çalışılan bir sektör olması ve uluslararası bir iş olması sebebiyle saat farklarından dolayı mesai kavramının çok gelişmemiş olması gösterilebilir. Pandemi döneminde dahi limanların sürekli açık olduğu denizcilik sektöründe çalışanlar özel izinle sokağa çıkma yasaklarından muaf tutulmuştu. Pandemi döneminden bu yana dünya ticaretindeki dalgalanmalar sebebiyle yoğun çalışan denizcilik sektörü çalışanları için uzaktan çalışma uygulamaları aile bireylerinin ihtiyaçlarını (hastane ve okul işleri, alışveriş, vb.) giderebilmek açısından bir fırsat olarak da görülebilmektedir.

Son olarak, farklı uzaktan çalışma modelleri altında çalışanlar açısından kriterler üzerinde algısal farklılık olduğu tespit edilmiştir. Örneğin, ‘Toplumsal Avantajlar’ ana kriteri kapsamında, tamamen uzaktan çalışanlara göre en öncelikli alt kriter ‘Trafik Sıkışıklığında Azalma’ iken, kısmen uzaktan çalışanlara göre ‘Çevresel Zararın Azaltılması’ ve hibrit olarak uzaktan çalışanlara göre ise ‘Özel İhtiyaçları Olan Nüfus İçin Çözüm’ olmuştur. Diğer ana kriterler kapsamında, farklı çalışma modelleri altında çalışanlar açısından hiçbir alt kriterin öncelik algısında bir konsorsiyum sağlanamamıştır. Bu durum uzaktan çalışma uygulamalarının farklı modelleri altında çalışanlar

üzerinde farklı etkileri olduğunu göstermektedir. Bu kapsamda, uzaktan çalışma modeli belirlenirken çalışanlar üzerindeki etkiler hesap edilmeli ve buna uygun bir örgüt yapısı kurgulanmalıdır.

Güzel ve Aydın (2021) Kovid-19 döneminde uzaktan çalışma sisteminde iş performansını etkileyen faktörler: banka çalışanları üzerine bir uygulama araştırması yapılmıştır. Bu araştırma da yapılan anket sonucunda banka çalışanlarının evden çalışmanın, iş memnuniyeti, cinsiyet ve çalışılan kurum gibi değişkenlerin iş performansı üzerinde etkileri olduğu bulunmuştur. Kutlutürk ve Yıkılmaz (2021) Kovid-19 Pandemisi Uzaktan Çalışma Sürecinde Akademisyenlerin İş Stresi, Tükenmişlik Algısı, Fiziksel Aktivite ve Kas İskelet Sistemi Ağrılarının İncelenmesi adına bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışma da sonuç olarak yüksek iş stresi ve düşük fiziksel aktivite düzeyinin akademisyenlerin tükenmişlik algısı ve kas iskelet sistemi ağrılarını artırdığını göstermiştir. Bu bulgular, pandemi döneminde iş stresinin azaltılması ve fiziksel aktivite seviyelerinin artırılmasının, akademisyenlerin tükenmişlik ve ağrı düzeylerini azaltabileceğini ortaya koymaktadır. Sütü ve Keleş Tayir (2022), sonuç olarak güven, takım uyumu ve süreç/kararlardan memnuniyet gibi faktörlerin, çalışanların kendilerini bir ekip üyesi olarak hissetmelerine önemli ölçüde etki ettiğini ve iş dışı etkileşimlerin bu algıyı güçlendirdiğini göstermektedir. Baycık vd. (2021), Kovid 19 pandemisinde uzaktan çalışma tespit ve öneriler üzerine bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışma da sonuç olarak uzaktan çalışmanın iş hukuku, sosyal güvenlik hukuku ve iş sağlığı ve güvenliği hukuku açısından önemli sorunları tespit edilerek, bu sorunlara yönelik çözüm önerileri sunulmuştur. Bilginoğlu (2020), Kovid 19 pandemisi sırasında uzaktan çalışmanın artan önemi ve bilinen yanlış doğruları üzerine bir çalışma yapılmıştır. Sonuç olarak çalışanlar ve kurumlar, uzaktan çalışma süreçlerinde yaşadıkları zorlukları aşarak uyum sağlarken, bu yeni çalışma düzeninin gelecekte hibrit modellerle şekilleneceği öngörülmektedir. Pandeminin etkileri, iş dünyasında kalıcı değişimlere yol açarak, organizasyonların iş modellerini daha dayanıklı ve esnek hale getirmelerini zorunlu kılacağı ortaya çıkmıştır.

Yukarıda yapılan çalışmalar uzaktan çalışmanın iş performansı, çalışan memnuniyeti, iş stresi ve fiziksel sağlık üzerinde farklı etkiler yarattığını, ayrıca iş dünyasında kalıcı değişimlere yol açacağını göstermektedir. Uzaktan çalışma sürecinin, çalışanların takım ruhunu ve örgütsel uyumunu artırabileceği gibi, hukuki ve sağlıkla ilgili sorunları da gündeme getirdiği ve gelecekte hibrit çalışma modellerinin ön plana çıkacağı vurgulanmaktadır. Öte yandan, bu çalışmanın sonuçları göstermektedir ki denizcilik sektöründe uzaktan çalışanlar, bu çalışma biçimlerini bireysel olarak avantajlı görmektedirler. Bu durum, örgüt içinde verimli bir çalışma ortamının oluşmasına zemin hazırlamaktadır. Özellikle motivasyon araçlarının doğru bir şekilde kullanılması halinde, uzaktan çalışma uygulamalarının örgütsel bağlılık, performans ve kültür gelişimi gibi alanlarda olumlu etkiler yaratması beklenmektedir.

Çalışma, teorik olarak uzaktan çalışma uygulamalarının örgütlerin çalışanları üzerindeki ve çalışanların yaşadıkları toplum üzerindeki etkileri bağlamında katkı sunmuştur. Farklı uzaktan çalışma modelleri altında çalışanlar üzerindeki farklı etkiler tartışılarak bağlama uzaktan çalışma modelleri de eklenmiştir. Uygulamaya dönük olarak ise, çalışma kapsamında uzaktan çalışma uygulamalarının bireysel ve toplumsal etkilerinin analiz edilmesi örgütsel bağlılığı, örgütsel performansı, vb. artıracak şekilde çalışanlar üzerinde uygun motivasyon gereçlerinin kullanılması açısından dayanak oluşturabilecektir. Ayrıca, farklı uzaktan çalışma modellerinin çalışanların algıları üzerinde farklılığa sebep olması, bu modellerin örgütsel hedeflere hizmet edebilmesi için ne şekilde kullanılacağına dair fikir sunmaktadır. Çalışmanın kısıtlılıkları olarak, Türkiye sınırları içerisindeki denizcilik işletmelerine bağlı olarak çalışanlar çalışmanın örneklemi oluşturmuştur. Çalışmada kullanılan kriterler, farklı bir sektörde uygulanmak üzere kullanılan bir çalışmanın veri setinden elde edilmiş, dolayısıyla denizcilik sektörüne özgü kriterleri belirlemek üzere pilot bir çalışma yapılmamıştır. Çalışmanın bir diğer kısıtı olarak verilerin kısa bir zaman aralığında toplanması nedeniyle, kullanılan verinin sektörel dalgalanmalardan, küresel eğilimlerden, toplumsal olaylardan etkilenme olasılığının yüksek olması sayılabilir. Gelecek çalışmalarda uzaktan çalışma uygulamalarının örgütsel avantajları ve sakıncaları belirlenerek farklı çalışma modelleri altında çalışanların algıları üzerine bir analiz gerçekleştirilebilir. İlgili kriterler farklı ÇKKV yöntemleriyle analiz edilebilir, örneklem genişletilebilir.

Araştırmacıların Katkısı

Araştırmanın yazarları araştırmanın tüm süreçlerine eşit derecede katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Alp, S. & Gündoğdu, C.E. (2012). Kuruluş yeri seçiminde analitik hiyerarşi prosesi ve bulanık analitik hiyerarşi prosesi uygulaması. Dokuz Eylül Üniversitesi. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi. S.14(1), ss.07-25. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/deusosbil/issue/4627/63111>
- Baycık, G. & Doğan, S. Vd. (2021). Covid 19 pandemisinde uzaktan çalışma: Tespit ve öneriler. ss.1683-1728. <https://doi.org/10.54752/ct.1155067>
- Bilginoğlu, E. (2020). Covid 19 Pandemisi sırasında uzaktan çalışmanın artan önemi: bilinen yanlışlar ve doğruları. ss.1099-1146. <https://doi.org/10.54752/ct.1155105>
- Chang, D.Y. (1996), "Applications of the extent analysis method on fuzzy ahp, "European Journal of Operational Research, S.95(3), ss.649-655. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(95\)00300-2](https://doi.org/10.1016/0377-2217(95)00300-2)
- Çakmak, F.A. & Büyükyılmaz, O. (2021). Uzaktan Çalışmada Yönetmelik Konular, Ankara: Gazi Kitabevi.
- Dalbudak, E. & Rençber Ö.F. (2022). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri Üzerine Literatür İncelemesi. GAUNIIBFD, S.4(1), ss.1-16. <https://doi.org/10.55769/gauniibf.1068692>
- Gupta, A., Singh, R. K., & Gupta, S. (2022). Developing human resource for the digitization of logistics operations: readiness index framework. *International Journal of Manpower*, 43(2), 355-379. <https://doi.org/10.1108/IJM-03-2021-0175>
- Günden, C. & Miran B., (2008), Bulanık analitik hiyerarşi süreci kullanarak çiftçi kararlarının analizi. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, S.45(3), ss.195-204. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/zfdergi/issue/5092/69562>
- Güngör, İ. & İşler Büyüker D. (2005). Analitik hiyerarşik yaklaşım ile otomobil seçimi. ZKÜ Sosyal Bilimler Dergisi, S.1(2), ss.21-33. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/ijmeb/issue/54839/750850>
- Güzel, D. & Aydın, G. (2021). Covid 19 döneminde uzaktan çalışma sisteminde iş performansını etkileyen faktörler: banka çalışanları üzerine bir uygulama. Ardahan Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi. S.3(2), ss.128-133. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/aruiibfdergisi/issue/66112/991171>
- Hilbrecht, M., Shaw, S.M., Johnson, L.C. & Andrey, J. (2013). Remixing work, family and leisure: teleworkers' experiences of everyday life. *New Technology, Work and Employment*, S.28(2), ss.130-144. <https://doi.org/10.1111/ntwe.12010>
- Jo, S., D'agostini, E., & Kang, J. (2020). From seafarers to E-farers: Maritime cadets' perceptions towards seafaring jobs in the industry 4.0. *Sustainability*, 12(19), 8077. <https://doi.org/10.3390/su12198077>
- Juchnowicz, M., & Kinowska, H. (2021). Employee well-being and digital work during the COVID-19 pandemic. *Information*, 12(8), 293. <https://doi.org/10.3390/info12080293>
- Kahraman, C. (2008). FuzzyMulti-Criteria Decision Making: Theory and Applications with Recent Developments, Springer, S.16. Erişim Adresi: https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=s2GOMBVdXYoC&oi=fnd&pg=PR5&dq=FuzzyMulti-Criteria+Decision+Making:+Theoryand+Applications+with+Recent+Developments&ots=cOJgmLyyIb&sig=9iXfVXlxbpIoYG5BOHY1GFC6nEI&redir_esc=y#v=onepage&q=FuzzyMulti-Criteria%20Decision%20Making%3A%20Theoryand%20Applications%20with%20Recent%20Developments&f=false
- Kaplan, S. (2007). Hava savunma sektörü tezgâh yatırım projelerinin bulanık AHP ile değerlendirilmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara. Erişim Adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>

- Kaptan, M. (2022). Future Requests of Maritime Labour and Solution Suggestions: Human Resources Practices. In *Handbook of Research on the Future of the Maritime Industry* (pp. 212-231). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-9039-3.ch012>
- Kutlutürk, S. & Yıkılmaz, İ. (2021). Covid 19 pandemisi uzaktan çalışma sürecinde akademisyenlerin iş stresi, tükenmişlik algısı, fiziksel aktivite ve kas iskelet sistemi ağrılarının incelenmesi. H.Ü. Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi, S(2), ss.297-313. <https://doi.org/10.21020/husbfd.877088>
- Li, X., Seah, R., Wang, X., & Yuen, K. F. (2022). Investigating the role of sociotechnical factors on seafarers' psychological capital and mental well-being. *Technology in Society*, 71, 102138. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.102138>
- Mazeas, D., Erkoyuncu, J. A., & Noël, F. (2023, March). Telexistence-based remote maintenance for marine engineers. In *2023 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)* (pp. 407-413). IEEE. <https://doi.org/10.1109/VRW58643.2023.00089>
- Mükellef, Ü. (2022). Uzaktan çalışmada verimlilik: Zonguldak devlet okullarında bir araştırma. Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak. Erişim Adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Mükellef, Ü. & Çakmak, A.F. (2023). Uzaktan Çalışmada Verimlilik, Ankara: Gazi Kitabevi.
- Pöyhönen, M., Hamalainen, R.P. & Salo, A. (1997). An experiment on the numerical modeling of verbal ratio statements. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, S.6, ss.1-10. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1360\(199701\)6:1%3C1::AID-MCDA111%3E3.0.CO;2-W](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1360(199701)6:1%3C1::AID-MCDA111%3E3.0.CO;2-W)
- Przybyłowski, A., Suchanek, M., & Miszewski, P. (2022). COVID-19 Pandemic Impact on a Global Liner Shipping Company Employee Work Digitalization. *TransNav*, S.16(4). <http://dx.doi.org/10.12716/1001.16.04.18>
- Saaty, T.L. & Vargas, G.L. (2001). Model, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process, First Edition, Denmark: Kluwer's International Series. <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4615-1665-1>
- Saaty, T.L., & Vargas, G.L. (2006). Decision making with the analytic network process. Springer's International Series, S.3. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7279-7>
- Söyler, H., & Yaraş, E. (2016). Küresel pazara giriş kararının bulanık ahp ve bulanık topsis yaklaşımıyla analizi. *Manas Sosyal Araştırmalar Dergisi*, S.5(4), ss.77-96. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/mjss/issue/40507/485473>
- Sütlü, U. & K. Tayir, N. (2022). Uzaktan çalışma sürecinin takım olabilme üzerine etkileri. *International Journal of Social Sciences*, S(3), ss. 230-257. <https://doi.org/10.31454/troyacademy.1132673>
- Şengül, Ü., Eren, M. & Shiraz, S. (2012). Bulanık ahp ile belediyelerin toplu taşıma araç seçimi. *Erciyes Üniversitesi İİBF Dergisi*, S.40, ss.143-165. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/erciyesiibd/issue/5897/78018>
- Taştan, K. (2021). Uzaktan çalışma örgütlenmesi. Ankara: Gazi kitabevi.
- Theotokas, I. N., Lagoudis, I. N., & Raftopoulou, K. (2024). Challenges of maritime human resource management for the transition to shipping digitalization. *Journal of Shipping and Trade*, 9(1), 6. <https://doi.org/10.1186/s41072-024-00165-0>
- Turan, G. (2018). Çok kriterli karar verme. B.F. Yıldırım, & E. Önder içinde, Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri (s.15-20). Bursa: Dora Basım Yayınları.
- Uzaktan Çalışma Yönetmeliği. (2021, 5 Mayıs). Resmî Gazete (Sayı: 31419). Erişim Adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2021/03/20210310-2.htm>

Vargas, G.L. (1990). An overview of the analytic hierarchy process and its applications. European Journal of Operational Research, S.48(1), ss.2-8. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90056-H](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90056-H)

Yiğit, B. (2021). Pandemi döneminde uzaktan ve evden çalışma. Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi, S.8(4), ss.313-319. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/asead/issue/65626/1002680>

Yiğit, S. (2022). Uzaktan yönetme ve çalışma zorlukları. Uzaktan çalışmada yönetsel konular, Ankara: Gazi Kitabevi. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7482203>.



Journal of Turkish Operations Management

Acil sağlık hizmetlerinde proaktif iş güvenliği önlemlerinin belirlenmesi

Abdulkadir Bingölbalı^{1*}, Gerçek Budak²

¹Tıbbi Laboratuvar Teknikleri, Muş Alparslan Üniversitesi, 49100 Muş, Turkey,

e-mail: a.bingolbalı@alparslan.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0003-2063-7706>

²Endüstri Mühendisliği Bölümü, 06570 Ankara, Turkey,

e-mail: gbudak@aybu.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0003-3209-0875>

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi

Geliş: 03.12.2024

Reviz: 20.03.2025

Kabul: 24.04.2025

Anahtar Kelimeler:

İş Sağlığı ve Güvenliği
Ambulans
Borda Count Yöntemi
Trafik Kazaları
Acil Sağlık Hizmetleri

Özet

Türkiye’de 2013-2022 yılları arasında yaşanan Ambulans Trafik Kazaları incelendiğinde, yerleşim yeri içerisinde, hava durumunun açık, yolun kaplamasının asfalt ve yüzeyinin kuru olduğu, düz ve eğimsiz cadde veya devlet yollarında gerçekleşen ambulans trafik kazalarında toplam 3058 yaralanma vakası belirlenmiştir. Ambulans trafik kazalarında en fazla yaralanma oranları yandan çarpma durumunda gerçekleşmiştir. Yandan çarpma trafik kaza durumu ile yaralanma sayısı arasında zayıf düzeyde pozitif ve anlamlı bir ilişki bulunmuştur. Ambulansların yandan çarpma trafik kaza ve bu kazalar sonucunda meydana gelen yaralanma nedenleri, paydaşlar ve uzman ekiple yapılan sosyal medya ve görüşmeler aracılığıyla belirlenmiştir. Sıralama metodlarından Borda Count Method (BCM) kullanılarak ambulansların yandan çarpma trafik kaza durumlarını ve bu kazalar sonucunda meydana gelen yaralanmaları azaltacak en iyi önlem alternatifleri sıralanmıştır. Ambulansların yandan çarpma trafik kazalarını önlemek için en etkili önlem, çarpışma öncesi uyarı ve otomatik frenleme mekanizmalarının entegre edildiği akıllı ambulans sistemleridir. Trafikte ambulansların fark edilmesini artırmak amacıyla siren ve ışıklandırma sistemlerinin kullanımı ise, ikinci en etkili önlem olarak belirlenmiştir. Ambulans araçlarının yandan çarpma trafik kaza durumlarının sebep olduğu yaralanmaların seviyesini düşürebilecek önlem alternatiflerinde; ambulanslara standart dışı yolcuların alınmaması en etkili önlem olarak belirlenmiştir. Trafik kazası sonrasında olay yerinin güvenliğinin sağlanması, kabin içi aktif ve pasif güvenlik önlemlerinin iyileştirilmesi ve ambulans kabin tasarımının iyileştirilmesi gibi önlemler de yüksek öncelikli tedbirler arasında yer almıştır. Literatür taramalarında örneği bulunmayan ve alanında öncü olma özelliği taşıyan bu çalışma; Türkiye’de yaşanan ambulans trafik kazalarını kaza oluş türlerine göre analiz ederek yeni bir perspektif sunmayı hedeflemektedir.

Determination of proactive occupational safety measures in emergency health services

Article info

Article History

Received: 03.12.2024

Revised: 20.03.2025

Accepted: 24.04.2025

Keywords:

Occupational Health and Safety
Ambulance
Borda Count Method
Traffic Accidents
Emergency Health Services

Abstract

An analysis of ambulance traffic accidents in Turkey between 2013 and 2022 identified a total of 3,058 injury cases occurring in urban areas under clear weather conditions, on asphalt-paved and dry roads, and on straight and flat streets or state highways. The highest injury rates in ambulance traffic accidents were observed in side-impact collisions. A weak positive and significant correlation was found between side-impact collisions and the number of injuries. The causes of ambulance side-impact traffic accidents and the resulting injuries were determined through social media and stakeholder consultations with an expert team. Using the Borda Count Method (BCM), the most effective preventive measures to reduce ambulance side-impact collisions and the associated injuries were ranked. The most effective measure for preventing ambulance side-impact collisions was identified as the integration of smart ambulance systems, particularly pre-collision warning and automatic braking mechanisms. The second most effective measure was the use of sirens and lighting systems to enhance the visibility of ambulances in traffic. Among the measures aimed at reducing the severity of injuries caused by ambulance side-impact collisions, preventing non-standard passengers from boarding ambulances was determined as the most effective. Other high-priority measures included ensuring the safety of the accident scene, improving active and passive safety measures inside the cabin, and enhancing ambulance cabin design. This study, which is pioneering in its field and has no precedent in the literature, aims to provide a new perspective by analyzing ambulance traffic accidents in Turkey based on accident types.

1. Giriş

Dünya nüfusu arttıkça, araç sayısında da paralel bir artış yaşanmaktadır. Bu durum, trafik kazalarının artışına yol açabilmekte ve küresel düzeyde önemli bir halk sağlığı sorunu haline gelmektedir (Selimoğlu, 2014). 2023 yılında, dünya genelinde yaklaşık 1.19 milyon kişi trafik kazalarında hayatını kaybetmiştir (WHO, 2023). Türkiye'de ise 2022 yılı verilerine göre 588.823 trafik kazası raporlanmış, bu kazalarda ölüm ve yaralanmalar artış göstermiştir (SGK, 2022). Trafik kazaları sonucu meydana gelen ölüm ve yaralanmalarla beraber bu kazalar, hem dünya ekonomisi hem de Türkiye ekonomisi üzerinde ciddi mali yükler oluşturmaktadır. Dünya genelinde, trafik kazalarının yıllık ekonomik maliyetinin yaklaşık 1.85 trilyon dolar olduğu tahmin edilmektedir. Bu maliyetler, tıbbi harcamalar, işgücü kaybı, sigorta giderleri ve altyapı hasarları gibi çeşitli unsurları kapsamaktadır (WHO, 2023). Türkiye'de ise, trafik kazalarının yıllık ekonomik yükünün GSYH (Gayri Safi Yurtiçi Hasıla)'nin yaklaşık %2'sini oluşturduğu belirtilmektedir. 2022 yılında meydana gelen 588.823 trafik kazası, Türkiye ekonomisinde milyarlarca liralık bir kayba neden olmuştur (SGK, 2022). Bu durum, hem dünya genelinde hem de Türkiye'de yol güvenliği önlemlerinin geliştirilmesi gerektiğini göstermiştir.

Trafik kazaları içerisinde acil servis araçlarının karıştığı trafik kazaları önemli bir yer kaplamaktadır. Acil servis araçları büyük boyutları ve yüksek hızlı çalışmaları nedeniyle kamuya açık yol kullanıcıları için de ciddi bir tehdit oluşturmaktadır (Bui vd., 2018). Ambulans trafik kazaları, acil sağlık hizmetlerinin güvenliğini ve etkinliğini doğrudan etkileyen ciddi bir sorundur. Acil tıbbi müdahaleler sırasında ambulansların hızlı ve güvenli bir şekilde olay yerine ulaşması, hasta sağlığı açısından kritik öneme sahiptir. Ancak, ambulansların trafikte karşılaştığı riskler, hem sağlık çalışanlarının hem de hastaların güvenliğini tehlikeye atmaktadır. Türkiye'de ve dünya genelinde yapılan araştırmalar, ambulansların trafik kazalarına karışma oranlarının giderek yükseldiğini ortaya koymaktadır (Alsofayan, 2023; Norii vd., 2023; Boland vd., 2023; Ekşi vd., 2015). Örneğin, 1960-2002 yılları arasında toplamda 477'si sadece maddi hasarlı olmak üzere 614 ambulans kazası gerçekleşmiştir. Ambulansların karıştığı kazalarda toplam 3 kişi ölmüş ve toplam 367 kişi yaralanmıştır. Aynı dönemde kazaya karışan araç türünün belirlendiği 83.127 ölümlü ve yaralanmalı trafik kazasının 137'si ambulanslara aittir. Kayıtlara geçen ilk ambulans kazası 1975 yılında saptanmaktadır. 10.000 ölümlü ve yaralanmalı kazanın 16,5'i ambulans kazasıdır. % 73'ü yerleşim merkezlerinde gerçekleşmiştir. 1975-1994 yılları arasında 10.000 ölümlü ve yaralanmalı kazanın 7,7'si ambulansların karıştığı kazalar iken 1994'ten sonra bu oran 3,97 kat artarak 30,6'ya çıkmıştır (Turkdemir ve Aysun, 2003). Ambulans trafik kazaları üzerine yapılan bir çalışmada, 2007-2011 yılları arasında Türkiye'de toplam 3.072 ambulans kazası meydana gelmiş, bu kazalarda 51 kişi hayatını kaybetmiş ve 611 kişi yaralanmıştır. Bu, her yıl ortalama 614 ambulans kazası ve yaklaşık 10 ölüm anlamına gelmektedir (Bulut, 2016). Ambulans araçlarının görev yaparken doğası gereği hız ve aciliyet kavramlarının biraraya gelmesinden kaynaklı trafik kazası yaşanma olasılığı daha fazladır. Tayvan'da ambulans kazaları üzerine yapılan bir çalışmada, Ocak 2011'den Ekim 2016'ya kadar 715 ambulans çarpışması ve bunun neticesinde 8 ölüm ile 1844 yaralanmanın olduğu belirlendi. Bu tür çarpışmaların ölümlerle sonuçlanma olasılığının 1,7 kat daha fazla olduğu ve genel trafik çarpışmalarına kıyasla yaralanmalara yol açma olasılığının 1,9 kat daha fazla oranda olduğu belirtilmektedir (Chiu vd., 2018). ABD (Amerika Birleşik Devletleri)'de yapılan bir çalışmada, ambulansların trafik kazalarına karışma oranlarının diğer araçlara göre daha yüksek olduğu ve bu kazaların genellikle ölümlü veya ciddi yaralanmalarla sonuçlandığı belirtilmektedir (Maguire ve Smith, 2013). Ankara'da 2022-2023 yılları arasında 812 ambulans trafik kazası yaşandığı belirlendi (Yazıcı vd., 2024). Ambulans trafik kazalarının, kırsal bölgelere kıyasla kentsel alanlarda ve yerleşim yerleri içinde daha sık meydana geldiği görülmektedir (Lai vd., 2018). Ambulansların karıştığı trafik kazalarının çoğunluğu birden fazla araçla ve açılı bir oranda yaşanan bir çarpışmayla gerçekleşmiştir (Gülen vd., 2016). Kaza sonrası meydana gelen ölümlerin %10-35'inin ilk beş dakika içinde, %50'sinden fazlasının ise ilk 30 dakika içinde meydana geldiği belirtilmektedir (Altındiş vd., 2017; Yıldırım vd., 2021). Bu durum ambulans araçlarının olay yerine ivedilikle müdahalesinin, olay yerinde yaşanabilecek ölüm oranlarının düşebileceğini göstermektedir.

Türkiye'de acil sağlık personelinin hastaneye başvurmadan önce gerçekleştirdiği ambulans trafik kazasında ölüm riskinin yılda 21/100.000 olduğu, diğer ülkelerde ise bu oranın 9,6/100.000 olduğu gösterilmiştir (Gökçedağ ve Başak, 2023). Ekşi ve diğ. (2015) tarafından yürütülen çalışmanın bulgularına göre, son beş yıl içinde gerçekleştirilen araştırmalar incelendiğinde, ambulans kazalarının artış gösterdiği belirlenmiştir. Benzer şekilde, Gülen ve diğerlerinin (2016) çalışmasında, örneklem grubundaki bireylerin büyük bir kısmının en az bir kez ambulans kazası geçirdiği saptanmıştır. Ambulans trafik kazaları üzerine yapılan bir retrospektif çalışmada, EMS (Acil Tıbbi Hizmetler) Komuta Merkezi'nden alınan veriler kullanılarak 01/01/2022 ile 31/12/2023 tarihleri arasında Ankara'da meydana gelen 812 ambulans kazası belirtilmiştir (Yazıcı vd., 2024). Ersoy vd., (2012) yapmış oldukları çalışmalarında, ambulans trafik kazaları ile bu kazalarda yaşanan ölümler arasında anlamlı bir ilişki saptamışlardır.

Ambulans trafik kazaları konusunda dünya genelinde birçok ülkede araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmalar, ambulans kazalarının yaygınlığı, nedenleri ve sonuçları üzerine önemli bilgiler sunmaktadır. Ambulans trafik kazaları üzerine Amerika Birleşik Devletleri (ABD) başta olmak üzere, Tayvan, Kanada, Fransa ve Polonya’da çalışmalar yürütülmüştür (Delavary vd., 2023). Ayrıca, Avusturya, Almanya ve İsviçre’de de ambulans kazalarının özellikleri retrospektif ve kesitsel araştırma modellerinden faydalanılarak detaylı bir şekilde incelenmiştir (Boldt vd., 2020). Japonya, Pakistan, Malawi, Çin, Katar, İran, Uganda, Gana, İsrail, İrlanda ve Avustralya’da trafik güvenliği ve ambulans kazaları üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Norii vd., 2021; Tiwari, 2012). Ülkemizde de bölgesel olarak ambulans trafik kazaları üzerine çalışmalar yapıldığı görülmektedir (Yazıcı vd., 2024). Bu çalışmanın, Türkiye’de yaşanmış ambulans trafik kazalarını kaza oluş türlerine göre analiz edip, önlem metodolojisi açısından inceleme yönünden literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Bununla birlikte, Borda yönteminden elde edilen önem düzeyi sıralaması karar vericilere ve sorumlu kişilere yol gösterici olacaktır.

Bu araştırmanın ilk bölümünde çalışmada kullanılan metodolojik yöntemler anlatılmıştır. Sonraki bölümde, Emniyet Genel Müdürlüğü Trafik Şube Başkanlığı’ndan alınan Türkiye’de yaşanan ambulans trafik kaza verilerinin istatistiksel analizinin ilerleyişi incelenmiştir. Üçüncü bölümde, yandan çarpma trafik kaza durumlarını ve yaralanma düzeylerini azaltabilecek önlemlerin nasıl belirlendiği ve sıralandığı belirtilmiştir. Daha sonra bu önlem metodolojilerinin mevcut literatür kapsamında değerlendirmesi yapılmıştır. Son bölümde ise çalışmadan elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

2. Metodoloji

Ambulans trafik kazalarını belirlemek ve bu kazalara neden olabilecek faktörlerin etkilerini değerlendirmek amacıyla, 2013-2022 yılları arasında Türkiye’de meydana gelen ambulans trafik kazalarının trafik kayıt bilgileri Emniyet Genel Müdürlüğü Trafik Şube Başkanlığı’ndan temin edilerek bu çalışma gerçekleştirilmiştir. Araştırmada retrospektif, tanımlayıcı ve kesitsel tipte araştırma teknikleri kullanılmıştır. Retrospektif analiz, geçmişte meydana gelmiş olaylar, durumlar veya veriler üzerinde yapılan bir araştırma yöntemidir. Bu analiz türü, önceden toplanmış verilerin incelenmesine dayanır ve genellikle tıp, epidemiyoloji, sosyal bilimler ve pazar araştırmaları gibi çeşitli alanlarda kullanılabilir. Retrospektif analizin amacı, geçmişteki olayların nedenlerini, etkilerini ve bunlar arasındaki ilişkileri anlamak ve geleceğe yönelik çıkarımlarda bulunmak için bilgi sağlamaktır (Yaşar, 2010; Güler ve Ağaçayak, 2022). Bu çalışmanın etik kurulu T.C. Muş Alparslan Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu’ndan 15.04.2024 tarihli ve 135042 sayılı izni ile alınmıştır.

Bu çalışmada, Türkiye’de ambulans araçlarının yaşadığı trafik kaza türlerini ve bu kazalar sonucunda meydana gelen yaralanma düzeylerini azaltabilecek önlemleri belirlemek amacıyla alanında uzman ekipten görüşler alınmış ve önlem alternatifleri başlıkları altında toplanmıştır. Bu önlem alternatiflerinin önceliklendirilmesi için Borda Count Method (BCM) kullanılmıştır. Çok kriterli karar verme süreçlerinde geniş kapsamlı bir perspektif sağlayan bu metod, öznel yargıların kantitatif bir ifadesini sunar ve böylece daha nesnel bir değerlendirme ortamı yaratmaktadır. Borda Count Ranking metodunda, katılımcılar mevcut seçenekler arasından bir dağıtım yaparak her birine farklı puanlar atarlar; bu, seçeneklerin toplam puanlarına göre sıralanmasına olanak tanır. Bu yöntem, katılımcıların tercihlerinin göreceli ağırlığını yansıtır ve birden fazla kriterin veya seçeneğin önem derecesini değerlendirmek için kullanılabilir (Borda, 1781). BCM, sosyal seçim teorisinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir ve genellikle grup karar verme problemlerinde tercih edilebilir. BCM yöntemi, müzik yarışmaları, eğitim kurumlarındaki seçimler, spor ödülleri ve bazı siyasi seçimler gibi çeşitli alanlarda uygulanmaktadır (Kontek ve Sosnowska, 2020). Bu yöntem, her bir seçmenin tercih sıralamasına dayalı olarak adaylara puan verir (Emerson, 2013).

2.1. Borda Count Method (BCM) Matematiksel Model

Borda Sayım Yöntemi, n alternatif ve m seçmen (veya karar verici) olduğu durumlarda, her bir alternatifin aldığı toplam puana dayalı olarak sıralandığı bir model sunar. Modelin temel bileşenleri aşağıda ifade edilmiştir (Young, 1974)

2.1.1. Alternatiflerin Puanlandırılması

Her bir seçmen S_k ($k=1, 2, \dots, m$), n alternatifin her birini en iyi tercihten en kötü tercihe doğru sıralar. Alternatiflerin sıralama puanları aşağıdaki gibi hesaplanır (Young, 1974):

$$B(i) = \sum_{k=1}^m \Gamma_{ki} \quad (1)$$

Burada:

- $B(i)$: Alternatif i 'nin toplam Borda puanı,
- Γ_{ki} : k 'inci seçmenin i 'inci alternatife atadığı puan
- m : Toplam seçmen sayısı

Her seçmen, en iyi alternatifine n puan, ikinci sıradaki tercihe $n - 1$ puan, ..., en düşük tercihe 1 puan verir.

2.1.2. Nihai Sıralamanın Belirlenmesi

Alternatiflerin toplam puanları hesaplandıktan sonra, $B(i)$ değerleri büyükten küçüğe sıralanarak en yüksek puanı alan alternatif birinci sıraya yerleştirilir (Young, 1974).

Aşağıda yer alan Tablo 1’de Borda Count Method’un bir örneği sunulmaktadır. Tablo 1’de örnek olarak verilen bir seçim yönteminde 4 Katılımcı (Seçmen) ve 4 Alternatifin olduğu bir Borda Count Methodu’nda her katılımcının 1’den 4’e kadar olmak üzere alternatifleri seçme sırası beklenir. Daha sonra her alternatifin aldığı puanlar toplanır. Toplamda en yüksek puanı alan alternatif en iyi seçim olarak belirlenir. Tablo 1’e göre en iyi alternatif sıralaması sırasıyla A3 (12 puan), A4 (11 puan), A1 (10 puan), A2 (7 puan) ve olmak üzere belirlenir.

Tablo 1. Borda Count Method Alternatif Değerlendirme Örneği

Katılımcılar	Alternatifler			
	A1	A2	A3	A4
K1	1	2	3	4
K2	2	1	3	4
K3	3	1	4	2
K4	4	3	2	1
Toplam Puan	10	7	12	11

Bu çalışma kapsamında, Türkiye Cumhuriyeti İçişleri Bakanlığı Emniyet Genel Müdürlüğü Trafik Şube Başkanlığına gerekli izinler yazılarak ambulans trafik kazalarına ilişkin veriler alınmıştır. Ardından, bu verilerin düzenlenmesi ve istatistiksel analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda, ambulans trafik kazalarını etkileyen parametrelerin belirlenmesi ve uzman ekip rehberliğinde kazaları azaltmaya yönelik önlem alternatiflerinin geliştirilmesi sağlanmıştır. Son olarak, belirlenen önlem alternatifleri Borda Count Method (BCM) kullanılarak önceliklendirilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışmanın Yol Haritası

Trafik kazaları, farklı dinamiklerin etkileşimi sonucu ortaya çıkmakta olup karşılıklı çarpışma, park etmiş araca çarpma gibi çeşitli türleri içermektedir. Trafik kazalarının oluşumunda hava durumu, yol koşulları ve ışıklandırma gibi çevresel dinamikler, sürücü ve yayaların dikkatsizliği, yorgunluk, alkol kullanımı gibi insana bağlı faktörler, araç durumu ile trafik akışı ve altyapı dinamikleri etkin rol oynamaktadır (Zheng ve Zhao, 2023; Casado-Sanz vd., 2020; Lee vd., 2018; Zou vd., 2021). Çalışmamızda, Türkiye’de 2013-2022 yılları arasında yaşanan ambulans trafik kazaları incelenerek bu kaza türleri detaylı olarak tanımlanmıştır. Karşılıklı çarpışmalar, genellikle karşıt

yönde hareket eden iki aracın ön yüzeylerinin kafa kafaya çarpışmasıyla meydana gelebilmekte; yüksek hız ve zamanında yapılamayan manevralar sonucu ölümcül sonuçlara yol açabilmektedir. Arkadan çarpma kazaları, bir aracın diğer aracın arka kısmına çarpmasıyla oluşmaktadır; bu durum, dikkatsizlik, ani frenleme veya yetersiz takip mesafesi gibi faktörlerden kaynaklanmaktadır (Eygü, 2018). Yandan çarpma kazaları, bir aracın diğer aracın yan tarafına çarpmasıyla ortaya çıkar ve kavşaklarda sıkça görülür; özellikle yan darbe korumasının düşük olduğu araçlarda ciddi yaralanmalara neden olabilmektedir (Yaprak, 2017). Yan yana çarpışma kazaları, iki aracın yan yüzeylerinin temas etmesiyle meydana gelebilmekte ve bu tür kazalar genellikle şerit değiştirme sırasında veya dar yollarda görülebilmektedir.

Duran araca çarpma vakaları, hareket halindeki bir aracın trafikte veya park halinde duran bir araca çarpmasıyla meydana gelebilmekte; sürücü dikkatsizliği veya görüş alanı kısıtlılıkları bu kazaların temel nedenleridir. Zincirleme çarpışmalar, birden fazla aracın karıştığı ve genellikle yoğun trafik, düşük görüş mesafesi veya aşırı hız nedeniyle oluşan kazalardır (Infante vd., 2023). Çoklu çarpışma kazaları, üç veya daha fazla aracın birbirine çarpması sonucu meydana gelebilmekte ve sıklıkla zincirleme reaksiyonların tetiklediği büyük ölçekli hasarlara yol açar. Engel veya cisim ile çarpışma kazaları, aracın yoldaki bir engel veya nesneye çarpması durumunda meydana gelebilmekte; bu kazalar, sürücünün yola yeterince dikkat etmemesi veya manevra yapma kapasitesinin kısıtlı olması gibi nedenlerden kaynaklanabilmektedir (Makarova vd., 2020).

Yayaya çarpma kazaları, bir aracın bir veya daha fazla yayaya çarpmasıyla oluşur ve genellikle yaya geçitlerinde veya kaldırımlarda meydana gelebilmekte; bu tür kazalar yayalar için ciddi yaralanmalara veya ölümlere yol açabilmektedir. Hayvana çarpma kazaları, özellikle kırsal alanlarda yaygın olup, aracın yolda bir hayvana çarpması sonucu gerçekleşir ve beklenmedik tehlikeler oluşturabilmektedir. Devrilme, savrulma veya takla atma kazaları, genellikle aşırı hız, dengesiz yük veya kötü yol koşulları sonucu oluşmaktadır ve aracın devrilmesi ya da takla atmasıyla sonuçlanmaktadır (Parker vd., 1995). Yoldan çıkma kazaları, aracın kontrolünün kaybedilerek yol dışına çıkmasıyla meydana gelebilmekte; sürücünün dikkat dağınıklığı, aşırı hızlanma veya kötü yol koşulları bu kazalara neden olabilmektedir. Araçtan insan düşmesi, hareket halindeki araçtan bir kişinin düşmesiyle oluşan nadir kazalardır ve güvenlik önlemlerinin ihmal edilmesi bu tür kazaların başlıca nedenidir (Bäumler ve Prokop, 2024). Son olarak, park etmiş araca çarpma, hareket halindeki bir aracın park halinde duran bir araca çarpmasıyla gerçekleşir; bu kazalar sürücünün dikkatsizliği veya park alanlarının kötü tasarımıyla kaynaklanabilmektedir. Her bir kaza türü, trafik güvenliğini tehdit eden özgün riskler barındırmakta olup, etkili önleme stratejileri geliştirilmesini gerektirmektedir.

3. Ambulans Trafik Kaza Verilerinin İstatistiksel Analizi

2013-2022 yılları arasında Türkiye’de meydana gelen ambulans trafik kazalarının trafik kayıt bilgileri Emniyet Genel Müdürlüğü Trafik Şube Başkanlığı’ndan temin edilerek incelendiğinde, yerleşim yeri içinde, açık hava koşullarında, asfalt kaplama ve kuru yüzeye sahip, düz ve eğimsiz cadde veya devlet yollarında meydana gelen kazalarda toplam 3058 yaralanma vakasının bulunduğu Tablo 2’de sunulmuştur. Tablo 2, çeşitli trafik kazası türlerine göre yaralanma sayısının tanımlayıcı istatistiklerini içermektedir. Bu kapsamda her kaza türü için meydana gelen Kaza Sayısı (N), Minimum ve Maksimum Yaralı Sayıları, Toplam Yaralı Sayısı istatistiksel değerleri yer almıştır.

Tablo 2. Kaza Oluş Türlerine Göre Yaralanma Sayıları

Kaza Oluş Türleri/İstatistiksel Göstergeler	N (Kaza Sayısı)	Minimum	Maksimum	Toplam Yaralı Sayısı
Karşılıklı Çarpışma	53	1	8	118
Arkadan Çarpma	198	0	19	381
Yandan Çarpma	880	1	18	2167
Yan Yana Çarpma	30	1	6	62
Duran Araca Çarpma	15	1	5	32
Zincirleme Çarpışma	8	1	4	16
Çoklu Çarpışma	5	1	10	24
Engel veya Cisim ile Çarpışma	17	1	6	40
Yayaya Çarpma	128	0	6	149
Hayvana Çarpma	3	1	3	6
Devrilme Savrulma Takla	14	1	3	21
Yoldan Çıkma	15	1	6	36
Araçtan İnsan Düşmesi	2	1	1	2

Park Etmiş Araca Çarpma	3	1	2	4
Toplam	1371	0	19	3058

Tablo 2 incelendiğinde, Türkiye’de meydana gelen ambulans trafik kazalarının 198 tanesinin Arkadan Çarpma şeklinde gerçekleştiği görülmektedir. Bu tür kazalarda en az 0 ve en fazla 19 yaralı olduğu belirtilmiştir. Arkadan çarpma kaza türünde toplamda 381 yaralanma vakası tespit edilmiştir. Yandan çarpma vakalarının sayısının diğer kaza türlerine kıyasla oldukça yüksek olduğu dikkat çekmektedir. Toplam 880 ambulans kazası yandan çarpma şeklinde meydana gelmiş olup, bu kazalarda en az 1, en fazla 18 yaralanma vakası tespit edilmiştir. Yandan Çarpma şeklinde gerçekleşen ambulans trafik kazalarında toplam 2167 yaralanma vakası kaydedilmiştir. Yan yana çarpışma şeklinde gerçekleşen kazaların toplam 30 olduğu belirlenmiştir. Bu kazalarda en az 1, en fazla 6 yaralı olduğu tespit edilmiştir. Meydana gelen yan yana çarpışmalar sonucunda toplam 62 kişi yaralanmıştır. Duran araca çarpma şeklinde gerçekleşen ambulans kazalarının sayısı 15 olarak belirlenmiştir. Bu kazalarda en az 1, en fazla 5 yaralı olduğu görülmektedir. Bu kaza türünde ise toplam 32 yaralanma vakası belirlenmiştir. Zincirleme çarpışma şeklinde gerçekleşen ambulans trafik kazalarının ise toplamda 8 vaka ile daha az sayıda olduğu görülmektedir. Bu kazalarda en az 1, en fazla 4 yaralanma vakası raporlanmıştır. Meydana gelen zincirleme çarpışma şeklinde gerçekleşen kazalar sonucunda toplamda 16 kişinin yaralandığı belirlenmiştir. Çoklu çarpışmaların sayısının 5 olduğu belirlenmiş olup, bu tür kazalarda yaralanma sayısının 1 ile 10 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Bu çarpışma türünde ise toplam 24 yaralanma vakası kaydedilmiştir. Engel veya cisim ile çarpışma şeklinde meydana gelen 17 kaza saptanmıştır. Bu tür kazalarda en az 1, en fazla 6 yaralanma vakası tespit edilmiş olup, toplamda 40 kişinin yaralandığı görülmektedir. Yayaya çarpma vakalarının sayısının 128 olduğu görülmektedir. Bu kazalarda en az 0, en fazla 6 yaralı olduğu belirlenmiştir. Bu kaza türünde toplamda 149 yaralanma vakası raporlanmıştır. Hayvana çarpma şeklinde meydana gelen kazaların 3 olduğu tespit edilmiştir. En az 1, en fazla 3 yaralı olduğu görülmüş, toplam 6 yaralanma vakası kaydedilmiştir. Devrilme, savrulma ve takla atma şeklinde meydana gelen kazaların sayısının 14 olduğu belirlenmiştir. Bu kazalarda en az 1, en fazla 3 yaralı olduğu tespit edilmiş olup toplamda 21 kişi yaralanmıştır. Yoldan çıkma şeklinde gerçekleşen kazaların 15 olduğu belirlenmiştir. En az 1, en fazla 6 yaralanma vakasının meydana geldiği bu kazalar sonucunda toplam 36 kişi yaralanmıştır. Araçtan insan düşmesi sonucu meydana gelen kazaların sayısı 2 olarak belirlenmiştir. Bu kazalarda en az 1, en fazla 1 yaralanma vakasının raporlandığı ve toplamda 2 kişinin yaralandığı görülmektedir. Park etmiş araca çarpma şeklinde meydana gelen kazaların sayısının 3 olduğu belirlenmiştir. Bu kazalarda en az 1, en fazla 2 yaralanma vakasının raporlandığı görülmektedir. Bu kaza türünde toplam 4 yaralanma vakası kaydedilmiştir. Ambulans kaza oluş türlerinin toplamında 3058 yaralanma vakası tespit edilmiştir.

Korelasyon analizi, iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkinin yönünü ve gücünü belirlemek için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Korelasyon, değişkenlerin birlikte nasıl değiştiğini gösterir, ancak bu ilişki bir neden-sonuç ilişkisi anlamına gelmez. Analizde genellikle Pearson Korelasyon Katsayısı (r) kullanılabilmektedir. Pearson Korelasyonu için (Kılıç, 2022):

- Verilerin sürekli ve normal dağılıma uygun olması gerekir.
- Değişkenler arasındaki ilişki doğrusal olmalıdır.

Pearson korelasyon katsayısı, iki sürekli değişken arasındaki doğrusal ilişkiyi ölçer. Korelasyon katsayısının değeri:

- +1: Pozitif yönde güçlü ilişki
- 0: Hiçbir ilişki yok
- -1: Negatif yönde güçlü ilişki

Türkiye’de meydana gelen ambulans trafik kazalarında kaza türleri ile yaralanma düzeyi arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) programında korelasyon analizi yapılmıştır. Yandan çarpma kazalarının yaralanma sayıları ile pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişkisi olduğu gözlemlenmiştir, bu durum bu kaza türünün yaralanma sayıları üzerindeki etkisinin diğer türlere göre daha belirgin olduğunu işaret eder. Bu korelasyon ilişkisinde, Skewness (0.714) ve Kurtosis (-0,380) değerleri normal dağılıma uygundur. Yandan çarpma ile yaralanma sayısı arasında zayıf düzeyde ($r=0,083$) pozitif ve anlamlı ($p=0,014<0,05$) bir ilişki bulunmuştur. Normal dağılıma tamamen uygun olmasa da, verinin çok uzak olmadığını da belirtmekte ve $p<0,05$ düzeyinde yandan çarpma ile yaralanma sayısı arasında anlamlı bir ilişki olduğunu göstermektedir.

4. Yandan Çarpma Trafik Kaza Durumlarını ve Yaralanma Düzeylerini Azaltabilecek Önlemlerin Belirlenmesi ve Sıralandırılması

Bu çalışmada, ambulans araçlarının yandan çarpma trafik kazası ve yandan çarpma trafik kazası sonucunda meydana gelen yaralanma nedenlerinin belirlenebilmesi amacıyla, sağlık veya mühendislik alanından oluşan alanda uzman 127 kişiyle sosyal medya araçları, e-posta ve yüz yüze görüşmeler aracılığıyla fikirler elde edilmiştir. Uzman kadromuz, 45 ambulans çalışanı, 30 mühendis, 32 akademisyen ve 20 trafik departmanı görevlisinden oluşmaktadır. Ambulans çalışanları grubunda acil tıp teknisyenleri, ambulans sürücüleri, diğer sağlık personeli ve pratisyen hekimler yer almıştır. Ayrıca, otomotiv, makine ve inşaat mühendisliği uzmanlarından da görüşler alınmıştır. Uzman ekipten alınan görüşler doğrultusunda, ambulans araçlarının yandan çarpma trafik kaza nedenleri “Karayolları”, “İnsan”, “Yönetimsel” ve “Mühendislik” temelli nedenler olmak üzere dört ana grupta değerlendirilmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Ambulans Araçları Yandan Çarpma Trafik Kaza Nedenleri

Karayolları	İnsan	Yönetimsel	Mühendislik
Yol Tasarımı ve Düzeni	<u>Sürücü Davranışları:</u> Aşırı Hız Dikkatsizlik Yorgunluk Yanlış Şerit Değiştirme	Acil Durum Yönlendirmeleri	<u>Araç Tasarımı:</u> Frenleme Mesafesi Yanlış Ağırlık Merkezi Dağılımı
Yol Bakımı	<u>Eğitim ve Farkındalık Eksikliği:</u> Trafik kuralları konusunda bilgisizlik Defansif Sürüş Tekniklerinin Eksikliği Acil Durum Tepki Eğitimi	Trafik Yoğunluğu Yönetimi	<u>Yetersiz Teknoloji Kullanımı:</u> Çarpışma Önleyici Sistemler Siren Kullanımı Görünürlük ve Farkedilebilirlik
Trafik İşaret ve Sinyalizasyonu	<u>Psikolojik Faktörler:</u> Stres ve Anksiyete Sabırsız ve Agressif Davranışlar	Acil Durum Araçlarının Denetimi	<u>Araç Bakımı ve Kontrolü:</u> Periyodik Bakım Trafığa Çıkmadan Önce Gözle Kontrol
Çevresel Koşullar ve Aydınlatma	<u>Algılama Hataları:</u> Takip mesafesi Hız tahmini hataları	Mevzuat ve Yönetmeliklerin Revizyonu	

Uzman ekiple yapılan görüşmeler sonucu elde edilen fikirler neticesinde, Tablo 3’te belirtilen ambulans araçları yandan çarpma trafik kaza nedenleri için alınabilecek önlem alt başlıkları Tablo 4 ve Tablo 5’te görüldüğü üzere yedi alternatif olarak toplanmıştır. Bu alternatiflerin oluşturulması, konu bakımından birbirine benzer olan önlem öneri alt başlıklarının kapsam olarak tek cümle altında birleştirilmesi şeklinde olmuştur.

Tablo 4. Ambulansların Yandan Çarpma Trafik Kaza Durumlarını Azaltabilecek Önlem Alternatifleri I

Öneriler	1. Akıllı Ambulans Sistemlerinin Kullanılması	2. Ambulans Araçlarının Trafikte Farkedilebilirliğini Artırma	3. Ambulansların Kullandıkları Yol Tasarımı ve Düzeninin İyileştirilmesi ve Periyodik Kontrolünün Sağlanması	4. Trafik İşaret ve Sinyalizasyonun Düzenlenmesi
1	Çarpışma Öncesi Uyarı ve Otomatik Frenleme Sistemleri Entegrasyonu	Ambulans Trafik Levha Tasarımı	Yoğun Trafikli Ana Yollarda Ambulansa Özel Şeritler ve Bu Şeritlerin Belirgin İşaretlenmesi (Ambulans Yolu)	Ambulans Öncelikli Trafik Işıkları
2	Ambulanslarda Akıllı Trafik Yönetim Sistemleri	Farklı Renkli ve Yönlü Işıklar	Düzenli Yol Bakım Programları	Ambulans Sinyalizasyonu ile Entegre Sistemler
3	Gerçek Zamanlı Veri Analitiği ve Takip Sistemleri	Siren Ses Düzeyleri ve Frekansları	Yol Kaplama Malzemesinin İyileştirilmesi	Görsel İşaretleme ve Uyarı Levhaları (Flaşörlü Uyarı Levhaları)
4	İot (Nesnelerin İnterneti) Entegrasyonu	Ambulans Dış Yüzeyine Yansıtıcı Kaplamalar	Şerit Genişletmeleri	Trafik Yönetim Merkezleri İle Koordinasyon (Canlı Trafik İzleme ve Müdahale)
5	Yapay Zeka Destekli Rota Optimizasyonu	Yüksek Yoğunluklu Light-Emitting Diode (LED) Işıkları		Enerji Verimliliği ve Yedek Güç Kaynakları

6	Gece Görüş ve Termal Kameralar
---	--------------------------------

Ambulansların yandan çarpma trafik kaza durumlarını azaltabilecek önlem alternatiflerinden 4 tanesi Tablo 4'te, 3 tanesi ise Tablo 5'te yer almak üzere toplam 7 tane önlem alternatifi belirtilmektedir.

Tablo 5. Ambulansların Yandan Çarpma Trafik Kaza Durumlarını Azaltabilecek Önlem Alternatifleri II

Öneriler	5. Ambulans Sürücülerine Yönelik Eğitimlerin verilmesi ve Algı ve refleks düzeyi yüksek genç ve dinamik Ambulans Sürücü kadrolarının oluşturulması	6. Ambulans araçlarının periyodik araç bakımlarının düzenli olarak yapılması ve denetlenmesi	7. Ambulans hizmetleri ve ambulansa yol verilmesi ile ilgili halka yönelik eğitim ve tanıtım faaliyetleri artırılması
1	Gelişmiş Sürüş Simülasyonlarıyla Eğitim	Standart Bakım Takvimi	Televizyon ve Radyo Spotları
2	Tehlike Algılama ve Önleyici Sürüş Teknikleri	Önleyici Bakım Uygulamaları	Sosyal Medya Kampanyaları
3	Sürücü Refleks ve Tepki Süresi Testleri	Telemetri ve Araç İzleme Sistemleri	Okul Seminerleri
4	Stres Yönetimi Seminerleri	Ambulansın Trafığa Çıkabilme Durumunun Dijital Denetimi ve Bakım Kayıtları (Bakım Yönetim Yazılımları ve Mobil Uygulamalar ile Anlık Takip)	Üniversite Kampüslerinde Etkinlikler
5	Psikolojik Destek Hizmetleri	Uzman Bakım Ekipleri	Yerel Halk Eğitim Merkezleri
6	Sürücü Seçim Kriterlerinin Güncellenmesi ve Sürücülerin Bu Kriterlere Göre Takibi		Bilgilendirme Panoları ve Afişler
	Şoförlerin Çalışma Koşullarının İyileştirilmesi (Esnek Çalışma Saatleri ve Vardiya Düzenlemeleri, Dinlenme Alanlarının Sağlanması)		Mobil Uygulamalar ve Dijital Araçlar (Eğitim Uygulamaları, SMS ve E-Posta Kampanyaları)
			Online Eğitim Platformları
			Kamuoyu Anketleri ve Geri Bildirim

Acil durum sağlık personeli, mühendis (inşaat, geomatik, otomotiv), akademisyen ve trafik departmanı görevlilerinden oluşan bir uzman ekip ve paydaşların görüşleri, yandan çarpma trafik kazalarını azaltmaya yönelik çeşitli önlem alternatiflerini sistematik bir şekilde sınıflandırarak, bu önlemlerin farklı bileşenler üzerinden nasıl uygulanabileceğini ortaya koymaktadır. Akıllı ambulans sistemlerinin kullanımı, ambulans araçlarının trafikte fark edilebilirliğinin artırılması, yol tasarım ve düzenlemelerinin iyileştirilmesi ile trafik işaret ve sinyalizasyonunun düzenlenmesi başlıca stratejik alanlar olarak belirlenmiştir. Bu kapsamda, çarpışma öncesi uyarı ve otomatik frenleme sistemleri entegrasyonu, gerçek zamanlı veri analitiği ve takip sistemleri, nesnelerin interneti (IOT) tabanlı çözümler ve yapay zekâ destekli rota optimizasyonu gibi ileri teknolojiler öne çıkmaktadır. Ayrıca, ambulansların görünürlüğünü artırmaya yönelik farklı renkli ışık sistemleri, yüksek yoğunluklu light-emitting diode (LED) aydınlatmalar ve gece görüş kameraları gibi yenilikçi yaklaşımlar önerilmektedir. Bunun yanı sıra, trafik yönetim merkezleri ile entegrasyon, ambulans öncelikli trafik ışıkları ve özel ambulans şeritleri gibi altyapısal düzenlemeler de önemli birer çözüm olarak değerlendirilmektedir (Tablo 4)

Tablo 5'te, yandan çarpma trafik kazalarını azaltmaya yönelik insan faktörü ve bakım süreçlerine odaklanan önlemleri detaylandırılmakta ve bu önlemlerin çeşitli alanlarda nasıl uygulanabileceği gösterilmektedir. Ambulans sürücülerine yönelik eğitimlerin geliştirilmesi, ambulans araçlarının düzenli bakım ve denetim süreçlerinin güçlendirilmesi ile halkın bilinçlendirilmesine yönelik tanıtım faaliyetlerinin artırılması, başlıca stratejik önlemler olarak öne çıkmaktadır. Bu bağlamda, gelişmiş sürüş simülasyonları, tehlike algılama ve önleyici sürüş teknikleri ile stres yönetimi eğitimleri gibi uygulamalar, sürücülerin refleks ve tepki sürelerini iyileştirmeye yönelik tasarlanabilme imkânı sunmaktadır. Ambulansların bakım süreçlerinin daha etkin yürütülmesi için telemetri sistemleri, dijital bakım yönetim yazılımları ve uzman bakım ekipleri gibi teknolojik ve organizasyonel çözümler önerilmektedir. Halkın farkındalığını artırmak amacıyla ise televizyon ve radyo spotları, sosyal medya kampanyaları, okul seminerleri ve online eğitim platformları gibi çeşitli bilgilendirme ve eğitim araçlarının kullanımı öngörülmektedir.

Ambulansların yandan çarpma trafik kaza durumlarını azaltabilecek önlem alternatifleri, Kaza Durum Protokolleri (KDP) olarak belirtilmiştir. Yedi tane önlem alternatifi KDP1, KDP2, KDP3, KDP4, KDP5, KDP6, KDP7 olarak kodlanmaktadır.

KDP1. Akıllı ambulans sistemlerinin kullanımı.

KDP2. Ambulans araçlarının trafikte fark edilebilirliğini artırma.

KDP3. Ambulans araçlarının kullandıkları yol tasarımının iyileştirilmesi ve periyodik kontrolünün sağlanması.

KDP4. Trafik işaret ve sinyalizasyonunun düzenlenmesi.

KDP5. Ambulans sürücülerine yönelik eğitimlerin verilmesi ve algı ile refleks düzeyi yüksek, genç ve dinamik ambulans sürücü kadrolarının oluşturulması.

KDP6. Ambulans araçlarının periyodik araç bakımlarının düzenli olarak yapılması ve denetlenmesi.

KDP7. Ambulans hizmetleri ve ambulans araçlarına yol verilmesi ile ilgili halka yönelik eğitim ve tanıtım faaliyetlerinin artırılması.

Uzman ekipten alınan görüşler doğrultusunda, ambulans araçlarının yandan çarpma trafik kaza durumlarında meydana gelen yaralanma nedenleri “Yönetimsel”, “İnsan” ve “Mühendislik” temelli nedenler olmak üzere üç ana grupta değerlendirilmiştir (Tablo 6).

Tablo 6. Ambulans Araçlarında Yandan Çarpma Trafik Kazası Durumunda Meydana Gelen Yaralanma Nedenleri

Yönetimsel	İnsan	Mühendislik
Olay Yeri Güvenliği	Ambulans Aracı İçi Ekip İletişimi	<u>Ambulans aracı Yapısal Bütünlüğü:</u> Dayanıklı Gövde Darbe Emici Sistemler
Hızlı ve Erken Müdahale	<u>Acil Müdahale Durum Eğitimleri:</u> İlk Yardım Yaralanma	<u>Araç İçi Güvenlik Donanımları:</u> Airbag Emniyet Kemerleri
Trafik Kaza Durum Tatbikatları	Eğitimlerin Periyodik Olarak Tekrarlanması	Araç İçi Ekipmanların Sabitlenmesi
	Ambulans Aracı İçine Görevi Dışında Fazladan İnsan Bindirilmesi	
	Kaza Durum Yönetimi Psikolojik Eğitimlerin Verilmesi	

Uzman ekiple yapılan görüşmeler sonucu elde edilen fikirler neticesinde, Tablo 6’da belirtilen ambulans araçlarında yandan çarpma trafik kazası durumunda meydana gelen yaralanma nedenleri için alınabilecek önlem alt başlıkları Tablo 7 ve Tablo 8’de görüldüğü üzere sekiz alternatif olarak toplanmıştır. Bu alternatiflerin oluşturulması, konu bakımından birbirine benzer olan önlem öneri alt başlıklarının kapsam olarak tek cümle altında birleştirilmesi şeklinde olmuştur.

Tablo 7. Ambulansların Yandan Çarpma Trafik Kaza Durumlarında Yaralanma Düzeyini Azaltabilecek Önlemler I

Öneriler	1. Ambulanslara Standart Dışı Yolcunun Alınmaması (Yaralı Yakınlarının Birden Fazla Sayıda Araca Binme Talebi)	2. Hasta ve Sağlık Çalışanlarının Güvenliğini Artıracak Şekilde Kabin İçi Aktif ve Pasif Güvenlik Önlemlerinin İyileştirilmesi	3. Trafik Kazası Sonrası Olay Yeri Güvenliğinin Sağlanması	4. Ambulans Kabin Tasarımlarının İyileştirilmesine Yönelik Önlemlerin Alınması
1	Net Politikalar ve Prosedürler Oluşturma	Güvenli Sabitleme Mekanizmaları	Standart İşlem Prosedürleri (SOP)	Çarpma Enerjisini Absorbe Eden Malzemeler
2	Yaralı Yakınları ile İletişim ve Eğitim	Modüler Depolama Sistemleri	Güvenlik Bölgesi Oluşturma	Yüksek Mukavemetli Çelik ve Alaşımlar
3	Alternatif Taşıma Çözümleri (Refakatçi Araçları, Toplu Taşıma ve Taksi Hizmetleri)	Sivri ve Kesici Kenarların Ortadan Kaldırılması	Trafik Akışının Yönlendirilmesi (Kılavuz ve Yönlendirme İşaretleri)	Roll Cage (Devrilme Kafesi) Tasarımı
4	Yasal Düzenlemeler ve Uygulamalar (Yasal Kısıtlamalar, Ceza ve Uyarı Mekanizmaları)	Darbe Emici Malzemeler	İletişim Sistemlerinin Kullanımı	Kapsamlı Çarpışma Testleri
5	Teknoloji ve İnovasyon Kullanımı (Araç İçi Kameralar ve İzleme Sistemleri, Mobil Uygulamalar ve Bildirim Sistemleri)	Yan Çarpışma Airbagleri	Koordinasyon Ekibi	Simülasyon ve Modelleme

6	Gelişmiş Airbag Teknolojileri	Yansıtıcı Güvenlik Giysileri	Yaralanma Riskini Azaltan Kabin İçi Yüzeyler
7	Ayarlanabilir Emniyet Kemerleri	Bariyerler ve Koniler	Gelişmiş Emniyet Kemer Sistemleri
8	Emniyet Kemer Uyarı Sistemleri, Kemer Sayısının Artırılması	Güvenlik Şeritleri	Ek Hava Yastığı Sistemleri
9	Ergonomik Kabin Tasarımı	Dronlar ve Kameralar ile Olay Yerinin Yukardan Denetim Altında Tutulması	
10	Acil Durum Aydınlatması		
11	Gelişmiş İletişim Sistemleri		

Ambulansların yandan çarpma trafik kaza durumlarında yaralanma düzeyini azaltabilecek önlem alternatiflerinden 4 tanesi Tablo 7’de, geri kalan 4 tanesi ise Tablo 8’de yer almak üzere toplam 8 tane önlem alternatifi belirtilmektedir.

Tablo 8. Ambulansların Yandan Çarpma Trafik Kaza Durumlarında Yaralanma Düzeyini Azaltabilecek Önlemler II

Öneriler	5. Ambulans Araçlarının Tasarımı ve Donanımı ile İlgili Güvenlik Standartları ve Yönetmeliklerin Sürekli Olarak Güncellenmesi, Sıkılaştırılması ve Bunların Denetlenmesi	6. Kaza Mahaline Müdahalenin Etkin ve Hızlı Bir Şekilde Yapılabilmesi İçin Otoriteler Tarafından Gerekli Önlemlerin Alınması	7. Ambulans Sürücülerine Yönelik, Çarpışma Anında Aracı Nasıl Kontrol Altında Tutacakları ve Olası Yaralanmaları Nasıl Azaltacakları Konusunda Eğitim Verilmesi.	8. Sağlık Personeline, Kazalar Sırasında Kendilerini ve Hastaları Korumak İçin Uygulanacak Acil Durum Prosedürleri Hakkında Eğitim Verilmesi ve Periyodik Olarak Tekrarlanması
1	Düzenli Revizyonlar	Acil Durum Müdahale Protokollerinin Güncellenmesi (Sıkı Zaman Yönetimi)	Kritik Durum Yönetimi Eğitimi	Periyodik Eğitim ve Tatbikatların Planlanması
2	Uluslararası Standartlarla Uyum	Gerçek Zamanlı İzleme ve Koordinasyon Sistemleri	Gelişmiş Sürüş Teknikleri Eğitimi (Defansif Sürüş Eğitimi, Kaygan ve Zor Koşullarda Sürüş)	Eğitim İçeriklerinin Sürekli Güncellenmesi (Güncel Bilgi ve Teknikler, Ulusal ve Uluslararası Standartlara Uyum)
3	Sıkı Denetim Protokolleri	Kaza Yerine Erişimin Kolaylaştırılması (Acil Durum Yolları ve Şeritleri, Trafik Yönlendirme ve Kontrolü)	Acil Durum Senaryoları ile Pratik Eğitim	Teknoloji Destekli Eğitim Araçları (Simülasyon ve Sanal Gerçeklik, Online Eğitim Modülleri)
4	Bağımsız Denetim Kurulları	Taşınabilir Tıbbi Ekipmanlar	Çarpışma Anında Kontrol Teknikleri (Acil Durum Manevraları, ABS ve Diğer Güvenlik Sistemlerinin Kullanımı)	Eğitim Sonrası Değerlendirme ve Geri Bildirim
5	Geri Bildirim Mekanizmaları	Müdahale Sürecinin Değerlendirilmesi	Simülasyon Tabanlı Eğitim (Sürüş Simülatörleri, Sanal Gerçeklik (VR) Eğitimleri)	Personel Psikolojik Destek ve Dayanıklılık Eğitimi
6	Pilot Projeler ve Denemeler	Acil Durum Bilgilendirme Sistemleri (Kamuya Yönelik Bilgilendirme, Trafik Yönetim Sistemleri)	Fiziksel ve Mental Hazırlık Eğitimleri (Stres Yönetimi ve Dayanıklılık, Fiziksel Refleks Egzersizleri)	Toplum ve Hasta Yakınları Eğitimi
7	Yıllık Güvenlik Raporları		Ekip Çalışması ve İletişim Becerileri (Ambulans Ekibi ile İletişim, Ekip Çalışması Eğitimi)	
8	Veri Paylaşımı ve Açık Kaynak Bilgiler			
9	Araştırma ve Test Merkezleri			
10	Ambulans Üreticilerine Yönelik Teşvikler ve Yaptırımlar			

Acil sağlık uzmanları, çeşitli mühendislik disiplinlerinden (inşaat, geomatik, otomotiv) mühendisler, akademisyenler ve trafik departmanı yetkililerinden oluşan uzman bir ekip ve ilgili paydaşların görüşleri doğrultusunda, yandan çarpma türündeki trafik kazalarında oluşan yaralanma düzeylerini azaltmaya yönelik farklı

önlem alternatifleri sistematik olarak sınıflandırılmakta ve bu önlemlerin hangi bileşenler aracılığıyla uygulamaya konulabileceği değerlendirilmektedir. Ambulans hizmetlerinde güvenliği artırmak ve operasyonel verimliliği sağlamak amacıyla, hasta ve sağlık çalışanlarını koruyacak kapsamlı önlemler geliştirilmelidir. Öncelikle, ambulanslara yalnızca zorunlu yolcuların alınmasını sağlayacak net prosedürler oluşturulmalı ve yaralı yakınları için alternatif ulaşım çözümleri sunulmalıdır. Kabin içi güvenliği güçlendirmek adına darbe emici malzemeler, yüksek mukavemetli alaşımlar, gelişmiş emniyet kemeri sistemleri ve airbag teknolojileri gibi yenilikçi tasarımlar benimsenmelidir. Trafik kazası sonrası olay yeri güvenliğinin sağlanması için standart prosedürler belirlenmeli, trafik yönlendirme sistemleri, bariyerler ve aydınlatma çözümleri etkin şekilde kullanılmalıdır. Ayrıca, ergonomik kabin tasarımları, modüler depolama sistemleri, gelişmiş iletişim altyapıları ve dron destekli olay yeri izleme sistemleri gibi teknolojik yenilikler entegre edilerek ambulans hizmetlerinin güvenli ve etkin biçimde sunulması sağlanmalıdır. Bu kapsamlı yaklaşım, yasal düzenlemeler ve inovatif çözümlerle desteklenerek, acil sağlık hizmetlerinde sürdürülebilir bir güvenlik standardı oluşturması planlanmaktadır (Tablo 7).

Ambulans hizmetlerinin güvenlik ve etkinliğini artırmak adına, araç tasarımı ve donanımına ilişkin güvenlik standartlarının düzenli olarak gözden geçirilmesi, uluslararası normlara uyularak sıkı denetimlerle takip edilmesi önem taşımaktadır. Kaza mahaline müdahalede zaman yönetiminin iyileştirilmesi, gerçek zamanlı koordinasyon sistemlerinin uygulanması ve acil durum yollarının oluşturulması gibi tedbirlerle hızlı müdahale kapasitesi geliştirilmelidir. Ambulans sürücülerine çarpışma anındaki araç kontrol teknikleri, defansif sürüş becerileri ve simülasyon destekli eğitimlerin verilmesi gerekmektedir. Ayrıca sağlık personeline acil durum prosedürleri, stres yönetimi ve ekip içi iletişim konusunda periyodik eğitimler sağlanmalı, sanal gerçeklik gibi teknolojik eğitim araçlarından faydalanılmalıdır. Eğitimlerin etkinliği, sürekli güncellenen içerikler ve eğitim sonrası geri bildirim mekanizmalarıyla desteklenmeli; psikolojik dayanıklılık ve toplumsal farkındalık artırılarak ambulans hizmetlerinde sürdürülebilir ve güvenli bir çalışma ortamı yaratılmalıdır (Tablo 8).

Ambulansların yandan çarpma trafik kaza durumlarında yaralanma düzeyini azaltabilecek önlem alternatifleri, Yaralanma Durum Protokolleri (YDP) olarak belirtilmiştir. Sekiz tane önlem alternatifi YDP1, YDP2, YDP3, YDP4, YDP5, YDP6, YDP7 ve YDP8 olarak kodlanmaktadır.

- YDP1. Ambulanslara standart dışı yolcunun alınmaması (Yaralı yakınlarının birden fazla sayıda araca binme talebi)
- YDP2. Hasta ve çalışanların güvenliğini artıracak şekilde kabin içi aktif ve pasif güvenlik sistemlerinin iyileştirilmesi
- YDP3. Trafik kazası sonrası olay yeri güvenliğinin sağlanması
- YDP4. Ambulans kabin tasarımlarının iyileştirilmesine yönelik önlemlerin alınması
- YDP5. Ambulans araçlarının tasarımı ve donanımı ile ilgili güvenlik standartları ve yönetmeliklerin güncellenmesi ve denetlenmesi
- YDP6. Kaza yerine etkin ve hızlı müdahalenin yapılması
- YDP7. Ambulans sürücülerine yönelik çarpışma anında araç kontrolü eğitimlerinin verilmesi
- YDP8. Sağlık personeline kaza sırasında kendilerini ve hastaları korumak için uygulanacak acil durum prosedürleri hakkında eğitim verilmesi ve periyodik olarak tekrarlanması

Sırasıyla yedi ve sekiz ana başlık altında toplanan “Ambulansların Yandan Çarpma Trafik Kaza Durumlarını Azaltabilecek Önlem Alternatifleri” ile “Ambulansların Yandan Çarpma Trafik Kaza Durumlarında Yaralanma Düzeyini Azaltabilecek Önlem Alternatifleri” Borda Hesaplama Yöntemi (BCM) kullanılarak, önlem alternatiflerinin uygulanabilirlik ve önem sıralaması açısından alanında uzman 30 kişiye puanlatılmıştır (Tablo 9, Tablo 10). Puanlamaya katılan uzman kadromuzda 10 Ambulans çalışanı, 3 Otomotiv mühendisi, 5 İnşaat mühendisi, 7 akademisyen ve 5 trafik departmanı görevlisi yer almaktadır.

Tablo 9. Ambulansların Yandan Çarpma Trafik Kaza Durumlarını Azaltabilecek Önlem Alternatiflerinin BCM ile Puanlanması

Borda Hesaplama Yöntemi (BCM)							
Ambulansların Yandan Çarpma Trafik Kaza Durumlarını Azaltabilecek Önlem Alternatifleri							
Katılımcılar	KDP1	KDP2	KDP3	KDP4	KDP5	KDP6	KDP7

K1	6	3	7	1	5	2	4
K2	5	7	6	4	3	1	2
K3	7	6	4	5	2	3	1
K4	7	2	1	4	3	5	6
K5	7	3	6	5	1	2	4
K6	5	7	4	6	3	2	1
K7	6	2	5	7	4	1	3
K8	4	5	7	1	2	3	6
K9	6	1	7	2	4	5	3
K10	6	3	7	5	2	4	1
K11	5	3	6	1	7	2	4
K12	6	5	7	3	1	4	2
K13	4	7	6	3	5	1	2
K14	7	2	6	1	4	3	5
K15	7	4	5	1	3	6	2
K16	7	2	4	3	5	6	1
K17	7	2	6	5	4	1	3
K18	4	6	2	7	5	1	3
K19	5	6	7	3	4	2	1
K20	3	7	1	5	2	4	6
K21	7	6	2	3	5	1	4
K22	4	6	3	1	5	7	2
K23	3	7	2	5	6	4	1
K24	7	4	6	3	1	2	5
K25	5	6	4	7	2	3	1
K26	5	6	7	3	1	2	4
K27	6	3	4	2	5	7	1
K28	6	7	2	3	4	1	5
K29	5	6	3	4	2	7	1
K30	2	7	3	4	5	1	6
Toplam Puan	164	141	140	107	105	93	90

Tablo 9’da yer alan puanlamada her bir katılımcı K1, K2, K3 ... diye isimlendirilmişlerdir. Bu katılımcılardan uygulanabilirlik ve önem sıralamasına göre Ambulansların Yandan Çarpma Trafik Kaza Durumlarını Azaltabilecek Önlem Alternatiflerini seçmeleri istenmiştir. Bu 7 önlem alternatifi arasından seçim sırasına göre 1’den 7’e kadar öncelikli olana 1 olmak üzere diğerlerine önem sırasına göre seçim yapılması istenmiştir. Örneğin; Katılımcı 1 (K1), ambulansların yandan çarpma trafik kaza durumlarını azaltabilecek önlem alternatifleri içerisinde “Trafik işaret ve sinyalizasyonunun düzenlenmesi (KDP4)” alternatifini uygulanabilirlik ve önem açısından 1. sırada seçmiş ve 1 olarak puanlamıştır. K2 aynı alternatife 4 ve K3 ise 5 puan vermiştir (Tablo 9). Toplamda 30 katılımcının bu seçeneğe verdiği puanlar toplanarak bu önlem alternatifinin BCM yönteminde toplam aldığı puanı ortaya çıkmaktadır. Toplamda 7 alternatif için 30 katılımcının vermiş oldukları puanlar her alternatif için ayrı ayrı toplanarak o alternatifin almış olduğu toplam puan hesaplanır. En yüksek puanı alan alternatif, uygulanabilirlik ve önem derecesi açısından öncelikli kabul edilmektedir.

Tablo 10’da yer alan puanlamada her bir katılımcı K1, K2, K3 ... diye isimlendirilmişlerdir. Bu katılımcılardan uygulanabilirlik ve önem sıralamasına göre Ambulansların Yandan Çarpma Trafik Kaza Durumlarında Yaralanma Düzeyini Azaltabilecek Önlem Alternatiflerini seçmeleri istenmiştir.

Tablo 10. Ambulansların Yandan Çarpma Trafik Kaza Durumlarında Yaralanma Düzeyini Azaltabilecek Önlem Alternatiflerinin BCM ile Puanlanması

Borda Hesaplama Yöntemi (BCM)								
Ambulansların Yandan Çarpma Trafik Kaza Durumlarında Yaralanma Düzeyini Azaltabilecek Önlem Alternatifleri								
Katılımcılar	YDP1	YDP2	YDP3	YDP4	YDP5	YDP6	YDP7	YDP8
K1	8	2	6	1	7	5	3	4
K2	8	5	6	3	7	2	4	1
K3	4	3	7	8	6	1	2	5
K4	8	7	1	2	5	6	4	3
K5	2	7	6	3	5	8	1	4
K6	5	3	4	1	2	7	8	6
K7	6	7	5	8	4	3	1	2
K8	8	6	2	5	7	1	4	3
K9	4	8	3	2	6	5	7	1
K10	2	5	4	7	8	1	3	6
K11	7	8	5	2	3	1	6	4
K12	2	7	6	3	4	8	5	1
K13	8	7	3	6	5	4	2	1
K14	5	7	8	6	1	3	4	2
K15	2	8	4	7	6	3	5	1
K16	2	6	1	7	3	5	4	8
K17	8	3	7	6	2	4	5	1
K18	5	7	2	4	3	1	8	6
K19	7	1	4	6	2	5	8	3
K20	7	8	6	3	1	5	2	4
K21	3	2	1	7	8	6	5	4
K22	7	6	5	2	3	8	4	1
K23	6	4	8	5	2	7	1	3
K24	5	8	2	1	7	6	3	4
K25	8	7	4	3	5	2	1	6
K26	6	1	7	8	4	3	5	2
K27	8	7	4	6	5	2	3	1
K28	8	5	7	4	1	6	2	3
K29	8	6	5	4	3	1	2	7
K30	6	5	8	4	3	7	1	2
Toplam Puan	173	166	141	134	128	126	113	99

Sırasıyla Tablo 9 ve Tablo 10’da görülmekte olan Ambulansların Yandan Çarpma Trafik Kaza Durumlarını Azaltabilecek Önlem Alternatifleri (Kaza Durum Protokolleri) ile Ambulansların Yandan Çarpma Trafik Kaza Durumlarında Yaralanma Düzeyini Azaltabilecek Önlem Alternatifleri (Yaralanma Durum Protokolleri) sonuç puanları Tablo 11’de yer almaktadır.

Tablo 11. Yandan Çarpma Trafik Kaza Durumlarını ve Yaralanma Düzeylerini Azaltmaya Yönelik Önlem Alternatiflerinin BCM Kullanılarak Sıralanması (Sonuç Puanlar)

Önlem Sırası	Yandan Çarpma Trafik Kaza Durumlarını Azaltabilecek Önlemler	Borda Hesaplama Yöntemi (BCM) Puanı	Yandan Çarpma Trafik Kaza Durumunda Yaralanma Düzeyini Azaltabilecek Önlemler	Borda Hesaplama Yöntemi (BCM) Puanı
Birinci	Akıllı Ambulans Sistemlerinin Kullanılması (KDP1)	164	Ambulanslara standart dışı yolcunun alınmaması (Yaralı yakınlarının birden fazla sayıda araca binme talebi) (YDP1)	173
İkinci	Ambulans araçlarının Trafikte farkedilebilirliğini artırma (KDP2)	141	Trafik kazası sonrası Olay Yeri Güvenliğinin Sağlanması (YDP2)	166
Üçüncü	Trafik İşaret ve Sinyalizasyonun Düzenlenmesi (KDP3)	140	Hasta ve sağlık çalışanlarının güvenliğini artıracak şekilde kabin içi aktif ve pasif güvenlik önlemlerinin iyileştirilmesi (YDP3)	141
Dördüncü	Ambulansların kullandıkları Yol Tasarımı ve Düzeninin İyileştirilmesi ve Periyodik Kontrolünün Sağlanması (KDP4)	107	Ambulans Kabin Tasarımlarının İyileştirilmesine yönelik önlemlerin alınması (YDP4)	134
Beşinci	Ambulans araçlarının periyodik araç bakımlarının düzenli olarak yapılması ve denetlenmesi (KDP5)	105	Kaza mahaline müdahalenin etkin ve hızlı bir şekilde yapılabilmesi için otoriteler tarafından gerekli önlemlerin alınması (YDP5)	128
Altıncı	Ambulans Sürücülerine Yönelik Eğitimlerin verilmesi ve Algı ve refleks düzeyi yüksek genç ve dinamik Ambulans Sürücü kadrolarının oluşturulması (KDP6)	93	Ambulans araçlarının tasarımı ve donanımı ile ilgili güvenlik standartları ve yönetmeliklerin sürekli olarak güncellenmesi, sıkılaştırılması ve bunların denetlenmesi (YDP6)	126
Yedinci	Ambulans hizmetleri ve ambulansa yol verilmesi ile ilgili halka yönelik eğitim ve tanıtım faaliyetleri artırılması (KDP7)	90	Ambulans sürücülerine yönelik, çarpışma anında aracı nasıl kontrol altında tutacakları ve olası yaralanmaları nasıl azaltacakları konusunda eğitim verilmesi (YDP7)	113
Sekizinci			Sağlık personeline, kazalar sırasında kendilerini ve hastaları korumak için uygulanacak acil durum prosedürleri hakkında eğitim verilmesi ve periyodik olarak tekrarlanması (YDP8)	99

Yandan çarpma trafik kazalarını azaltmaya yönelik önlem alternatifleri, Borda Hesaplama Yöntemi (BCM) ile değerlendirilmiş ve puan seviyesine göre önem sıralaması yapılmıştır. BCM puanı arttıkça önlemlerin önem sırası da artmaktadır. Tablo 11 incelendiğinde;

- En önemli önlem alternatifi, BCM 164 puanı ile akıllı ambulans sistemlerinin kullanılmasıdır.
- İkinci sırada olan önlem alternatifi, BCM 141 puanı ile ambulans araçlarının trafikte fark edilebilirliğinin artırılması olarak bulunmaktadır.
- Üçüncü sırada olan önlem alternatifi, BCM 140 puanı ile trafik işaret ve sinyalizasyonunun düzenlenmesi olarak yer almaktadır.
- Dördüncü sırada olan önlem alternatifi, BCM 107 puanı ile ambulansların kullandıkları yol tasarımı ve düzeninin iyileştirilmesi ile periyodik kontrolünün sağlanması olarak bulunmaktadır.
- Beşinci sırada olan önlem alternatifinde, BCM 105 puanı ile ambulans araçlarının periyodik bakımlarının düzenli olarak yapılması ve denetlenmesi yer almaktadır.

- Altıncı sırada yer alan önlem alternatifinde, BCM 93 puanı ile ambulans sürücülerine yönelik eğitimlerin verilmesi ve algı ile refleks düzeyi yüksek ambulans sürücü kadrolarının oluşturulması bulunmaktadır.
- Son sırada yer alan önlem alternatifi, BCM 90 puanı ile ambulans hizmetleri ve ambulanslara yol verilmesi ile ilgili halka yönelik eğitim ve tanıtım faaliyetlerinin artırılması olarak yer almaktadır (Tablo 11).

Yandan çarpma trafik kazalarında yaralanma düzeylerini azaltmaya yönelik önlem alternatifleri, Borda Hesaplama Yöntemi (BCM) ile değerlendirilmiştir. Tablo 11 incelendiğinde;

- En önemli önlem alternatifi, BCM 173 puanı ile ambulanslara standart dışı yolcunun (yaralı yakınlarının birden fazla sayıda araca binme talebi) alınmamasıdır.
- İkinci sırada yer alan önlem alternatifi, BCM 166 puanı ile trafik kazası sonrası olay yeri güvenliğinin sağlanması olarak bulunmaktadır.
- Üçüncü sırada olan önlem alternatifi, BCM 141 puanı ile hasta ve sağlık çalışanlarının güvenliğini artıracak şekilde kabin içi aktif ve pasif güvenlik önlemlerinin iyileştirilmesi olarak yer almaktadır.
- Dördüncü sırada yer alan önlem alternatifi, BCM 134 puanı ile ambulans kabin tasarımlarının iyileştirilmesine yönelik önlemlerin alınması şeklinde bulunmaktadır.
- Beşinci sırada yer alan önlem alternatifi, BCM 128 puanı ile kaza mahaline müdahalenin etkin ve hızlı bir şekilde yapılabilmesi için otoriteler tarafından gerekli önlemlerin alınması olarak yer almaktadır.
- Altıncı sırada yer alan önlem alternatifi, BCM 126 puanı ile ambulans araçlarının tasarımı ve donanımı ile ilgili güvenlik standartlarının güncellenmesi, sıkılaştırılması ve denetlenmesi olarak bulunmaktadır.
- Yedinci sırada yer alan önlem alternatifi, BCM 113 puanı ile ambulans sürücülerine çarpışma anında aracı nasıl kontrol altında tutacakları ve olası yaralanmaları nasıl azaltacakları konusunda eğitim verilmesi olarak yer almaktadır.
- En son sırada bulunan önlem alternatifi, BCM 99 puanı ile sağlık personeline kazalar sırasında kendilerini ve hastaları korumak için uygulanacak acil durum prosedürleri hakkında eğitim verilmesi ve bu eğitimlerin periyodik olarak tekrarlanması şeklinde yer almaktadır.

5. Tartışma

Ambulans araçlarının yandan çarpma trafik kazalarının önlenmesi ve bu kazalardan kaynaklanan yaralanmaların ciddiyetini azaltmaya yönelik bir dizi önlem, Borda Count Method (BCM) ile değerlendirilmiş ve ilk sırada 164 puanla akıllı ambulans sistemlerinin kullanılması yer almıştır. Bu sistemler, ambulans hizmetlerinde teknolojik yeniliklerin entegrasyonu ve acil durumlarda etkinliğin artırılmasını hedeflemektedir. Önerilen yenilikler arasında, ambulanslarda çarpışma öncesi uyarı sistemleri, otomatik frenleme teknolojisi ve drone ambulansların geliştirilerek kullanımının yaygınlaştırılması bulunmaktadır (Uthirasamy vd., 2022; Lai vd., 2017). Drone ambulansları, geleneksel acil tıbbi hizmetlerin karşılaştığı zorluklara umut verici bir çözüm sunmaktadır. Müdahale sürelerini azaltarak ve tıbbi yardımın hızlı bir şekilde ulaştırılmasını sağlayarak, dronelar hayat kurtarma ve hasta sonuçlarını iyileştirme potansiyeline sahiptir. Ancak, operasyonel, çevresel ve ekonomik zorlukların ele alınması, bu teknolojinin yaygın olarak benimsenmesi ve başarısı için gereklidir. (Alzu'bi vd., 2023; Claesson vd., 2016). Ayrıca, akıllı trafik sinyalizasyon sistemleri, özellikle kavşaklarda acil durum araçlarına öncelik tanıyarak trafik sıkışıklığını azaltmak için geliştirilen yenilikçi bir çözüm olarak öne çıkmaktadır.

Acil durum araçları için sinyal önceliğini sağlayan sistemler, bu araçların trafik sıkışıklığından etkilenmeden hızlı bir şekilde ilerlemesini sağlar (Lee ve Chiu, 2020). Araştırmalar, bu sistemlerin konuşlandırılmasının, ambulansların trafikte daha verimli bir şekilde hareket etmesini ve varış noktalarına daha hızlı ulaşmasını desteklediğini göstermiştir (Akça vd., 2020). Bununla birlikte, bu sistemlerin başarısı yalnızca teknolojiye değil, aynı zamanda tıbbi ve acil durum personeline sağlanacak kapsamlı eğitim, mevzuata uyumluluk ve sürekli izleme ile optimizasyon süreçlerine de bağlıdır (Moussa vd., 2023). Örneğin, akıllı trafik sinyalizasyon sistemlerinin etkin şekilde uygulanması, acil sağlık hizmetlerinde hız ve güvenliği artırarak hasta sonuçlarını iyileştirme potansiyeli taşımaktadır. Bu tür teknolojilerin entegrasyonu, olay yerinden tedavi tesisine kadar geçen kritik süreyi önemli ölçüde azaltabilmekte ve bu durum, hayatta kalma oranlarını artırmanın yanı sıra acil sağlık hizmetlerinin genel etkinliğini artırabilmektedir. Böylece, teknolojinin, personel eğitiminin ve politika desteğinin uyumlu bir şekilde entegre edilmesi, modern acil sağlık hizmetlerinin geleceği için vazgeçilmez bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır.

Ambulansların sirenler ve ışıklandırma sistemlerini kullanarak trafikteki görünürlüğünü artırmaya yönelik önlemler, hem ambulans sürücülerinin hem de diğer sürücülerin güvenliğini iyileştirmeyi amaçlamaktadır. Borda Hesaplama Yöntemi (BCM) ile 141 puan alarak ikinci sırada yer alan bu strateji, ambulans sirenleri ve ışıklandırma

mekanizmalarının daha etkin kullanımını kapsamaktadır. Acil sağlık hizmetlerinin temel unsurlarından biri, ambulansların kaza mahalline hızlı ve güvenli bir şekilde müdahale edebilmesidir. Bu bağlamda, ambulanslarda kullanılan siren ve aydınlatma sistemleri, trafikte görünürlüğü artırarak diğer sürücülerini uyarmak ve ambulansın güvenli bir şekilde ilerlemesi için açık bir yol sağlamak amacı taşımaktadır (Missikpode vd., 2018). Siren ve ışıklandırma mekanizmalarının etkin kullanımı, ambulansların trafikteki görünürlüğünü en üst düzeye çıkararak müdahale sürelerini azaltarak hasta sonuçlarının istenilen iyilikte olmasına katkı sağlamaktadır. Bu mekanizmalar, yanıp sönen ışıklar ve sirenlerin uyumlu bir şekilde çalışmasıyla, diğer sürücülerin farkındalığını artırarak yol verme imkanı tanınmakta; varış noktalarına daha hızlı ve verimli bir şekilde ulaşmasını sağlamaktadır. Böylece ambulansların varış noktasına daha hızlı ve verimli bir şekilde ulaşması sağlanır (Ho ve Casey, 1998). Ancak, bu sistemlerin yanlış veya gereğinden fazla kullanılması durumunda, trafikteki sürücülerin dikkat dağınıklığına ve korkularına yol açarak trafik kazalarını artırabileceği de belirtilmiştir (Tennyson vd., 2015). Siren ve ışık kullanımının, ambulans kazaları riskini artırdığını belirten çalışmalar da mevcuttur (Saunders ve Heye, 1994). Siren ve ışık kullanımının uygunluğu, hastanın durumu ve aciliyetine bağlı olarak değişmektedir. Yapılan bir çalışmada, pediatrik hastaların taşınmasında siren ve ışık kullanımının %39.4'ünün gereksiz olduğu belirtilmiştir (Lacher ve Bausher, 1997). Ambulans personelinin siren ve ışık kullanımının riskleri ve faydaları konusunda farkındalığı önemlidir. Bir çalışmada, personelin büyük çoğunluğunun siren ve ışık kullanımının kaza riskini artırdığını kabul ettiği, ancak yine de yüksek oranda bu uygulamayı sürdürdüğü belirtilmiştir (Tennyson vd., 2011). Bu nedenle, siren ve ışıklandırma sistemlerinin kullanımı konusunda dikkatli bir yaklaşım sergilenmesi ve bu mekanizmaların uygun şekilde uygulanması hem trafik güvenliği hem de acil sağlık hizmetlerinin etkinliği açısından kritik bir öneme sahiptir.

Yol güvenliği ve düzenlemelerine dair önlemler de dikkat çekicidir. Trafik işaret ve sinyalizasyonunun düzenlenmesi, kavşaklardaki ek sinyalizasyon ve uyarı işaretleri ile ambulansların geçiş önceliğini vurgulama amacını taşımakla beraber BCM'de 140 puan ile üçüncü sırada yer almıştır. Ambulansların kullanımını kolaylaştıracak yol tasarımı ve düzenlemelerinin iyileştirilmesi önlem alternatifi ise BCM'de 107 puan ile dördüncü sıradadır. Ambulans hareketini kolaylaştırmak için yol tasarımı ve trafik sinyalizasyonunun optimizasyonu, kentsel planlama ve acil durum hizmetleri yönetimi kapsamında kritik bir konudur. Ambulans kazalarının sıklıkla açılı bir şekilde ve kavşaklarda gerçekleştiği görülmektedir (Delavary vd., 2023; Kahn vd., 2001). Ambulanslara öncelik vermek için kavşakların ek sinyalizasyon ve uyarı işaretleri ile değiştirilmesi, acil müdahale sürelerini önemli ölçüde azaltabilmektedir. Özel acil durum şeritlerinin ve trafik sinyalleri için önleme sistemlerinin uygulanması da dahil olmak üzere yol düzenlerinde yapılan iyileştirmeler, ambulansların sıkışık trafikte minimum gecikmeyle ilerlemesine katkı sağlayabilmektedir. Bu tür sistemler, gömülü sensörlerden acil durum araçlarının varlığına gerçek zamanlı yanıt veren uyarlanabilir trafik sinyallerine kadar çeşitli teknolojiler kullanılarak akıllı şehir altyapılarına entegre edilebilmektedir (Chew ve Low, 2022).

Ambulans sürücülerine yönelik eğitim programlarının uygulanması ile genç ve dinamik bir sürücü ekibinin oluşturulması, BCM analizinde 93 puanla altıncı sırada yer almış olup, sürücülerin algı ve refleks seviyelerini geliştirmede uygulanabilecek önlem alternatiflerinden biridir (Brorsson, 1989). Sürücü yaşı, trafik kazalarına karışma oranları ve bu kazaların ciddiyeti üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Genç sürücüler, riskli davranışlar ve tecrübesizlik nedeniyle daha fazla kaza yaparken, yaşlı sürücüler fiziksel ve tıbbi durumlar nedeniyle daha fazla kaza yapmaktadır (Zhang, 1998; Hakamies, 1993). Yaşlı sürücüler, kavşaklarda ve araç-araç yan çarpışmalarında daha fazla kaza yapmaktadır (Pitta, 2021). Ambulans araçlarının periyodik bakımlarının yapılması ve denetlenmesi ile ambulans hizmetleri ve ambulanslara yol verilmesine ilişkin halka yönelik eğitim ve tanıtım faaliyetlerinin artırılması gibi önlemler, BCM sıralamasının alt kısmında yer almaktadır, ancak yine de kazaların ve yaralanmaların azaltılmasında birer alternatiftir. Periyodik araç muayenelerinin kaza oranlarını azalttığını gösteren çalışmalar mevcuttur. Örneğin, Slovakya'da yapılan bir araştırma, teknik muayenelerin geçerlilik süresi sona erdiğinde teknik arızalardan kaynaklanan kaza olasılığının arttığını ve muayeneden geçen araçların kaza oranlarının düştüğünü ortaya koymuştur (Hudec ve Sarkan, 2022). Benzer şekilde, başka bir çalışma, muayene sonrası kaza olasılığının zamanla arttığını, ancak muayene sonrası hemen bir güvenlik faydası sağladığını belirtmiştir (White, 1986). Araç bakımının trafik kazalarını önlemede önemli bir rol oynadığı görülmektedir. Etiyopya'da yapılan bir araştırma, araç bakımının trafik kazaları ile güçlü bir şekilde ilişkili olduğunu ve düzenli bakımın kaza olasılığını azalttığını göstermiştir (Hareru vd., 2022). Ayrıca, araç bakım kayıtlarının kaza olasılığını tahmin etmede kullanılabileceği belirtilmiştir (Bair vd., 2012).

Yandan çarpma trafik kazalarında yaralanma düzeylerini azaltmayı hedefleyen önlemler incelendiğinde, hem hasta hem de acil servis çalışanlarının güvenliğini artıracak stratejiler öne çıkmaktadır. Ambulanslara gereksiz yolcuların alınmaması, yolculuk esnasında artırılan risklerin önüne geçmek için vurgulanan bir uygulama olarak, BCM 173 puan en yüksek önlem alternatifi olarak belirlendi. Acil durum araçlarında, özellikle ambulanslarda, standart dışı yolcu taşıma uygulamaları, aracın güvenli ve etkili müdahale kapasitesini ciddi şekilde tehlikeye atabilmektedir. Fazla yolcunun araca binmesiyle ağırlığı artan araçlar, çarpışma anında diğer araç sürücülerini,

yayalar ve bisikletliler için daha büyük bir risk oluşturmaktadır. Daha ağır araçlarla çarpışan diğer araç sürücülerinin ölüm ve ciddi yaralanma riski artmaktadır (Høye, 2019). Araştırmalar, fazla yükün aracın manevra kabiliyeti üzerinde olumsuz etkiler yaratarak durma mesafesini artırabileceğini ve trafik kazası riskini yükseltebileceğini ortaya koymaktadır (Ommeren vd., 2013). Ayrıca, gereksiz yolcuların varlığı sürücünün dikkatini dağıtabilmekte ve ekibin görevlerini etkin bir şekilde yerine getirme becerisini kısıtlayabilmektedir. Genç sürücüler (özellikle 16-19 yaş arası) için yolcuların varlığı kaza riskini artırabilmektedir. Bu yaş grubunda, yolcuların varlığı kaza oranlarını iki katına çıkarabilmekte ve özellikle gece saatlerinde ve hafta sonlarında bu risk daha da artar (Orsi vd., 2013). Yolcular, özellikle çocuklar ve gençler, sürücünün dikkatini dağıtarak kaza riskini artırabilmektedir. Bu durum, sürücülerin daha az risk alma eğiliminde olmalarına rağmen, dikkat dağınıklığı nedeniyle kaza yapma olasılıklarını artırmaktadır (Maasalo vd., 2019; Theofilatos vd., 2018). Bu veriler, acil durum araçlarındaki yolcu taşımacılığı protokollerine sıkı uyumun yalnızca yasal düzenlemelerin gerekliliği değil, aynı zamanda acil müdahale süreçlerinde optimal sonuçlara ulaşmanın temel bir unsuru olduğunu vurgulamaktadır. Araştırmalar, yolcu sayısının yalnızca gerekli personelle sınırlandırılmasını desteklemekte olup, bu tür kuralların uygulanması acil tıbbi hizmetlerin operasyonel bütünlüğünü sağlamak için gereklidir (Ray ve Kupas, 2005).

Araç içi güvenlik önlemlerinin iyileştirilmesi, trafik kazaları sırasında yaralanma riskini azaltmak amacıyla önemli bir rol oynamaktadır. Bu önlemler arasında, araç içerisindeki ekipmanların sabitlenmesi, keskin veya delici kenarların iç tasarımdan çıkarılması, yan çarpışma hava yastıklarının entegre edilmesi ve emniyet kemeri uyarı sistemlerinin yaygınlaştırılması gibi düzenlemeler yer almaktadır. BCM analizine göre bu önlemler 141 puan alarak kritik öneme sahip bir tedbir grubu olarak öne çıkmıştır. Araç içi ekipmanların güvenli bir şekilde sabitlenmesi, kaza anında serbest hareket eden nesnelerin tehlikeli hale gelmesini önleyerek yaralanma riskini en aza indirir (Byran ve Gilad, 2012). Ambulans içindeki keskin ve delici kenarlar, özellikle acil durum prosedürleri sırasında yaralanma riskini artırabilmektedir. Bu tür yaralanmalar, kan yoluyla bulaşan enfeksiyon riskini de beraberinde getirmektedir (Gańczak vd., 2020). Yan çarpışma hava yastıklarının kullanımı ve emniyet kemeri uyarı sistemlerinin artırılması gibi yenilikler, özellikle yan darbe durumlarında yolcu güvenliğini artırmada etkili bir çözüm sunmaktadır. Bununla birlikte, bu tür önlemler, acil durum personelinin operasyonel işlevselliğini engellemeyecek şekilde tasarlanarak denge sağlanmalıdır (Kulvatunyou, 2013).

Bu güvenlik iyileştirmelerinin kapsamı, yalnızca ambulansın iç tasarımıyla sınırlı kalmayıp, trafik kazalarının ardından olay yerinin güvenliğinin sağlanması gibi kritik dış önlemleri de içermektedir. Olay yerinin güvenliğini sağlamak, acil müdahalelerin etkinliğini artıran temel bir unsurdur. Kazanın meydana geldiği bölgede uygun güvenlik önlemlerinin alınması, acil servis ekipleri ve kazaya karışan bireyler için ek risklerin minimize edilmesine olanak tanımaktadır. Olay yeri güvenliği, ikincil kazaların meydana gelme oranını doğrudan etkiler. Güvenli bir olay yeri yönetimi, kazanın ardından oluşabilecek yeni kazaların önüne geçerek bu sayede daha fazla yaralanma ve ölümün önüne geçilebilmektedir (Zhang vd., 2008). Araştırmalar, olay yerinde uygun sinyalizasyonun, trafik yönlendirme ekipmanlarının ve yol engellerinin kullanılmasının genel güvenli bir düzeyini önemli ölçüde artırdığını ortaya koymaktadır (Klinjun vd., 2021). Bu tür tedbirler, ilave kazaları ve yaralanmaları önlemede etkili olup kurtarma operasyonlarının daha hızlı ve güvenli bir şekilde gerçekleştirilmesine katkı sağlamaktadır (Mostafanejad vd., 2019). Dolayısıyla, olay yerinin güvenliğinin sağlanması, yalnızca acil servislerin operasyonel verimliliğini artırmakla kalmayıp, aynı zamanda toplum genelinde güvenliği desteklemek açısından da kritik öneme sahiptir.

Bunun yanı sıra, ambulans kabinlerinin yapısal olarak güçlendirilmesi, trafik kazalarında karşılaşılan risklerin azaltılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Kabin güçlendirme, darbe enerjisini absorbe eden malzemelerin kullanılması ve kabin içi roll cage tasarımlarının entegre edilmesini içermektedir. Bu iyileştirmeler, kazaya maruz kalan bireylerin korunmasını ve hayatta kalma oranlarının artırılmasını sağlarken, ambulansların genel dayanıklılığını da artırmaktadır (Bozzini vd., 2013). Ayrıca, güçlendirilmiş kabin yapıları, sürücünün kaza sonrası aracı kontrol etme kapasitesini artırarak, acil durum müdahalelerinin etkinliğini desteklemektedir. Bu nedenle, ambulans kabinlerinin tasarımına yönelik yapısal iyileştirmeler, acil tıbbi hizmetlerin kalitesini yükseltmek ve hem hastaların hem de sağlık çalışanlarının güvenliğini sağlamak için elzemdir.

Ambulans tasarımı ve donanımlarına ilişkin standartların düzenli olarak güncellenmesi ve sıkı bir şekilde denetlenmesi, güvenlik protokollerinin yanı sıra genel acil durum müdahale çerçevesini etkileyen kritik önlemler arasında yer almaktadır. Ambulansların tasarım ve donanım yönetmeliklerinin periyodik olarak revize edilmesi, hem hastaların hem de sağlık personelinin güvenliğini sağlamak açısından büyük önem taşımaktadır. Bu yönetmelikler, ambulansların etkili hizmet sunabilmesi ve trafik kazalarından minimum hasarla kurtulabilmesi için gerekli yapısal değişiklikleri içermektedir. Güvenlik standartları, kazalar sırasında aracın yapısal bütünlüğünü koruyarak içerideki bireylerin maksimum düzeyde korunmasını sağlayacak ekipmanların entegrasyonunu kapsayacak şekilde tasarlanmalıdır.

6. Sonuç

Emniyet Genel Müdürlüğü Trafik Şube Başkanlığı'ndan gelen veriler doğrultusunda Türkiye'de 2013-2022 yılları arasında yaşanan ambulans araçlarının trafik kaza verileri incelendiğinde, trafik kazalarında meydana gelen en fazla yaralanma oranlarının ambulans araçlarının yandan çarpmalı kaza oluş türünde olduğu değerlendirilmiştir. Ambulans araçlarının yanda çarpma trafik kazalarını azaltabilecek önlemlerde; çarpışma önleyici sistemler ve drone ambulans kullanımının yaygınlaşması, akıllı ambulans sistemlerinin kullanımı, ambulans siren sistemleri ve ışıklandırmanın etkin kullanımı vb. gibi ambulans araçlarının trafikte farkedilebilirliğini artırmaya yönelik önlemler BCM ile önlem alternatifi sıralamasında birinci ve ikinci sırada yer almıştır. Ambulans araçlarının yandan çarpma trafik kaza durumlarında meydana gelebilecek yaralanma düzeyini azaltmaya yönelik önlemlerde; ambulanslara standart dışı yolcunun alınmaması ile trafik kazası sonrası olay yeri güvenliğinin sağlanması tedbirlerinin BCM'de ilk sıralarda yer aldığı belirlenmiştir. Araç sistemlerinde hızlı ilerleyen teknolojik gelişmelerin ambulanslara entegrasyonu ve ambulans araçlarına gereğinden fazla yolcu alınmamasının yaşanabilecek kaza oranlarını azaltılabileceği düşünülmektedir.

Bu çalışmada belirlenen ambulans trafik kazası önleme stratejilerinin gerçek dünya uygulamalarına uyarlanmasına ve etkilerinin analiz edilmesine pozitif katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir. Örneğin, insan hatasını en aza indirmek için otonom sürüşü teşvik ederek akıllı ambulans sistemlerini daha popüler hale getirmek mümkün olabilecektir. Ek olarak, geliştirilmiş trafik işaretleri ve özel işaretlemeler gibi önleyici tedbirlerin uygulanması ambulansların trafikte görünürlüğünü ve farkındalığını artırabilecek; yetkili mercilerle yürütülen araştırmalar, yolcu sayısını sınırlamak, ihtiyaç duyulan düzenlemelerin ve yaptırımların uygulanarak ambulansların aşırı yüklenmesinin önüne geçme noktasında katkı sağlayabilecektir. Ambulans araçları oluşturulurken; üretim aşamasında bu araçların ambulans amacıyla kullanılacak şekilde ağırlık tasarımlarının planlanması ve kabin iyileştirilme çalışmalarına (ambulans içi roll cage tasarımı, karbon fiber ambulans gövdesi, vb.) yönelik araştırmaların projelerine tasarımsal fayda sağlayacaktır.

Araştırmacıların Katkısı

Abdulkadir Bingölbali; çalışmanın konseptini oluşturmuş, tasarımını yapmış ve makalenin ilk taslağını yazmıştır. Gerçek Budak; konsepti denetlemiş, makalenin yazımına ve gözden geçirilmesine katkıda bulunmuştur. Tüm yazarlar, bu makalenin son halini onaylamıştır.

Teşekkür

Bu çalışmanın başarılı bir şekilde yürütülebilmesi için ambulans trafik kaza verilerini bizle paylaşan Türkiye Cumhuriyeti Emniyet Genel Müdürlüğü Trafik Başkanlığı'na teşekkürlerimizi bir borç biliriz. Bu çalışma, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü bünyesinde yürütülen "Türkiye'de Yaşanan Ambulans Trafik Kazalarının İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından İncelenmesi" adlı doktora tez çalışması kapsamında üretilmiştir.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Akça, T., Sahingoz, O. K., Kocyigit, E., & Tozal, M. (2020). Intelligent ambulance management system in smart cities. *In 2020 International Conference on Electrical Engineering (ICEE)* (pp. 1–7). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICEE49691.2020.9249959>

Alzu'bi, S., Siouf, S., Jamjoum, M., Abdelsalam, E., Salameh, T., & Swailmeen, Y. (2023). A smart ambulance escort drone. *2023 Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ASET56582.2023.10180630>

Altındış, S., Tok, Ş., Aslan, F. G., Pilavcı-Adıgöl, M., Ekerbiçer, H. Ç., & Altındış, M. (2017). Assessment of first aid knowledge level of university students. *SMJ*, 7, 125–130.

Alsofayan, Y. M., Alhajjaj, F. S., Alowais, J. M., Alsuhaymi, F. S. M., Almutairi, A. A., Alsharef, M. K., Alenazi, S. A., Alsadat, Y. I. S., Alshangiti, S. A. M., & Albalawi, A. F. A. (2023). The epidemiology of prehospital

- ambulance crashes: A national experience across Saudi Red Crescent Authority. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.42049>
- Bair, S., Huang, R., & Wang, K. (2012). Can vehicle maintenance records predict automobile accidents? *Property*. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6975.2011.01433.x>
- Bäumler, M., & Prokop, G. (2024). Predicting the Type of Road Traffic Accident for Test Scenario Generation. *IEEE Access*, 12, 28950-28971. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3367744>
- Boland, L. L., LeVoir, M. W., Jin, D., Duren, J. L., Souchtchenko, S. S., & Stevens, A. C. (2023). A retrospective, single-agency analysis of ambulance crashes during a 3-year period: Association with EMS driver characteristics and a telematics-measured safe driving score. *Prehospital Emergency Care*, 27, 455–464. <https://doi.org/10.1080/10903127.2022.2163327>
- Boldt, J., Steinfort, F., Müller, M., Exadaktylos, A., & Klukowska-Roetzler, J. (2020). Online Newspaper Reports on Ambulance Accidents in Austria, Germany, and Switzerland: Retrospective Cross-sectional Review. *JMIR Public Health and Surveillance*, 7. <https://doi.org/10.2196/25897>.
- Borda, J.-C. de. (1781). Memoir on elections by ballot. *History of the Royal Academy of Sciences*, 102–111.
- Bozzini, S., Friedman, D., & Jimenez, J. (2013). A Study of Rollover Occupant Injury Mitigation Using Dynamic Testing To Evaluate Alternative Protection Systems. . <https://doi.org/10.2118/165594-MS>.
- Brorsson, B. (1989). The risk of accidents among older drivers. *Scandinavian Journal of Public Health*, 17, 253–256. <https://doi.org/10.1177/140349488901700306>
- Bui, D.P., Hu, C., Jung, A.M., Porter, K.M.P., Griffin, S., French, D.D., Crothers, S., Burgess, J., (2018). Driving behaviors associated with emergency service vehicle crashes in the U.S. fire service. *Traffic Injury Prevention* 19, 849–855. <https://doi.org/10.1080/15389588.2018.1508837>
- Bulut, A., (2016). *112 Acil Durum Ambulanslarında İşg Risklerinin Tespiti ve İşg Rehberi*. [Uzmanlık Tezi]. T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü. <https://www.csgb.gov.tr/Media/fvobcnmb/alpaybulut.pdf>
- Byran, E., & Gilad, I. (2012). Design considerations to enhance the safety of patient compartments in ambulance transporters. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 18, 221–231. <https://doi.org/10.1080/10803548.2012.11076930>
- Casado-Sanz, N., Guirao, B., & Attard, M. (2020). Analysis of the Risk Factors Affecting the Severity of Traffic Accidents on Spanish Crosstown Roads: The Driver's Perspective. *Sustainability*, 12(6), 2237. <https://doi.org/10.3390/su12062237>
- Chew, K., & Low, M. (2022). Types and risk factors of ambulance accidents: A scoping review. *The Medical Journal of Malaysia*, 77(1), 60–70.
- Chiu, P.-W., Lin, C.-H., Wu, C.-L., Fang, P.-H., Lu, C.-H., Hsu, H.-C., & Chi, C.-H. (2018). Ambulance traffic accidents in Taiwan. *Journal of the Formosan Medical Association*, 117, 283–291. <https://doi.org/10.1016/j.jfma.2018.01.014>
- Claesson, A., Fredman, D., Svensson, L., Ringh, M., Hollenberg, J., Nordberg, P., Rosenqvist, M., Djärv, T., Österberg, S., Lennartsson, J., & Ban, Y. (2016). Unmanned aerial vehicles (drones) in out-of-hospital cardiac arrest. *Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation and Emergency Medicine*, 24. <https://doi.org/10.1186/s13049-016-0313-5>
- Delavary, M., Ghayeninezhad, Z., & Lavallière, M. (2023). Prevalence and characteristics of ambulance collisions: A systematic literature review. *Safety*. <https://doi.org/10.3390/safety9020024>
- Ekşi, A., Çelikli, S., & Catak, I. (2015). Effects of the institutional structure and legislative framework on ambulance accidents in developing emergency medical services systems. *Turkish Journal of Emergency Medicine*, 15, 126–130. <https://doi.org/10.1016/j.tjem.2015.11.006>
- Emerson, P. (2013). Original Board Count and Partial Voting. *Social Choice and Welfare*, 40, 353-358. <https://doi.org/10.1007/S00355-011-0603-9>.

Ersoy, G., Ersoy, O., Yuksekbaz, O., Kurnaz, G., Akyildiz, E. U., & Ekemen, S. (2012). Why did the patient die? The relationship between ambulance accidents and death of patients: Forensic medical issues. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, 19(8), 474-479. <https://doi.org/10.1016/j.jflm.2012.04.021>

Eygü, H. (2018). Trafik Kazalarını Etkileyen Faktörlerin Yapısal Eşitlik Modeli İle İncelenmesi. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 17(66), 837-850. <https://doi.org/10.17755/esosder.391299>

Gańczak, M., Topczewska, K., & Korzeń, M. (2020). Risk factors for sharps injuries and the prevalence of blood borne infections among paramedics. *European Journal of Public Health*, 30. <https://doi.org/10.1093/eurpub/ckaa166.718>.

Gökçedağ, Ş. Y., Başak, S., (2023). Ambulance Accidents Between 2016-2021 and Their Investigation in Terms of Occupational Health and Safety. *Current Research in Health Sciences*.

Güler, R., & Ağaçayak, S. (2022). Maksillofasiyal kırığı olan 374 olgunun demografik özellikleri ve etiyolojik faktörleri: 11 yıllık retrospektif çalışma. *Selçuk Dental Journal*, 9(2), 417-422.

Gülen, B., Serinken, M., Hatipoğlu, C., Özaşır, D., Sönmez, E., Kaya, G., & Akpınar, G. (2016). Work-related injuries sustained by emergency medical technicians and paramedics in Turkey. *Turkish Journal of Trauma and Emergency Surgery*, 22, 145-149.

Hareru, H., Negassa, B., Abebe, R., Ashenafi, E., Zenebe, G., Debelu, B., Ashuro, Z., & Soboksa, N. (2022). The epidemiology of road traffic accidents and associated factors among drivers in Dilla Town, Southern Ethiopia. *Frontiers in Public Health*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.1007308>

Hakamies-Blomqvist, L. (1993). Fatal accidents of older drivers. *Accident; Analysis and Prevention*, 25(1), 19-27. [https://doi.org/10.1016/0001-4575\(93\)90093-C](https://doi.org/10.1016/0001-4575(93)90093-C)

Ho, J., & Casey, B. (1998). Time saved with use of emergency warning lights and sirens during response to requests for emergency medical aid in an urban environment. *Annals of Emergency Medicine*, 32(5), 585-588. [https://doi.org/10.1016/S0196-0644\(98\)70037-X](https://doi.org/10.1016/S0196-0644(98)70037-X)

Hudec, J., & Šarkan, B. (2022). Effect of periodic technical inspections of vehicles on traffic accidents in the Slovak Republic. *Communications - Scientific Letters of the University of Zilina*. <https://doi.org/10.26552/com.c.2022.3.a142-a159>

Høye, A. (2019). Vehicle registration year, age, and weight: Untangling the effects on crash risk. *Accident; Analysis and Prevention*, 123, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.11.002>

Infante, P., Jacinto, G., Afonso, A., Rego, L., Nogueira, P., Silva, M., Nogueira, V., Saias, J., Quaresma, P., Santos, D., Góis, P., & Manuel, P. (2023). Factors That Influence the Type of Road Traffic Accidents: A Case Study in a District of Portugal. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su15032352>.

Kahn, C., Pirrallo, R., & Kuhn, E. (2001). Characteristics of fatal ambulance crashes in the United States: An 11-year retrospective analysis. *Prehospital Emergency Care*, 5, 261-269. <https://doi.org/10.1080/10903120190939751>

Kılıç, A. F. (2022). Değişkenlerin Kategori Sayılarının ve Dağılımlarının Korelasyon Katsayılarına Etkisi. *Ege Eğitim Dergisi*, 23(1), 50-80. <https://doi.org/10.12984/egced.890104>

Klinjun, N., Kelly, M., Praditsathaporn, C., & Petsirasan, R. (2021). Identification of Factors Affecting Road Traffic Injuries Incidence and Severity in Southern Thailand Based on Accident Investigation Reports. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su132212467>.

Kontek, K. ve Sosnowska, H. (2020). Jury Members' Particular Tastes or Cliques? How to Reduce Manipulation Levels in Group Decisions?. *Group Decision and Negotiation*, 29, 1057 - 1084. <https://doi.org/10.1007/s10726-020-09694-y>.

- Kulvatunyoun, N. (2013). Association between side-impact airbag deployment and risk of injury: A matched cohort study using the CIREN and the NASS-CDS. *The Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, 74(5), 1378–1379. <https://doi.org/10.1097/TA.0b013e31828b7ad1>
- Lacher, M., & Bausher, J. (1997). Lights and siren in pediatric 911 ambulance transports: Are they being misused? *Annals of Emergency Medicine*, 29(2), 223–227. [https://doi.org/10.1016/S0196-0644\(97\)70272-5](https://doi.org/10.1016/S0196-0644(97)70272-5)
- Lai, Y., Chou, Y., & Chang, L. (2017). An intelligent IoT emergency vehicle warning system using RFID and Wi-Fi technologies for emergency medical services. *Technology and Health Care*, 26(1), 43–55. <https://doi.org/10.3233/THC-171405>
- Lai, Y.-L., Chou, Y.-H., Chang, L.-C., (2018). An intelligent IoT emergency vehicle warning system using RFID and Wi-Fi technologies for emergency medical services. *THC* 26, 43–55. <https://doi.org/10.3233/THC-171405>
- Lee, W., & Chiu, C. (2020). Design and implementation of a smart traffic signal control system for smart city applications. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 20. <https://doi.org/10.3390/s20020508>
- Lee, J., Chae, J., Yoon, T., & Yang, H. (2018). Traffic accident severity analysis with rain-related factors using structural equation modeling - A case study of Seoul City.. *Accident; analysis and prevention*, 112, 1-10 . <https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.12.013>.
- Maasalo, I., Lehtonen, E., & Summala, H. (2019). Drivers with child passengers: Distracted but cautious? *Accident; Analysis and Prevention*, 131, 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.06.004>
- Maguire, B.J., & Smith, S. (2013). Injuries and fatalities among emergency medical technicians and paramedics in the United States. *Prehospital Disaster Medicine*, 28, 376-382.
- Maguire, B. J., & Smith, S. (2019). Ambulance crashes: Risk and prevention strategies. *Journal of Emergency Medical Services*, 44(3), 16–23.
- Makarova, I., Buyvol, P., Yakupova, G., Mukhametdinov, E., & Pashkevich, A. (2020). Identification for Factors and Causes Affecting the Traffic Accident Severity. *2020 XII International Science-Technical Conference AUTOMOTIVE SAFETY*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/AUTOMOTIVESAFETY47494.2020.9293502>
- Missikpode, C., Peek-Asa, C., Young, T. L., & Hamann, C. J. (2018). Does crash risk increase when emergency vehicles are driving with lights and sirens? *Accident; Analysis and Prevention*, 113, 257–262.
- Mostafanejad, R., Janati, A., Sadeghi-Bazargani, H., & Babaie, J. (2019). Challenges of scene management in road traffic accidents: A systematic literature review. *Journal of Injury and Violence Research*, 11. <https://doi.org/10.5249/jivr.v11i2.1342>
- Moussa, E. H., Kebir, S. T., & Amrouche, A. (2023). Intelligent transport system (ITS) for healthcare: Smart ambulance. In *2023 2nd International Conference on Electronics, Energy and Measurement (IC2EM)*, IEEE, Medea, Algeria, 1–6. <https://doi.org/10.1109/IC2EM59347.2023.10419718>
- Norii, T., Nakao, S., Miyoshi, T., Braude, D., Sklar, D., & Crandall, C. (2021). Driving Ambulances Safely: Findings of Ten Years of Japanese Ambulance Crash Data. *Prehospital Emergency Care*, 27, 94 - 100. <https://doi.org/10.1080/10903127.2021.2015026>.
- Norii, T., Nakao, S., Miyoshi, T., Hatanaka, T., Miyake, T., Okunaga, A., Albright, D., Braude, D., Sklar, D.P., Yang, M., Crandall, C., (2023). Ambulance Traffic Crashes in Japan: Characteristics of Casualties and Efforts to Improve Ambulance Safety. *Prehospital Emergency Care* 28, 598–608. <https://doi.org/10.1080/10903127.2024.2315946>
- Ommeren, J., Rietveld, P., Hop, J., & Sabir, M. (2013). Killing kilos in car accidents: Are external costs of car weight internalized? *Economics of Transportation*, 2, 86–93. <https://doi.org/10.1016/J.ECOTRA.2013.06.001>

- Orsi, C., Marchetti, P., Montomoli, C., & Morandi, A. (2013). Car crashes: The effect of passenger presence and other factors on driver outcome. *Safety Science*, 57, 35–43. <https://doi.org/10.1016/J.SSCI.2013.01.017>
- Parker, D., West, R., Stradling, S., & Manstead, A. S. R. (1995). Behavioural characteristics and involvement in different types of traffic accident. *Accident Analysis & Prevention*, 27(4), 571-581. [https://doi.org/10.1016/0001-4575\(95\)00005-K](https://doi.org/10.1016/0001-4575(95)00005-K)
- Pitta, L., Quintas, J., Trindade, I., Belchior, P., Gameiro, K., Gomes, C., Nóbrega, O., & Camargos, E. (2021). Older drivers are at increased risk of fatal crash involvement: Results of a systematic review and meta-analysis. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 95, 104414. <https://doi.org/10.1016/j.archger.2021.104414>
- Ray, A. M., & Kupas, D. F. (2005). Comparison of crashes involving ambulances with those of similar-sized vehicles. *Prehospital Emergency Care*, 9, 412–415.
- Saunders, C., & Heye, C. (1994). Ambulance collisions in an urban environment. *Prehospital and Disaster Medicine*, 9, 118–124. <https://doi.org/10.1017/S1049023X00041017>
- Selimoğlu, E. (2014). Trafik kazalarının nedenleri, sonuçları ve kazaların önlenmesine ilişkin öneriler. *Ziraat Mühendisliği*, 51, 54.
- Sosyal Güvenlik Kurumu. (2022). Trafik Kaza İstatistikleri.
- Tennyson, J., Maranda, L., & Darnobid, A. (2011). Knowledge and beliefs of EMS providers toward lights and siren transportation. *Western Journal of Emergency Medicine*, 16, 465–471. <https://doi.org/10.5811/westjem.2015.2.24212>
- Tennyson, J., Maranda, L., & Darnobid, A. (2015). Knowledge and beliefs of EMS providers toward lights and siren transportation. *Western Journal of Emergency Medicine*, 16, 465–471.
- Theofilatos, A., Ziakopoulos, A., Papadimitriou, E., & Yannis, G. (2018). How many crashes are caused by driver interaction with passengers? A meta-analysis approach. *Journal of Safety Research*, 65, 11–20. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2018.02.001>
- Tiwari, G. (2012). Traffic safety in selected countries: hospital-based evidence. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, 19, 311 - 312. <https://doi.org/10.1080/17457300.2012.748260>.
- Turkdemir, Ahmet Haki & Aysun, Altuğ. (2003). Türkiye’de Ambulans Kazalarında Değişim. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1030.0409>.
- Uthirasamy, R., Priyan, S., Abishek, S., & Akash, N. (2022). Automated UAV delivery system with medical emergency supplies. *Proceedings of the International Conference on Intelligent Technologies in Security and Privacy for Wireless Communications (ITSPWC 2022)*, May 14–15, 2022, Karur, Tamilnadu, India. <https://doi.org/10.4108/eai.14-5-2022.2318883>
- White, W. (1986). Does periodic vehicle inspection prevent accidents? *Accident; Analysis and Prevention*, 18(1), 51–62. [https://doi.org/10.1016/0001-4575\(86\)90036-9](https://doi.org/10.1016/0001-4575(86)90036-9)
- World Health Organization. (2023). *Global status report on road safety 2023*. WHO. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241565684>
- Yaprak, Ş. (Ed.). (2017). 7. Karayolu Trafik Güvenliği Sempozyumu ve Sergisi Sunulan Bildiriler Kitabı. Emniyet Genel Müdürlüğü. https://www.trafik.gov.tr/kurumlar/trafik.gov.tr/06-Yayinlar/Sempozyum/KTGS/2016_Bildiriler.pdf
- Yaşar, M. (2010). Kolonoskopi sonuçlarımızın retrospektif analizi. *Konuralp Medical Journal*, 2(3), 6–9.

Yazıcı, R., Bala, E. D., Güner, M., Kalafat, A. F. B., Kaya, H., Kalafat, U. M., Tapkan, R. B., Yeniyurt, B., & Doğan, S. (2024). Characteristics of ambulance crashes in Ankara: A retrospective analysis.

Yıldırım, S. A., Mert, S., & Pekdemir, M. (2021). 5-year retrospective analysis of ambulance driving techniques training for paramedic students. *Journal of Pre-Hospital*, 6(1), 51–68.

Young, H. P. (1974). An axiomatization of Borda's rule. *Journal of Economic Theory*, 9(1), 43-52. [https://doi.org/10.1016/0022-0531\(74\)90073-8](https://doi.org/10.1016/0022-0531(74)90073-8)

Zhang, J., Fraser, S., Lindsay, J., Clarke, K., & Mao, Y. (1998). Age-specific patterns of factors related to fatal motor vehicle traffic crashes: Focus on young and elderly drivers. *Public Health*, 112(5), 289–295. <https://doi.org/10.1038/SJ.PH.1900485>

Zhang, W., Xu, H., Wu, B., & Li, S. (2008). Safety management of traffic accident scenes based on system dynamics. *2008 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA)*, 2, 482–485. <https://doi.org/10.1109/ICICTA.2008.83>

Zheng, C., Zhao, X., (2023). Analysis of the Relevance Degree of the Influencing Factors of Traffic Accidents, in: *Proceedings of the 2023 3rd International Conference on Big Data, Artificial Intelligence and Risk Management*, pp. 10–15. <https://doi.org/10.1145/3656766.3656768>

Zou, Y., Zhang, Y., & Cheng, K. (2021). Exploring the Impact of Climate and Extreme Weather on Fatal Traffic Accidents. *Sustainability*, 13(1), 390. <https://doi.org/10.3390/su13010390>



Journal of Turkish Operations Management

AHP yöntemi ile öncelikli iyileştirilmesi gereken sayaç hatası yönetim bileşenlerinin tespiti

Furkan Acar¹, Cansu Bozkurt^{2*}, Mahmut Fırat³

¹İnönü Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye

e-mail: acar_furkan@outlook.com.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0009-0001-2104-0031>

^{2*}Ardahan Üniversitesi, Teknik Bilimleri Meslek Yüksek Okulu, Ardahan, Türkiye

e-mail: cansubozkurt@ardahan.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-0987-1297>

³İnönü Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye

e-mail: mahmut.firat@inonu.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-8010-9289>

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 28.11.2024

Revize: 25.04.2025

Kabul: 27.04.2025

Anahtar Kelimeler:

Su Kayıp Yönetimi

İdari Su Kayıpları

Sayaç Hataları

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

Önceliklendirme

Özet

Su temin ve dağıtım sistemlerinde meydana gelen su kayıpları su idareleri için ekonomik kayıp oluşturması nedeniyle önemli bir sorundur. Su idareleri için doğrudan gelir kaybına sebep olan idari kayıplar yasal olmayan tüketimler, faturalama, veri işleme hataları ve sayaç hatalarından oluşmaktadır. Yasal olmayan tüketimler ve faturalama hataları doğrudan idare yönetimi ile ilişkilidir ve prosedürlerin iyileştirilmesi ile azaltılabilmektedir ancak sayaç hatalarından kaynaklanan kayıpların ölçülmesi ve yönetimi daha zordur. Bu çalışmada sayaç hatası yönetim bileşenlerini tespit etmek, ağırlık katsayılarını belirlemek ve bileşenleri önceliklendirmek amacıyla çok kriterli karar verme yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi uygulanmıştır. Çalışma kapsamında 27 bileşen tespit edilmiş ve bu bileşenler İdare yönetim, Su dengesi bileşenleri, İdari kayıp yönetimi, Ekonomik analiz, Performans izleme ve Veri yönetimi ana başlıkları altında incelenmiştir. Sonuçlar, sayaç hatası yönetim bileşenlerinden en etkili olanın 0,1224 ağırlık katsayısı ile "Sayaç hata oranlarının belirlenmesi-sayaçların izlenmesi" bileşeni olduğunu ve 0,0782 katsayı ile "İdari kayıplara etki eden faktörlerin analizi" ile 0,0770 katsayı ile "Abone sayaç hatasından kaynaklanan kayıplar"ın takip ettiğini göstermiştir. Yapılan çalışma strateji belirleme ve önceliklendirme kapsamında karar analizi yönteminin nasıl uygulanabileceği ve sayaç hatası yönetim bileşenlerinin idari kayıp oluşturmadaki etki düzeyinin AHP yöntemi ile ölçülebileceğini göstermektedir.

Determination of Meter Error Management Components that Need Priority Improvement with AHP Method

Article Info

Article History:

Received: 28.11.2024

Revised: 25.04.2025

Accepted: 27.04.2025

Keywords:

Water Loss Management

Apparent Water Losses

Meter Errors

Analytic Hierarchy Process (AHP)

Prioritization

Abstract

Water losses in supply and distribution systems pose a significant problem for water utilities due to the economic losses they cause. Apparent losses, which directly result in revenue loss for utilities, arise from unauthorized consumption, billing and data processing errors, and meter inaccuracies. While unauthorized consumption and billing errors are directly linked to utility management and can be mitigated through procedural improvements, measuring and managing losses caused by meter inaccuracies is more challenging. This study applies the Analytic Hierarchy Process (AHP), a multi-criteria decision-making method, to identify the components of meter error management, determine their weight coefficients, and prioritize them. A total of 27 components were identified and analyzed under six main categories: Utility Management, Water Balance Components, Apparent Loss Management, Economic Analysis, Performance Monitoring, and Data Management. The results show that the most influential component in meter error management is "Determining meter error rates and monitoring meters," with a weight coefficient of 0.1224. This is followed by "Analyzing factors affecting apparent losses" (0.0782) and "Losses due to customer meter errors" (0.0770). The study shows how decision analysis method can be applied in the scope of strategy determination and prioritization, and the level of impact of meter error management components on apparent loss can be measured by AHP method.

1. Giriş

Su kıtlığı ve değişen iklim koşulları su arz ve talebi arasındaki dengenin korunmasını zorunlu hale getirmiştir. Bu nedenle uygun su yönetimi stratejilerini tespit etmeye yönelik yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Gelir getirmeyen su (GGS), standart su dengesi terminolojisine göre sistem giriş hacmi ile faturalandırılmış yasal tüketim arasındaki farktır, fiziksel ve idari su kayıpları ile faturalandırılmamış yasal tüketimden oluşmaktadır (McKenzie vd., 2002). Birçok araştırma bazı ülkelerde GGS'lerin sistem giriş hacminin %50'sine yaklaştığını göstermiştir (Boztaş vd., 2019). Su kayıpları, yönetim performansı ve ekonomik sürdürülebilirliği açısından su idarelerinde verimsizliklere neden olmaktadır. Fiziksel kayıplar temin ve dağıtım sistemlerindeki sızıntılar, depolarda kaçak veya taşmalar, servis bağlantılarındaki kayıplardan, idari kayıplar ise yasal olmayan kullanım, sayaç hataları ve veri işleme, okuma hatalarından kaynaklanmaktadır (Hamilton vd., 2006; Lambert vd., 1999; Xin vd., 2014). Su idareleri açısından idari kayıplar dikkate alınacak düzeyde gelir kaybına neden olmaktadır. Sayaç yaşı, aşınma durumu, yanlış montaj uygulamaları, bakım ve kalibrasyon eksikliği, yanlış sayaç tip ve sınıfının seçilmesi, yanlış boyutta sayaç kullanılması, askı maddeleri ve sayaçlarda biriken tortular gibi bazı parametreler ölçüm hatalarından kaynaklanan idari kayıplara sebep olmaktadır (Arregui vd., 2006; Fontanazza vd., 2015; Rizzo & Cilia, 2005).

Su sayaçlarının doğruluğu su kayıp yönetimi uygulamalarının yürütülmesinde ve su kıtlığı ile karşı karşıya kalan idareler için su tedarikinin sağlanmasında önemli rol oynamaktadır (Helmecke vd., 2020). Karmaşık olan su kayıp yönetim bileşenlerinin seçilmesi ve uygulanması önemlidir. Su dağıtım sistemlerinde su kayıplarını değerlendirmeye yönelik çok kriterli karar verme yöntemlerinin karar sürecine sistematik bir şekilde katkı sağlayabileceği düşünülmektedir (Alves vd., 2018). Bu amaç doğrultusunda (Mokhtari & Sarraf, 2023) tarafından gerçekleştirilen çalışmada su dağıtım şebekelerinde kayıp yönetim stratejilerinin belirlenmesi, önceliklendirilmesi ve en etkili stratejisinin seçilmesi amacıyla çok kriterli karar verme tekniklerinden AHP uygulanmıştır. (Hassoun Nedjar vd., 2023) çalışmasında su dağıtım şebekelerinde rehabilitasyon çalışmalarının planlaması amacıyla AHP yöntemi uygulanmıştır. Bu amaçla boru bozulmaları üzerinde etkili bileşenler belirlenmiş, bu bileşenler fiziksel, teknik ve çevresel olmak üzere üç ana başlıkta incelenmiştir. (Zyoud vd., 2016) Filistin'de kesintili su tedariki yapılan bir sistemde su kaybı yönetimine karar vermek için AHP yöntemi uygulanmıştır. Sonuçlar işletme basıncının kontrol edilmesi ve yönetilmesi planının en etkili seçenek olduğunu göstermiştir. (Yılmaz vd., 2021) GGS seviyesini azaltmak ve sayaç değişimi ve rehabilitasyonunda öncelikli bölgeleri belirlemek amacıyla AHP ile entegre bir sıralama yöntemi uygulanmıştır. Çalışmada su tüketim oranı, sayaç yaşı, hatalı sayaç oranı, bölge nüfusu, ortalama işletme basıncı, kalibre edilen sayaç sayısı bileşenleri incelenmiştir. (Mutikanga vd., 2011) çalışmada su kayıp yönetimi stratejilerinin planlanmasında çok kriterli karar verme teknikleri kullanılmıştır. Sonuçlar su temini güvenilirliği, halk sağlığı ve su tasarrufunu artıran seçeneklerin en çok tercih edilen seçenekler olduğunu göstermektedir.

Hacim bakımından daha az miktarda kayıp oluşturması nedeniyle yeterli önemin verilmediği idari su kayıpları, doğrudan gelir kaybı oluşturması sebebiyle kontrol altında tutulmalıdır. Ayrıca idari su kayıplarının sayaç hataları nedeniyle doğru ölçülememesi su dengesi hesaplamalarında hata oluşturacağı için önem arz etmektedir. Bu çalışma kapsamında idari kayıpları oluşturan yirmi sekiz sayaç hatası bileşeni tespit edilerek altı ana başlık altında sınıflandırılmıştır. Bileşenlerin sayaç hatası oluşturma potansiyelini araştırmak için su idareleri açısından oldukça karmaşık olan yönetim planlarının belirlenmesinde karmaşık problemleri basitleştirerek karşılaştırılmalarına fırsat tanıyan AHP yöntemi uygulanmıştır. Böylece en etkili yönetim bileşenleri belirlenerek idarelerin su kayıpları üzerinde kontrol sağlamaları amaçlanmıştır.

2. Sayaç Hatası Yönetim Bileşenleri

Çalışma kapsamında sayaç hatası yönetim bileşenleri İdare yönetim, Su dengesi bileşenleri, İdari kayıp yönetimi, Ekonomik analiz, Performans izleme ve Veri yönetim olmak üzere altı ana başlık altında incelenmiştir. Tablo 1'de sayaç hatası yönetimi ana ve alt bileşenleri sunulmuştur.

3. Materyal ve Metot

3.1. Analitik Hiyerarşi Proses (AHP)

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), 1977'de Saaty tarafından alternatifler arasında karar verme problemlerinin çözümünde kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Karar alırken öncelikleri dikkate alan, nicel ve nitel değişkenleri

birlikte değerlendiren matematiksel bir yöntem olarak geliştirilmiştir (Dağdeviren vd., 2004). AHP, karar vericilerin tecrübelerini ve bilgilerini karar verme sürecine dâhil edip karmaşık problemleri basitleştirerek problemin hiyerarşik bir yapıda çözülmesini sağlamaktadır (Ömürbek & Şimşek, 2014; Tüzemen & Özdağoğlu, 2007).

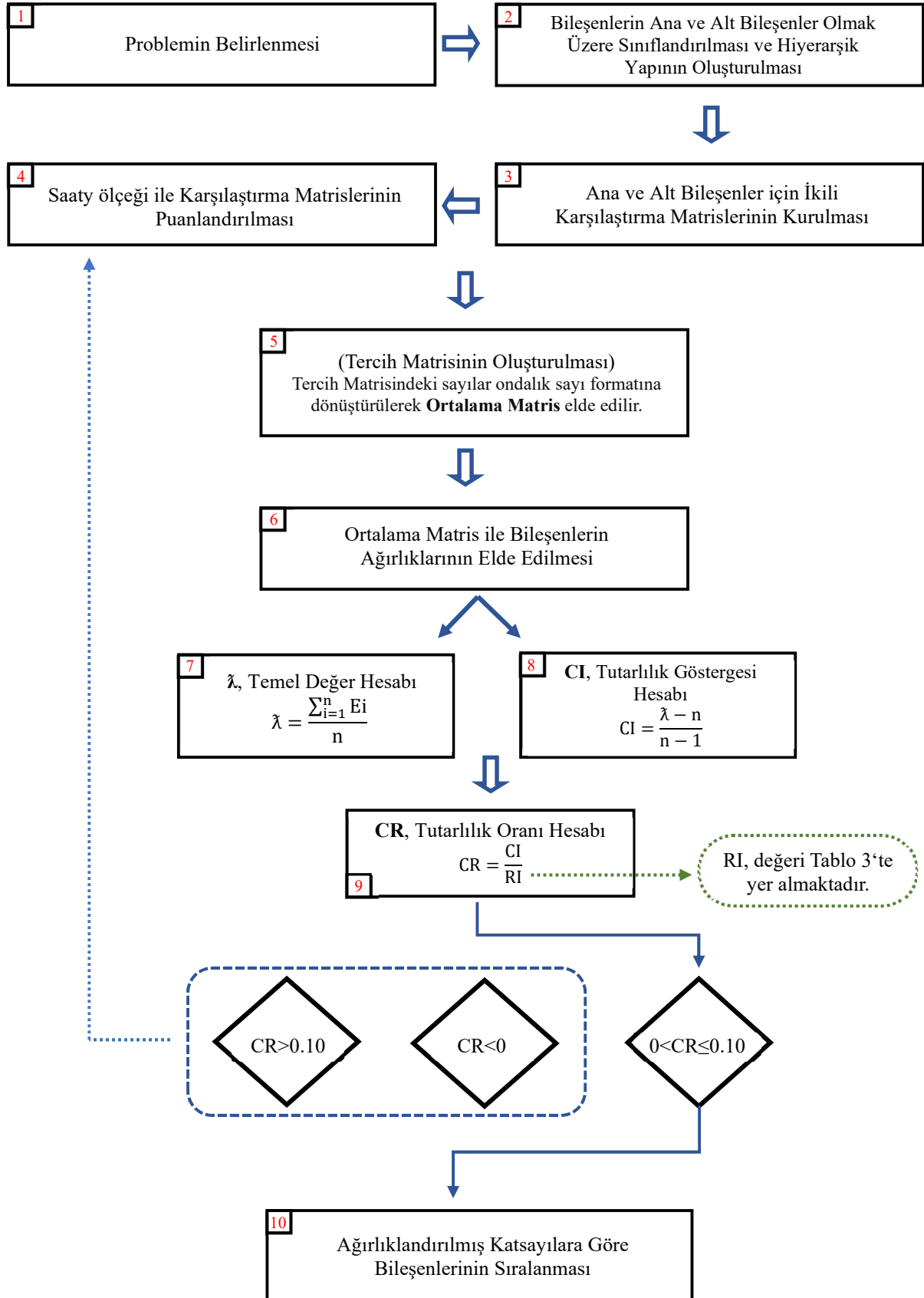
Tablo 1. Sayaç hatası yönetim bileşenleri

Ana Bileşenler	Alt Bileşenler
İdare Yönetim	Kurum üst yönetiminin su kayıp azaltma faaliyetlerine bakış açısı
	Su kayıp bileşenlerinin yönetilmesi için yol haritası
	İdari kayıp bileşenleri için yasal şartnameler
	İdari kayıp yönetimi programlarının teknik-ekonomik denetim politikası
Su Dengesi Bileşenleri	İdari kayıp yönetimi açısından mevcut durum analizi /değerlendirme
	Abone sayaç hatasından kaynaklanan kayıplar
	Kaçak kullanımdan kaynaklı kayıplar
	Aboneler için uzaktan okuma sistemlerinin kullanılması
İdari Kayıp Yönetimi	Yasal faturalandırılmamış kullanıcı sayısı ve takılan sayaç sayısı
	Yüksek tüketimli abonelerin uzaktan okunması-izlenmesi
	Özel tüketimli aboneler için uzaktan okuma sistemi
	İdari kayıplara etki eden faktörlerin analizi
Ekonomik Analiz	İdari kayıp azaltma ve yönetim stratejisi
	Sayaç hata oranlarının belirlenmesi-sayaçların izlenmesi
	Abone sayaçlarının kalibrasyonu-test laboratuvarının varlığı
	Abone sayaç tercihi ve kullanımı için yazılı teknik şartname ve kılavuzun varlığı
Performans İzleme	Yasal faturalandırılmamış abonelerin uzaktan okuma ile izlenmesi ve azaltılması
	Sayaç yenileme maliyetinin analizi ve izlenmesi
	İdari kayıpları önleme faaliyetlerinin maliyetlerinin ve ekonomik kazanımlarının analizi ve izlenmesi
	Sayaç hatalarından kaynaklı idari kayıp maliyetinin analizi ve izlenmesi
Veri Yönetimi	Ekonomik analizi esas alan sayaç yenileme stratejisi
	Su kayıpları önleme-kontrol-izleme-analiz faaliyetlerinin verimlilik ve ekonomik açıdan analizi ve izlenmesi
	Okullarda ve kamu binalarında tüketimler ve sayaçların kontrolü
	Abone sayısı
Veri Yönetimi	Sayaç Yaşı
	Sayaç yönetimi veri tabanı (Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile entegre)
	Site vb. yerler için kontrol sayacı takılması ve izlenmesi

AHP, temelde üç işlem adımından oluşmaktadır (Wind & Saaty, 1980). İlk olarak problem belirlenip amaca uygun hiyerarşik bir yapı oluşturulmaktadır. Oluşturulan hiyerarşik yapıdan sonra ikinci olarak kriterlerin izafi önem derecelerini belirten ikili karşılaştırma matrisi hesaplanmaktadır. En son da hesaplanan matriste yer alan değerler için tutarlılık oranı tespit edilmektedir (Chou vd., 2008).

Tablo 2. Puanlandırma esasları (R. W. Saaty, 1987)

Önem Derecesi	Tanıtım	Açıklama
1	Eşit Önemli	İki bileşenin de önem derecesi eşittir.
3	Orta Derece Önemli	Bir bileşenin önem derecesi diğerine oranla biraz daha önemlidir.
5	Yüksek Derece Önemli	Bir bileşen diğer bileşene göre oldukça önemlidir.
7	Çok Yüksek Derece Önemli	Bir bileşenin diğer bileşene nazaran önem derecesi çok yüksektir.
9	Son Derece Önemli	Bir bileşenin önem derecesi diğer bileşene göre son derece önemli bir biçimdedir.
2,4,6,8	Ara Önem Dereceleri	Gerektiğinde ara rakamlar kullanılabilir.



Şekil 1. AHP işlem adımları

Karar vericiler tarafından yapılan puanlamalarla oluşturulan ikili karşılaştırma matrisleri ve bu matrislerin çözümü sonucunda elde edilen her bir bileşenin ağırlığı, W faktör ağırlıklarının matris çarpımıyla hesaplanarak D sütun matrisi elde edilir. Ardından, D sütun matrisindeki elemanlar, sırasıyla ağırlık katsayılarına bölünerek her bileşene ait temel değeri ifade eden E sütun matrisi oluşturulur (T. L. Saaty, 2002; Yılmaz, 2017).

Tablo 3. RI değeri

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.53	1.56	1.57

CR değerinin 0.10'dan küçük olması durumunda, karşılaştırma matrisinin tutarlı olduğuna karar verilir. Ancak, CR değeri 0.10'dan büyük veya 0'dan küçük olması durumunda, ya karar vericilerin puanlamalarının hatalı olduğu ya da AHP yönteminin işlem adımlarında matematiksel bir hata yapıldığı anlaşılır. Bu durumda, öncelikle matematiksel işlemler kontrol edilmelidir. Eğer işlemlerde hata yoksa karar vericilere veya uzmanlara danışılarak puanlamalar gözden geçirilmeli, gerekiyorsa ara değerler kullanılmalıdır.

4. Analiz ve Bulgular

Çalışma kapsamında incelenecek bileşenler belirlendikten sonra çalışma modelinde bulunan ana başlıklar ve alt bileşenleri için İkili Karşılaştırma Matrisleri (İKM) oluşturulmuş ve uzmanlardan Saaty ölçeği kullanılarak puanlandırma yapmaları istenmiştir. Tablo 4'te ana başlıklar için karşılaştırmalı yargıların bulunduğu matris sunulmuştur.

Tablo 4. Ana başlıklar için İKM

İKM	İ	S	İK	E	P	V
İdare Yönetim (İ)	1	1/3	1/3	3	3	1/3
Su Dengesi Bileşenleri (S)	3	1	1/3	3	3	2
İdari Kayıp Yönetimi (İK)	3	3	1	3	3	3
Ekonomik Analiz (E)	1/3	1/3	1/3	1	2	1/3
Performans İzleme (P)	1/3	1/3	1/3	1/2	1	1/3
Veri Yönetimi (V)	3	1/2	1/3	1/3	3	1
TOPLAM	10,67	5,5	2,67	13,5	15	7

Diğer işlem adımında ise İKM'ler normalize edilmektedir. Tablo 5'te ana başlıklar için normalize edilmiş matris verilmiştir. Normalizasyon işleminde değerler kendi matris sütunlarının toplamına bölünmesi ile gerçekleştirilmektedir. Normalize matrisin satır ortalamaları ise bileşenlerin öncelik değerlerini vermektedir.

Tablo 5. Ana başlıklar için normalize edilmiş matris

	İ	S	İK	E	P	V	W
İ	0,09	0,06	0,13	0,22	0,20	0,05	0,12
S	0,28	0,18	0,13	0,22	0,20	0,29	0,22
İK	0,28	0,55	0,38	0,22	0,20	0,43	0,34
E	0,03	0,06	0,13	0,07	0,13	0,05	0,08
P	0,03	0,06	0,13	0,04	0,07	0,05	0,06
V	0,28	0,09	0,13	0,22	0,20	0,14	0,18

Ağırlık katsayıları belirlendikten sonra her bir uzman tarafından puanlandırılan matrislerin ayrı ayrı tutarlılık analizleri gerçekleştirilmektedir. Tutarlı çıkmayan puanlandırmalar için öncelikle matematiksel işlemler kontrol edilmektedir daha sonra ilgili uzmandan karşılaştırmalı yargıları tekrar gözden geçirmesi talep edilmektedir. Böylece sadece tutarlılık oranının sağlandığı matrisler için geometrik ortalama alınarak tek bir karar matrisi oluşturulmuş olur. Tablo 6'da tutarlılık analizi hesaplamaları gösterilmektedir.

Tablo 6. Tutarlılık analizi hesaplamaları

İKM	İ	S	İK	E	P	V		W	D
İ	1	1/3	1/3	3	3	1/3		0,12	0,79
S	3	1	1/3	3	3	2		0,22	1,48
İK	3	3	1	3	3	3	x	0,34	2,32
E	1/3	1/3	1/3	1	2	1/3		0,08	0,49
P	1/3	1/3	1/3	1/2	1	1/3		0,06	0,39
V	3	1/2	1/3	1/3	3	1		0,18	1,19

İKM'nin tutarlılığını tespit edebilmek için tutarlılık indisi hesabı yapılmalıdır. Bunun için öncelikle İKM ile elde edilen öncelik değerlerinin matris çarpımı yapılarak D sütun vektörü elde edilmektedir. Tablo 7'de λ temel değerinin belirlenmesinde kullanılan E sütun vektörü hesabı yapılmıştır.

Tablo 7. E sütun vektörünün elde edilmesi

D		W		E
0,79		0,12		6,33
1,48		0,22		6,85
2,32	D/W	0,34	=	6,77
0,49		0,08		6,21
0,39		0,06		6,31
1,19		0,18		6,74
				$\sum E_i$ 39,2

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} = \frac{39,20}{6} = 6,53$$

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} = \frac{6,53 - 6}{6 - 1} = 0,11$$

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0,11}{1,24} = 0,086$$

Ana başlıklar için Temel değer (λ) 6,53, Tutarlılık indisi (CI) 0,11 ve Tutarlılık oranı (CR) ise 0,086 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen tutarlılık oranı $0 < CR \leq 0,10$ aralığında olduğu için ana başlıklar için yapılan karşılaştırmalı yargıların tutarlı olduğu tutarlılık analizi ile belirlenmiştir. Benzer şekilde tüm işlemler alt bileşenler için de gerçekleştirilmiştir.

Tablo 8. İdare Yönetim (İ) normalize matris ve tutarlılık değerleri

	İ1	İ2	İ3	İ4	İ5	W	D	E
İ1	0,45	0,39	0,29	0,29	0,62	0,41	2,29	5,59
İ2	0,15	0,13	0,29	0,18	0,07	0,16	0,87	5,33
İ3	0,15	0,04	0,10	0,18	0,07	0,11	0,55	5,10
İ4	0,09	0,04	0,03	0,06	0,04	0,05	0,28	5,23
İ5	0,15	0,39	0,29	0,29	0,21	0,27	1,48	5,56

İdare yönetim bileşenleri ağırlık katsayıları incelendiğinde en önemli bileşenin 0,41 katsayı ile İ1 “Kurum üst yönetiminin su kayıp azaltma faaliyetlerine bakış açısı” olduğu görülmektedir.

Tablo 9. Su Dengesi Bileşenleri (S) normalize matris ve tutarlılık değerleri

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	W	D	E
S1	0,39	0,56	0,28	0,28	0,38	0,23	0,35	2,39	6,78
S2	0,13	0,19	0,28	0,17	0,38	0,23	0,23	1,60	7,04
S3	0,13	0,06	0,09	0,17	0,04	0,23	0,12	0,77	6,41
S4	0,08	0,06	0,03	0,06	0,04	0,03	0,05	0,32	6,49
S5	0,13	0,06	0,28	0,17	0,13	0,23	0,17	1,12	6,78
S6	0,13	0,06	0,03	0,17	0,04	0,08	0,08	0,52	6,14

Su dengesi yönetim bileşenlerinden S1'in "Abone sayaç hatasından kaynaklanan kayıplar" bu başlık için en öncelikli bileşen olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 10. İdari Kayıp Yönetimi (İK) normalize matris ve tutarlılık değerleri

	İK1	İK2	İK3	İK4	İK5	İK6	W	D	E
İK1	0,19	0,38	0,13	0,28	0,24	0,17	0,23	1,59	6,92
İK2	0,06	0,13	0,13	0,28	0,24	0,17	0,17	1,10	6,59
İK3	0,56	0,38	0,39	0,28	0,24	0,28	0,36	2,39	6,73
İK4	0,06	0,04	0,13	0,09	0,16	0,17	0,11	0,69	6,26
İK5	0,06	0,04	0,13	0,05	0,08	0,17	0,09	0,54	6,14
İK6	0,06	0,04	0,08	0,03	0,03	0,06	0,05	0,32	6,45

Tablo 10 incelendiğinde İdari kayıp yönetimi bileşenlerinden ağırlık katsayısı en yüksek olan iki bileşen sırasıyla İK3 "Sayaç hata oranlarının belirlenmesi-sayaçların izlenmesi" ve İK1 "İdari kayıplara etki eden faktörlerin analizi" dir.

Tablo 11. Ekonomik Analiz (E) normalize matris ve tutarlılık değerleri

	E1	E2	E3	E4	W	D	E
E1	0,49	0,41	0,42	0,55	0,47	1,93	4,15
E2	0,16	0,14	0,25	0,09	0,16	0,65	4,07
E3	0,10	0,05	0,08	0,09	0,08	0,32	4,08
E4	0,25	0,41	0,25	0,27	0,29	1,25	4,23

Ekonomik analiz ana başlığında ağırlık katsayısı en yüksek olan bileşen E1 "Sayaç yenileme maliyetinin analizi ve izlenmesi" olarak bulunmuştur.

Tablo 12. Performans İzleme (P) normalize matris ve tutarlılık değerleri

	P1	P2	W	D	E
P1	0,83	0,83	0,83	1,67	2,00
P2	0,17	0,17	0,17	0,33	2,00

Performans izleme bileşenlerinden P1 "Su kayıpları önleme-kontrol-izleme-analiz faaliyetlerinin verimlilik ve ekonomik açıdan analizi ve izlenmesi" 0,83 katsayı ile en önemli bileşen olarak tespit edilirken P2 "Okullarda ve kamu binalarında tüketimler ve sayaçların kontrolü" bileşeninin ağırlık katsayısı 0,17 olarak bulunmuştur.

Tablo 13. Veri Yönetim (V) normalize matris ve tutarlılık değerleri

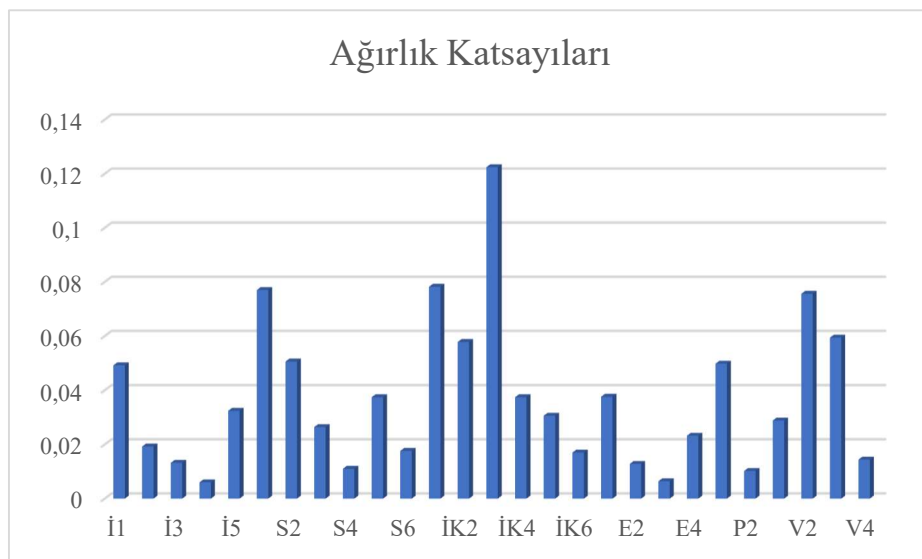
	V1	V2	V3	V4	W	D	E
V1	0,14	0,15	0,09	0,25	0,16	0,67	4,19
V2	0,41	0,46	0,57	0,25	0,42	1,82	4,32
V3	0,41	0,23	0,28	0,42	0,33	1,45	4,32
V4	0,05	0,15	0,06	0,08	0,08	0,35	4,07

Tablo 13'te sunulan değerler incelendiğinde ise V2 "Sayaç yaşı" ve V3 "Sayaç yönetimi veri tabanı (CBS ile entegre)" bileşenlerinin Veri yönetim ana başlığında en önemli iki bileşen olduğu görülmektedir.

Ana başlık ve her ana başlık altında bulunan alt bileşenler için ağırlık katsayıları elde edildikten sonra ana başlık ağırlığı ile alt bileşen ağırlıklarının çarpımı sonucu bütünlük ağırlık katsayıları elde edilmektedir. Tablo 14'te tüm bileşenler için elde edilen bütünlük ağırlık katsayısı değerleri verilmiştir.

Tablo 14. Sayaç yönetim bileşenleri bütünlük ağırlık katsayıları

Ana Bileşenler	Ağırlık Katsayısı	CR	Alt Bileşenler	Ağırlık Katsayısı	CR	Bütünleşik Ağırlık Katsayısı
İ	0,12	0,086	İ1	0,41	0,080	0,0492
			İ2	0,16		0,0192
			İ3	0,11		0,0132
			İ4	0,05		0,006
			İ5	0,27		0,0324
S	0,22		S1	0,35	0,098	0,077
			S2	0,23		0,0506
			S3	0,12		0,0264
			S4	0,05		0,011
			S5	0,17		0,0374
			S6	0,08		0,0176
İK	0,34		İK1	0,23	0,083	0,0782
			İK2	0,17		0,0578
			İK3	0,36		0,1224
			İK4	0,11		0,0374
			İK5	0,09		0,0306
			İK6	0,05		0,017
E	0,08		E1	0,47	0,049	0,0376
			E2	0,16		0,0128
			E3	0,08		0,0064
			E4	0,29		0,0232
P	0,06		P1	0,83	0	0,0498
			P2	0,17		0,0102
V	0,18		V1	0,16	0,08	0,0288
			V2	0,42		0,0756
			V3	0,33		0,0594
			V4	0,08		0,0144



Şekil 2. Bütünlük ağırlık katsayıları

Tablo 14 ve Şekil 2 incelendiğinde sayaç yönetim bileşenlerinden en öncelikli ilk beş bileşenin sırasıyla İK3 “Sayaç hata oranlarının belirlenmesi-sayaçların izlenmesi” bileşeninin 0,1224 katsayı ile en öncelikli bileşen olduğu ardından 0,0782 katsayı ile İK1 “İdari kayıplara etki eden faktörlerin analizi”, 0,0770 katsayı ile S1 “Abone sayaç hatasından kaynaklanan kayıplar”, 0,0756 katsayı ile V2 “Sayaç yaşı” ve 0,0594 katsayı ile V3 “Sayaç yönetimi veri tabanı (CBS ile entegre)” bileşeni olduğu tespit edilmiştir.

5. Sonuçlar

Su şebekeleri yüksek düzeydeki kayıplar nedeniyle tehdit altındadır. Su kayıpları ile mücadele özellikle düşük ve orta gelirli ülkelerde su idareleri için önemli bir sorun haline gelmiştir. Su kayıp yönetimi kapsamında doğru karar verme; zamanında müdahale, doğru bakım ve onarım stratejilerinin geliştirilmesi, su kayıplarının azaltılması ve kontrol altında tutulması, tüketici memnuniyeti ve ekonomik açıdan idareler için oldukça önemlidir. Bu çalışmada idari kayıplar açısından kayda değer miktarda gelir kaybı oluşturan sayaç hatası yönetim bileşenleri AHP yöntemi ile analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ana başlıklar içerisinde en öncelikli olanın İdari kayıp yönetimi olduğunu göstermiştir. Sayaç hatası kaynaklı kayıpların azaltılması ve kontrol altında tutulması için en öncelikli olan bileşenlerin ise sırasıyla Sayaç hata oranlarının belirlenmesi-sayaçların izlenmesi, İdari kayıplara etki eden faktörlerin analizi, Abone sayaç hatasından kaynaklanan kayıplar, Sayaç yaşı ve Sayaç yönetimi veri tabanı (CBS ile entegre) olduğu tespit edilmiştir. Çalışmanın kentsel su temin ve dağıtım sistemlerinde geliri azaltarak idarelerin işletme ve bakım maliyetlerini artıran su kayıplarını azaltmada en etkili bileşenlerin analiz edilerek belirlenmesi, değerlendirilmesi ve su kayıp yönetiminde karar vermeyi kolaylaştırması bakımından katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Araştırmacıların Katkısı

Çalışmada Mahmut Fırat, fikrin oluşturulması ve gerçekleştirilmesi, analiz sonuçlarının değerlendirilmesi ve incelenmesi, Cansu Bozkurt çözüm yönteminin önerilmesi, model tasarımının yapılması, makalenin yazılması, Furkan Acar karar probleminin çözümü ve makalenin düzenlenmesi konularında katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Teşekkür

Bu çalışma İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (İÜ-BAP FYL-2024-3596) tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

Alves, A., Gersonius, B., Sanchez, A., Vojinovic, Z., & Kapelan, Z. (2018). Multi-criteria Approach for Selection of Green and Grey Infrastructure to Reduce Flood Risk and Increase CO-benefits. *Water Resources Management*, 32(7), 2505–2522. <https://doi.org/10.1007/s11269-018-1943-3>

Arregui, F. ., Cabrera, E., Cobacho, R., & García-Serra, J. (2006). Reducing Apparent Losses Caused By Meters Inaccuracies. *Water Practice and Technology*, 1(4). <https://doi.org/10.2166/wpt.2006.093>

Boztaş, F., Özdemir, Durmuşçelebi, F. M., & Fırat, M. (2019). Analyzing the effect of the unreported leakages in service connections of water distribution networks on non-revenue water. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16(8), 4393–4406. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-2085-0>

Chou, Y. C., Hsu, Y. Y., & Yen, H. Y. (2008). Human resources for science and technology: Analyzing competitiveness using the analytic hierarchy process. *Technology in Society*, 30(2), 141–153. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2007.12.007>

Dağdeviren, M., Akay, D., & Kurt, M. (2004). Analytical hierarchy process for job evaluation and application. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 19(2), 131–138. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/76125>

- Fontanazza, C. M., Notaro, V., Puleo, V., & Freni, G. (2015). The apparent losses due to metering errors: a proactive approach to predict losses and schedule maintenance. *Urban Water Journal*. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.882363>
- Hamilton, S., McKenzie, R., & Seago, C. (2006). A Review of Performance Indicators for Real Losses from Water Supply Systems. *Voda i sanitarna tehnika*, 36(6), 15–24. Retrieved from: https://www.miya-water.com/fotos/artigos/a_review_of_performance_indicators_for_real_losses_from_water_supply_systems_5940570895a325d5c3881c.pdf
- Hassoun Nedjar, N., Djebbar, Y., & Djemili, L. (2023). Application of the analytical hierarchy process for planning the rehabilitation of water distribution networks. *Arab Gulf Journal of Scientific Research*, 41(4), 518–538. <https://doi.org/10.1108/AGJSR-07-2022-0110>
- Helmecke, M., Fries, E., & Schulte, C. (2020). Regulating water reuse for agricultural irrigation: risks related to organic micro-contaminants. *Environmental Sciences Europe*, 32(1). <https://doi.org/10.1186/s12302-019-0283-0>
- Lambert, A. O., Brown, T. G., Takizawa, M., & Weimer, D. (1999). A review of performance indicators for real losses from water supply systems. *İçinde Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA* (C. 48, Sayı 6, ss. 227–237). İstanbul Technical University. <https://doi.org/10.2166/aqua.1999.0025>
- McKenzie, R. S., Lambert, A., & Commission, S. A. W. R. (2002). ECONOLEAK: Economic Model for Leakage Management for Water Suppliers in South Africa: User Guide. WRC. Retrieved from: <https://www.wrc.org.za/wp-content/uploads/mdocs/TT%20169-021.PDF>
- Mokhtari, M., & Sarraf, A. R. A. (2023). Loss Management Strategies of Drinking Water in Water Distribution Network of Isfahan City. 34(1), 96–109. <https://doi.org/10.22093/wwj.2022.345439.3262>
- Mutikanga, H. E., Sharma, S. K., & Vairavamoorthy, K. (2011). Multi-criteria Decision Analysis: A Strategic Planning Tool for Water Loss Management. *İçinde Water Resources Management*. <https://doi.org/10.1007/s11269-011-9896-9>
- Ömürbek, N., & Şimşek, A. (2014). Analitik Hiyerarşi Süreci Ve Analitik Ağ Süreci Yöntemleri İle Online Alışveriş Site Seçimi. *Journal of Management and Economics Research*, 22(22), 306–306. <https://doi.org/10.11611/jmer214>
- Rizzo, A., & Cilia, J. (2005). Quantifying meter under-registration caused by the ball valves of roof tanks (for indirect plumbing systems). *Leakage* 2005, 1–12. Retrieved from: <http://rash.apanela.com/tf/leakage/Quantifying%20Meter%20Under-Registration%20Caused%20by%20the%20Ball%20Valves%20of%20Roof%20Tanks.pdf>
- Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process-what it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, 9(3–5), 161–176. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)
- Saaty, T. L. (2002). Decision making with the Analytic Hierarchy Process. *Scientia Iranica*, 9(3), 215–229. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11269-008-9284-2>
- Tüzemen, A., & Özdağoğlu, A. (2007). Doktora öğrencilerinin eş seçiminde önem verdikleri kriterlerin Analitik Hiyerarşi Süreci yöntemi ile belirlenmesi. *İkdisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 1(21), 216–232. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/30139>
- Wind, Y., & Saaty, R. W. (1980). Marketing Applications of The Analytic Hierarchy Process. *Management Science*, 26(7), 641–658. <https://doi.org/DOI:10.1287/mnsc.26.7.641>
- Xin, K., Tao, T., Lu, Y., Xiong, X., & Li, F. (2014). Apparent losses analysis in district metered areas of water distribution systems. *Water Resources Management*, 28(3), 683–696. <https://doi.org/10.1007/S11269-013-0508-8>
- Yılmaz, S., Fırat, M., Bozkurt, C., & Özdemir, Ö. (2021). Identification of the priority regions in the customer water meters replacement using the AHP and ELECTRE methods. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 39(4), 331–342. <https://doi.org/10.14744/sigma.2021.00022>

Yılmaz, S. (2017). Müşteri Sayaçlarının Su Kayıplarına Etkisinin Araştırılması (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: <https://abakus.inonu.edu.tr/items/2339ddad-57cb-4740-a9f8-105e12e307d3>

Zyoud, S. H., Kaufmann, L. G., Shaheen, H., Samhan, S., & Fuchs-Hanusch, D. (2016). A framework for water loss management in developing countries under fuzzy environment: Integration of Fuzzy AHP with Fuzzy TOPSIS. Expert Systems with Applications. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.05.016>



Journal of Turkish Operations Management

Blockchain technology and the applicability of digital clustering in the defense industry ¹

Aygül Aytaç^{1*}, Serhat Çakır²

¹ The Ministry of National Defense, Ankara, Türkiye

e-mail: aygul04020112@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0003-1716-213X>

² Başkent University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Department of Technology and Knowledge Management, Ankara, Türkiye

e-mail: serhatc@baskent.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-1588-1360>

Article Info

Article History:

Received :

Revised :

Accepted :

Keywords:

Blockchain,
Digital clustering,
Defense industry,
Data security,
Innovation

Abstract

This article provides an in-depth analysis of the potential uses and benefits of blockchain technology and digital clustering within the defense industry. Owing to its decentralized architecture and robust security features, blockchain has attracted considerable attention, especially in high-risk sectors such as defense. Its capacity to facilitate secure data exchange, ensure traceability, and improve operational efficiency makes it particularly valuable. Meanwhile, digital clustering emerges as a promising approach for fostering innovation and strengthening cooperation among defense stakeholders. Employing a literature review and case analysis methodology, this study explores the feasibility and implications of integrating these technologies into defense systems. The findings suggest that, when effectively implemented, blockchain and digital clustering can offer substantial gains in terms of data security, traceability, and sector-wide innovation.

1. Introduction

The defense industry plays a critical role in ensuring national security and requires the highest levels of security, efficiency, and innovation (Aytaç, 2023; 2024a; 2024b). This sector demands rapid adoption and implementation of technological innovations. The integration of advanced technologies such as blockchain and digital clustering is seen as a strategic move to solve existing problems in the defense industry and make it more competitive.

Blockchain technology is known for its decentralized and secure structure. Since this technology ensures that data cannot be altered without consensus, it offers a significant advantage in data security. The security and integrity of sensitive data are crucial, especially in the defense industry (Aytaç and Çakır, 2023). Blockchain technology provides great value to the sector by ensuring the secure storage and traceability of this data (Aytaç, 2023, 2024a; Nakamoto, 2008). Moreover, the transparency and immutability features of blockchain offer critical benefits in the management and monitoring of supply chains, thus preventing counterfeit products from entering the supply chain and enhancing operational reliability (Kshetri, 2018).

Digital clustering, on the other hand, creates collaborative environments that enhance innovation and efficiency in the defense industry. Digital clustering encourages collaboration and facilitates information sharing among companies, research institutions, and other stakeholders operating in the defense industry. As a result, actors within the sector can benefit from each other's competencies and develop joint projects. This collaborative structure provided by digital clustering is particularly important in the process of developing and implementing new defense technologies (Cooke, 2002; Porter, 1998).

¹ An earlier version of this paper was presented at the 6th International Engineering and Technology Management Summit, held by Başkent University, 17-19 October 2024.

This article explores the convergence of blockchain and digital clustering technologies and evaluates their potential applications within the defense industry through an analysis of current literature and relevant case studies. The primary objective is to gain deeper insight into how these technologies can be synergistically implemented to support defense capabilities. Within this framework, the integration of blockchain and digital clustering holds considerable promise for enhancing data security, traceability, innovation, and operational efficiency in defense-related contexts.

2. Literature Review

2.1. Blockchain Technology in the Defense Industry

Blockchain technology has moved beyond cryptocurrencies to become a solid solution for secure data management in various industries. Its decentralized structure ensures that data cannot be altered without consensus, providing a high level of security (Aytaç, 2024; Aytaç and Çakır 2023; Nakamoto, 2008). In the defense industry, blockchain can be used to secure communication channels, manage supply chains, and ensure the integrity of sensitive data (Ketels, 2013). This is a significant advantage in ensuring cybersecurity in the defense sector. For example, the immutability of blockchain records protects critical defense information by preventing unauthorized access and changes (Aytaç, 2023; Yli-Huumo, Ko, Choi, Park and Smolander, 2016). This is particularly important in a sector where data breaches and cyberattacks can have serious consequences for national security (Zhang, Xue and Liu, 2019).

Blockchain technology also plays an important role in ensuring traceability in supply chains. Recording every step in the supply chain makes it possible to verify the accuracy and authenticity of components and products. Thus, the inclusion of counterfeit or low-quality components in the supply chain can be prevented, enhancing the reliability of defense equipment. This feature of blockchain is critically important for ensuring the quality and reliability of equipment used in military operations (Kshetri, 2018).

2.2. Digital Clustering for Innovation and Collaboration

Digital clustering involves creating collaborative networks among companies, research institutions, and other stakeholders to promote innovation and efficiency (Porter, 1998). Digital clustering facilitates information sharing and joint development projects within the defense industry, leading to significant progress (Cooke, 2002). As a result, costs can be reduced, and processes can be accelerated in the development of new technologies. Clusters can be geographic or virtual, using digital platforms to overcome physical barriers and increase collaboration (Ketels, 2013). This feature of digital clustering allows actors in the defense industry to collaborate globally and combine their expertise. For instance, digital clusters can facilitate the rapid prototyping and testing of new defense technologies by pooling resources and expertise from multiple organizations (Muro and Katz, 2010).

Digital clustering can also enhance the effectiveness of research and development (R&D) activities in the defense industry. R&D projects bring different stakeholders together to work towards common goals, accelerating the development of new technologies (Poter, 1998). Through digital clustering, innovative solutions in the defense industry can be brought to market more quickly, providing a competitive advantage in the sector.

2.3. Synergy Between Blockchain and Digital Clustering

The synergy between blockchain technology and digital clustering can address various challenges faced by the defense industry. Blockchain enhances the security and traceability of information shared within digital clusters, ensuring that all participants have access to accurate and immutable data (Aytaç, 2024; Swan, 2015). This can lead to more efficient collaboration and innovation since stakeholders can trust the integrity of shared data. Additionally, the transparency provided by blockchain increases accountability and governance within digital clusters, further enhancing their effectiveness.

This synergy between blockchain and digital clustering ensures that defense industry projects are carried out more efficiently and that the results are more reliable. For example, in cases where multiple stakeholders are involved in a defense project, blockchain technology can be used to transparently monitor each stakeholder's contributions and progress within the process. This allows potential delays or errors in projects to be quickly identified and resolved.

Using blockchain within digital clusters also enhances information security, making it possible to conduct collaborative work more reliably. The data integrity and security provided by blockchain are crucial in innovation processes conducted within clusters. Thus, different organizations working on joint projects in the defense industry can increase their trust in each other and develop more effective collaboration (Tapscott and Tapscott, 2016; Saberi, Kouhizadeh, Sarkis and Shen 2019; Casino, Dasaklis and Patsakis, 2019).

3. Methods

This study employed a qualitative research methodology, including an extensive literature review and practical case analyses, to evaluate the potential applications and advantages of blockchain technology and digital clustering in the defense industry. The literature review was conducted to explore existing research and theories on blockchain and digital clustering technologies, with a specific focus on their use in the defense sector. Various academic articles, reports, and case studies were analyzed to understand the theoretical foundations and practical implications of these technologies.

For the case analysis, specific examples from the defense industry were examined to illustrate the practical applications and challenges of integrating blockchain and digital clustering. These case studies provided insights into the operational benefits, potential risks, and best practices for implementing these technologies.

Data collected from the literature and case studies were systematically analyzed to identify key themes, patterns, and relationships. This approach enabled the study to provide a comprehensive understanding of how blockchain and digital clustering could synergize to enhance data security, traceability, and innovation in the defense industry. Since the study is a literature review, there is no need for ethical committee approval.

2.4. Case Studies

2.4.1. Blockchain in Defense Supply Chains

One of the important applications of blockchain in the defense sector is supply chain management. Kshetri's (2018) study emphasizes how blockchain can prevent counterfeit products from entering the supply chain. By providing a transparent and immutable record of the source and movements of a product, blockchain ensures that only verified components are used in defense production. This traceability increases the reliability and quality of defense equipment, ensuring operational security.

This traceability and transparency also enable different stakeholders involved in digital clustering processes to share data with each other in a reliable manner, creating synergy in collaborative innovation and supply chain management. For example, when each stage of the components used in the production of defense equipment is recorded with blockchain, information such as where these components were sourced, what tests they underwent, and when they were manufactured can be easily traced. This prevents counterfeit products from being included in the supply chain, increasing the success of defense projects.

2.4.2 Digital Clustering for Innovation

Digital clustering has been successfully applied to increase innovation in various defense projects. A case study by the European Defense Agency (EDA, 2020) shows how digital clusters facilitate joint R&D projects across different countries, leading to the development of advanced defense technologies. These clusters significantly reduce the time and cost associated with defense innovation by enabling real-time information sharing and collaborative problem-solving.

Digital clustering plays a critical role in accelerating innovation and reducing costs in the defense industry. The collaboration of defense companies and research institutions from different countries in joint projects accelerates the development process of new technologies. Such collaborations enable more efficient management of R&D processes, which require significant time and cost in the defense industry.

The cost and time advantages provided by digital clustering are an important factor supporting the use of blockchain technology in processes. Blockchain technology ensures that data shared within digital clusters is secure and traceable, speeding up collaboration and reducing process costs. The data sharing conducted through blockchain by different actors within digital clusters saves time in R&D processes and increases operational

efficiency. Thus, it becomes possible to reduce costs and implement innovative solutions more quickly in projects supported by digital clustering.

4. Findings

This study systematically reviewed the literature to identify the applicability and synergistic potential of blockchain technology and digital clustering within the defense industry. The findings are presented below, with references to key studies that support the conclusions.

1. Blockchain Technology and Data Security

Blockchain's decentralized and immutable structure enhances data security, a critical requirement for the defense industry. Studies such as Yli-Huumo et al. (2016) and Zhang et al. (2020) highlight that blockchain effectively prevents unauthorized alterations and ensures the integrity of sensitive information, reducing risks of cyberattacks and data breaches. Furthermore, Kshetri (2018) and Aytaç (2024) demonstrated blockchain's role in securing communication channels and ensuring traceability in defense supply chains. By providing a transparent ledger of all transactions, blockchain prevents counterfeit components from infiltrating supply chains, a persistent challenge in the defense sector.

2. Digital Clustering and Innovation

Digital clustering has been shown to foster innovation by creating networks among defense companies, research institutions, and other stakeholders (Porter, 1998; Cooke, 2002). These clusters promote real-time knowledge sharing and collaborative problem-solving, accelerating the development of advanced defense technologies (Ketels, 2013). According to the European Defense Agency (EDA, 2020), digital clusters significantly reduce costs and time for R&D projects. This finding is supported by Muro and Katz (2010), who emphasize the efficiency gains from pooling resources and expertise across geographic and institutional boundaries.

3. Synergy Between Blockchain and Digital Clustering

The integration of blockchain technology within digital clusters enhances security and trust among participants. Swan (2015) noted that blockchain's transparency and immutability provide an additional layer of accountability, essential for collaborative innovation in sensitive industries like defense. Aytaç (2023) and Kshetri (2017) emphasized that blockchain can ensure secure data sharing within clusters, reducing coordination inefficiencies and enhancing operational reliability. For instance, blockchain-based systems track contributions and progress of each stakeholder in a cluster, ensuring project accountability and timely identification of bottlenecks.

4. Case Studies Supporting Practical Applications

A notable application of blockchain in defense supply chains was documented by Kshetri (2017, 2025), where the technology ensured authenticity and prevented the inclusion of counterfeit components. This enhanced trust in supply chain operations and improved overall equipment reliability. The European Defense Agency's case studies (EDA, 2020) illustrate successful implementation of digital clusters in cross-border R&D collaborations. These clusters facilitated the rapid prototyping and testing of new technologies, leading to competitive advancements in defense systems.

5. Challenges and Future Directions

Despite its benefits, blockchain's integration with digital clustering requires standardized protocols to ensure interoperability, as emphasized by Zheng et al. (2018) and Zyskind & Nathan (2015). Variations in blockchain platforms and regulatory inconsistencies across nations pose challenges for seamless collaboration. To overcome these barriers, Aytaç (2024) recommends the establishment of pilot projects to evaluate blockchain's scalability and effectiveness within digital clusters, while Muro and Katz (2010) suggest developing common frameworks to guide cluster formation and governance.

In conclusion, the systematic review highlights that blockchain and digital clustering technologies, when integrated, hold transformative potential for the defense industry. However, addressing interoperability and governance challenges remains critical for maximizing their combined benefits.

As seen in Table 1, the integration of blockchain and digital clustering in the defense industry offers enhanced security, innovation, and collaboration while addressing interoperability challenges.

Table 1. Blockchain and digital clustering themes and categories

Theme	Category	Key References	Key Insights
Blockchain Technology and Data Security	Enhancing data security in the defense industry	Yli-Huumo et al. (2016); Zhang et al. (2020); Kshetri (2018); Aytaç and Çakır (2023)	Blockchain prevents unauthorized alterations and enhances data traceability in supply chains.
Digital Clustering and Innovation	Fostering innovation and collaboration	Porter (1998); Cooke (2002); Ketels (2013); EDA (2020); Muro and Katz (2010)	Clusters promote knowledge sharing, reducing costs and time for R&D projects.
Synergy Between Blockchain and Digital Clustering	Improving trust and operational efficiency	Swan (2015); Aytaç (2024); Kshetri (2017)	Integration of blockchain enhances security and accountability in digital clusters.
Case Studies Supporting Practical Applications	Practical applications in supply chains and R&D	Kshetri (2018); EDA (2020)	Blockchain ensures component authenticity; clusters accelerate technology prototyping.
Challenges and Future Directions	Addressing standardization and interoperability challenges	Zheng et al. (2018); Zyskind & Nathan (2015); Aytaç (2024); Muro and Katz (2010)	Standardized protocols and regulatory consistency are needed for interoperability.

As demonstrated in Table 1, the integration of blockchain technology and digital clustering presents significant transformative potential for the defense industry. It underscores advancements in data security, innovation-oriented collaboration, enhanced trust and accountability mechanisms, and practical applications in supply chain management and research and development processes. Additionally, the analysis highlights the critical necessity of establishing standardized protocols and governance frameworks to address interoperability challenges effectively.

6. Discussion

The integration of blockchain technology and digital clustering into the defense industry offers a transformative potential that can significantly enhance efficiency, trust, and security in defense-related processes. Blockchain technology, by its very design, ensures immutable record-keeping, decentralized control, and transparent data sharing. These features are particularly valuable in defense supply chains, procurement, logistics, and lifecycle management of critical equipment (Aytaç, 2024; Erol ve Eraslan, 2024; Xu et al., 2019; Kshetri, 2025). For instance, traceability enabled by blockchain can reduce fraudulent activities in the acquisition of sensitive components, while smart contracts may improve the automation and reliability of transnational agreements (Casino, et al., 2019; Hardjono and Smith 2019).

However, despite these potential benefits, the integration of blockchain into a complex and hierarchical ecosystem such as the defense sector is fraught with both technical and institutional challenges. One of the primary technical hurdles is interoperability. Different organizations including NATO member states, private defense contractors, and national defense ministries may utilize different blockchain platforms (e.g., Ethereum, Hyperledger, or private blockchains), which lack standardized communication protocols (Zheng et al., 2018). This fragmentation can inhibit seamless data exchange and collaborative workflows. Thus, establishing interoperable and standardized blockchain frameworks is critical (Hardjono and Smith, 2019).

Moreover, the implementation of blockchain demands substantial changes in the existing organizational architecture. Defense institutions are traditionally structured around hierarchical, risk-averse frameworks, which may resist the decentralization and transparency inherent to blockchain systems (Tapscott and Tapscott, 2016). To

overcome institutional inertia, a phased adoption model accompanied by pilot projects and policy sandboxes can be effective in demonstrating feasibility and building institutional confidence (Yaga et al., 2018).

Another equally crucial aspect is the governance and compliance structure required for transnational blockchain collaborations. As defense systems often involve multinational stakeholders, establishing mutual trust, legal alignment, and shared protocols becomes paramount. This calls for internationally recognized blockchain governance models that define roles, access rights, and auditing capabilities for all parties involved (Beck et al., 2017). In this regard, NATO and similar alliances can play a facilitating role in setting cross-border blockchain standards.

Parallel to blockchain, digital clustering the strategic co-location and network formation of defense-related industries, R&D institutions, and logistics hubs offers its own advantages. Digital clusters can accelerate innovation diffusion, reduce response times in crisis logistics, and foster public-private synergies (Ketels, 2013). However, these benefits are contingent upon trust and data sharing between stakeholders within the cluster. Establishing this collaborative infrastructure often requires national-level policy incentives, cybersecurity assurances, and cultural shifts toward cooperative competition (Özceylan and Tanyaş, 2023; Porter, 1998; European Commission, 2020).

In conclusion, while blockchain and digital clustering present immense strategic opportunities for transforming the defense industry, their success depends on overcoming interoperability issues, organizational resistance, and governance gaps. A multilateral, standards-driven, and trust-based approach is necessary to harness the full potential of these technologies.

7. Conclusion and Recommendations

The integration of blockchain technology and digital clustering represents a transformative development opportunity for the defense industry, particularly in an era marked by rapid technological advancement, global security challenges, and the need for adaptive innovation strategies. Blockchain's decentralized, transparent, and tamper-resistant nature offers significant advantages in terms of data integrity, supply chain security, contract enforcement, and logistics traceability. Simultaneously, digital clustering facilitates the creation of collaborative innovation ecosystems by bringing together key stakeholders defense contractors, SMEs, academic institutions, research centers, and governmental organizations under a shared strategic framework.

When effectively integrated, these two technologies can complement each other to significantly enhance the resilience, agility, and competitiveness of national and allied defense ecosystems. Blockchain ensures the secure, verifiable flow of information, while digital clustering enables dynamic, interdisciplinary collaboration and faster diffusion of technological advances. However, the full realization of these benefits hinges on addressing key implementation challenges, including technical interoperability, stakeholder coordination, policy alignment, and cybersecurity considerations. In this context, the following recommendations have been developed:

1. Development of International Standards and Frameworks

There is an urgent need to establish international standards for the deployment of blockchain and digital clustering technologies in defense. Standardization efforts should be coordinated through multinational bodies such as NATO, the European Defence Agency (EDA), and national standardization organizations. These standards will help reduce fragmentation, ensure cross-border interoperability, and create a common language among defense stakeholders operating in different jurisdictions.

2. Ensuring Interoperability through Shared Protocols and Platforms

The defense industry is a heterogeneous environment composed of various systems, platforms, and actors. To ensure seamless integration, interoperability protocols and modular architectures must be developed for both blockchain applications and digital cluster ecosystems. Open-source frameworks and common application programming interfaces (APIs) should be encouraged to enable flexible and secure data exchange among allies and partners.

3. Fostering a Strong Ecosystem of Collaboration and Trust

The success of digital clustering relies heavily on mutual trust, aligned objectives, and sustained collaboration. Governments should provide incentives for public-private partnerships (PPPs), cross-sectoral joint ventures, and collaborative R&D initiatives. Platforms for regular multilateral dialogue, such as defense innovation forums and working groups, should be institutionalized to reinforce trust and build shared strategic agendas.

4. Increasing Education, Capacity Building, and Stakeholder Awareness

Widespread adoption of emerging technologies requires a deep understanding of their technical, operational, and strategic implications. Defense stakeholders including military personnel, policymakers, engineers, and procurement officials should receive tailored training programs, certification modules, and technical workshops on blockchain and digital clustering. This will enhance digital literacy and facilitate smoother transition and uptake of new systems.

5. Strengthening Data Security, Privacy, and Compliance

While blockchain offers high levels of transparency and traceability, these characteristics may conflict with the confidentiality and compartmentalization requirements of defense data. Therefore, privacy-preserving techniques such as zero-knowledge proofs, homomorphic encryption, and permissioned blockchain networks should be developed and implemented. Additionally, clear regulatory frameworks should be established to ensure compliance with national and international security standards.

6. Launching Pilot Projects and Testbeds for Validation

Before large-scale implementation, pilot projects should be initiated to test the viability, scalability, and integration challenges of blockchain and clustering technologies in real-world defense scenarios. These testbeds should be designed to simulate multi-actor environments and assess performance under operational conditions. Lessons learned from these pilots can inform national strategies and guide broader rollouts.

7. Strategic Roadmaps and Policy Integration

Defense ministries and related agencies should develop strategic roadmaps outlining how blockchain and digital clustering will be integrated into their broader defense transformation plans. These roadmaps should include milestones, resource allocations, and impact assessment metrics, and should be aligned with national digitalization and innovation policies.

In the coming years, defense organizations must prioritize standardization, interoperability, and cross-sectoral collaboration to fully capitalize on the potential of blockchain and digital clustering. As security threats become more asymmetric and supply chains more globalized, the ability to innovate securely and cooperatively will define a nation's strategic advantage. By investing in these technologies today supported by thoughtful governance, inclusive stakeholder engagement, and robust technical infrastructure countries can lay the groundwork for a more agile, secure, and innovative defense industry of the future.

Contributions of Authors

Aygül Aytaç: Conceptualization, Supervision, Methodology, Validation, Writing – original draft, **Serhat Çakır:** Methodology, review and editing.

Conflicts of Interest

No potential conflicts of interest were reported by the authors.

References

- Aytaç, A. (2023). Milli savunma sanayiinde blok zincir teknolojisinin uygulanması sürecinde karşılaşılan sorunlar ve çözüm önerileri. *II. Uluslararası Korkut Ata Bilimsel Araştırmalar Konferansı Bildiriler Kitabı*, 345-360.
- Aytaç, A. (2024a). *Milli savunma sanayiinde blok zincir model önerisi* (Doktora tezi, Milli Savunma Üniversitesi, Alparslan Savunma Bilimleri ve Milli Güvenlik Enstitüsü, Savunma Yönetimi Anabilim Dalı). <https://avesis.metu.edu.tr/yonetilen-tez/e65da4c4-4b41-4e0d-a629-e5cc142d47fb/milli-savunma-sanayinde-blokszincir-model-onerisi>
- Aytaç, A. (2024b). Ahilik teşkilatı, organize sanayi bölgeleri ve blok zincir teknolojisi entegrasyonu. *VII. Uluslararası Ahilik ve Ahi Evran Sempozyumu Bildiriler*. https://ahiliksempozyumu2024.ahievran.edu.tr/ahilik2024_sempozyum_programi.pdf
- Aytaç, A., & Çakır, S. (2023). An analysis of the feasibility of blockchain technology in the national defense industry. *Kafkas Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi (KAÜİBFD)*, 14(27), 525–541. <https://doi.org/10.36543/kauibfd.2023.021>

- Beck, R., Avital, M., Rossi, M., & Thatcher, J. B. (2017). Blockchain technology in business and information systems research. *Business & Information Systems Engineering*, 59(6), 381–384. <https://doi.org/10.1007/s12599-017-0505-1>
- Casino, F., Dasaklis, T. K., & Patsakis, C. (2019). A systematic literature review of blockchain-based applications: Current status, classification and open issues. *Telematics and Informatics*, 36, 55–81. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2018.11.006>
- Cooke, P. (2002). *Knowledge economies: Clusters, learning and cooperative advantage*. Routledge.
- Erol, M., & Eraslan, E. (2024). Nesnelerin İnterneti, Uygulama Alanları ve İş Sağlığı ve Güvenliği İle Etkileşimi. *Journal of Turkish Operations Management*, 8(1), 73-89. <https://doi.org/10.56554/jtom.1258262>
- European Commission. (2020). *Clusters and industrial transformation*. https://ec.europa.eu/growth/industry/policy/cluster_en
- European Defense Agency (EDA). (2020). *Annual report*. <https://eda.europa.eu/docs/default-source/eda-annual-reports/eda-annual-report-2020.pdf>
- Hardjono, T., & Smith, N. (2019). Decentralized Trusted Computing Base for Blockchain Infrastructure Security. *Front. Blockchain* 2:24. <http://doi: 10.3389/fbloc.2019.00024>
- Ketels, C. (2013). Recent research on competitiveness and clusters: What are the implications for regional policy? *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 6(2), 269–284. <http://doi.org/10.1093/cjres/rst008>
- Kshetri, N. (2017). Blockchain's roles in strengthening cybersecurity and protecting privacy. *Telecommunications Policy*, 41(10), 1027–1038. <http://doi.org/10.1016/j.telpol.2017.09.003>
- Kshetri, N. (2018). Blockchain's roles in meeting key supply chain management objectives. *International Journal of Information Management*, 39, 80-89. <http://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2017.12.005>
- Kshetri, N. (2025). Blockchain and supply chain management. *TNQ Technologies*, 2nd Edition, p.87
- Muro, M., & Katz, B. (2010). The new “cluster moment”: How regional innovation clusters can foster the next economy. *Brookings Institution*.
- Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. Erişim adresi: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
- Özceylan, A., & Tanyaş, M. (2023). Sürdürülebilir İnsani Yardım Lojistiği Alanındaki Yayınların İçerik ve Bibliometrik Açıdan Analizi. *Journal of Turkish Operations Management*, 7(2), 1644-1671. <https://doi.org/10.56554/jtom.1214269>
- Porter, M. E. (1998). Clusters and the new economics of competition. *Harvard Business Review*, 76(6), 77–90.
- Saberi, S., Kouhizadeh, M., Sarkis, J., & Shen, L. (2019). Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management. *International Journal of Production Research*, 57(7), 2117–2135. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1533261>
- Swan, M. (2015). *Blockchain: Blueprint for a new economy*. O'Reilly Media, Inc.
- Tapscott, D., & Tapscott, A. (2016). *Blockchain revolution: How the technology behind Bitcoin is changing money, business, and the world* [Kindle version]. Penguin Publishing Group. <https://www.amazon.com/Blockchain-Revolution-Technology>
- Xu, X., Weber, I., & Staples, M. (2019). *Architecture for blockchain applications*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-99058-3>
- Yaga, D., Mell, P., Roby, N., & Scarfone, K. (2018). *Blockchain technology overview* (NIST Interagency/Internal Report (NISTIR) 8202). National Institute of Standards and Technology. <https://doi.org/10.6028/NIST.IR.8202>
- Yli-Huomo, J., Ko, D., Choi, S., Park, S., & Smolander, K. (2016). Where is current research on blockchain technology?—A systematic review. *PLOS ONE*, 11(10), e0163477. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0163477>
- Zhang, R., Xue, R., & Liu, L. (2019). Security and privacy on blockchain. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 52(3), 1–34. <http://doi.org/10.1145/3316481>
- Zheng, Z., Xie, S., Dai, H., Chen, X., & Wang, H. (2018). An overview of blockchain technology: Architecture, consensus, and future trends. In *2017 IEEE International Congress on Big Data (BigData Congress)* (ss. 557–564). IEEE. <http://doi.org/10.1109/BigDataCongress.2017.85>

Zyskind, G., & Nathan, O. (2015). Decentralizing privacy: Using blockchain to protect personal data. In *2015 IEEE Security and Privacy Workshops* (ss. 180–184). IEEE. <http://doi.org/10.1109/SPW.2015.27>



Journal of Turkish Operations Management

Comparative global environmental measurement analysis based on environmental performance index

Murat Oturakçı^{1*}, Rabia Sultan Yıldırım², Büşra Yılmaz³

¹İzmir Bakırçay Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği, İzmir, Türkiye,
murat.oturakci@bakircay.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0001-5946-3964>

²Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği, Adana, Türkiye,
rsyildirim@atu.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0003-4797-7110>

³İzmir Bakırçay Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği, İzmir, Türkiye,
busra.yilmaz@bakircay.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0009-0003-8050-8073>

*Sorumlu Yazar

Article Info

Article History:

Received:

Revised:

Accepted:

Keywords:

Environmental measurement,
Environmental Performance
Index,
Global Comparison,
Statistical Analysis

Abstract

The importance of environmental sustainability stems from its contributions to the present and the future. Protecting biodiversity, achieving healthier conditions by reducing pollution, effectively combating global warming, and using resources efficiently is important for a clean and healthy future. To ensure environmental sustainability, the continuity of environmental measurement models is also required. Therefore, The Environmental Performance Index (EPI), consisting of 11 categories and 40 indicators, is published periodically every year by Yale and Columbia University researchers in partnership with the World Economic Forum. This study aims to perform a regional comparison by compiling EPI reports published between 1995-2022 and to reveal the relationship between country income levels and determined indicators. Within the scope of this study, the most important indicators were first selected with Pareto analysis according to EPI indicator weights. The selected indicators were compared in detail by dividing the 180 countries included in the 1995-2022 EPI report into regions. In the next stage of the study, the relationship of the selected indicators with income level was examined statistically. According to the results of the study, a statistically significant difference was found between the income levels of the countries with the nineteen EPI indicators selected.

1. Introduction

Environmental sustainability is critical in today's world since it entails preserving our planet's sensitive ecosystems, natural resources, and biodiversity for the benefit of present and future generations. Adopting sustainable behaviors is critical for mitigating the terrible effects of climate change, deforestation, pollution, and resource depletion. A harmonic cohabitation with nature by implementing eco-friendly initiatives such as renewable energy sources, efficient waste management, and conservation efforts, ensuring clean air, clean water, and a stable climate can be built. Environmental sustainability not only protects humanity's health and prosperity, but it also assures the survival of innumerable species, promoting a balanced and resilient planet for future generations.

Environmental sustainability and environmental performance measurement are inextricably linked and play critical roles in our attempts to conserve and protect our planet. Environmental sustainability refers to a set of activities and policies that strive to reduce our ecological footprint while also fostering the long-term well-being of both the environment and human society. To ensure the efficiency of sustainability measures, environmental performance must constantly be measured and assessed. People and institutions can monitor the results of their actions, identify areas for improvement, and hold individuals, organizations, and governments accountable for

their contributions to environmental destruction or preservation through evaluating environmental performance. Everyone can set reasonable goals, assess performance, and promote a culture of continuous improvement by integrating measurement into the search for sustainability. This will ultimately help the environment move toward a more sustainable future.

Measuring environmental performance is important for a variety of reasons. It holds individuals, companies, and governments accountable for their environmental impact, instilling accountability. By identifying specific environmental challenges, regions that require immediate action can be better understood. Regular measuring allows us to set targets and to work toward real development. Furthermore, it allows us to compare the environmental practices of various companies, fostering healthy competition and knowledge-sharing. Measuring environmental performance also helps with efficient resource allocation, informed policymaking, and transparent communication with stakeholders. Additionally, it promotes ongoing improvement and adaptability to changing environmental issues, and so plays an important part in our journey toward sustainability and the protection of the planet's future.

Environmental performance, which must be measured to ensure environmental sustainability, has been carried out from the past to the present. The Environmental Performance Index (EPI) is an extensive framework created by Yale and Columbia University researchers in partnership with the World Economic Forum. EPI is a data-driven overview of the global level of sustainability. The EPI ranks 180 nations on climate change performance, environmental health, and ecosystem vitality using 40 performance indicators across 11 issue areas. These metrics show how near countries are to meeting stated environmental policy targets on a national basis. The EPI produces a scorecard that recognizes environmental leaders and laggards and gives practical suggestions for countries seeking to move toward a more sustainable future (Wolf et al., 2022). The EPI framework showing 3 policy objectives, 11 issue categories, and 40 indicators is presented in Figure 1.

Climate	Environmental Health				Ecosystem Vitality					
Climate Change Mitigation	Air Quality	Waste Management	Water & Sanitation	Heavy Metals	Biodiversity & Habitat	Ecosystem Services	Fisheries	Agriculture	Acid Rain	Water Resources
CO ₂ Growth Rate	PM _{2.5}	Controlled Solid Waste	Unsafe Sanitation	Lead Exposure	Land Biome Protection (National)	Tree Cover Loss	Fish Stock Status	Sustainable Nitrogen Use	SO ₂ Emissions	Wastewater Treatment
CH ₄ Growth Rate	Household Solid Fuels	Recycling	Unsafe Drinking Water		Land Biome Protection (Global)	Wetland Loss	Marine Trophic Index	Sustainable Pesticide Use	NO _x Emissions	
N ₂ O Growth Rate	Ozone	Ocean Plastics			Marine Protected Areas	Grassland Loss	Trawling and Dredging			
F-Gas Growth Rate	Nitrogen Oxides				Protected Areas Rep. Index					
Black Carbon Growth Rate	Sulfur Dioxide				Biodiversity Habitat Index					
Projected 2050 Emissions	Carbon Monoxide				Species Protection Index					
CO ₂ from Land Cover	Volatile Organics				Species Habitat Index					
GHG Intensity										
GHG per Capita										

Figure 1. EPI Framework (<https://epi.yale.edu/>)

There are many studies on environmental performance and environmental sustainability in the literature. Past studies including EPI scores, which form the basis and focus of this study, are reviewed. Stanwick and Stanwick (1998) aimed to investigate how an organization's corporate social performance is influenced by three key variables: its size, financial performance, and environmental impact. Through empirical testing of data spanning from 1987 to 1992, the study concludes that the corporate social performance of a firm is indeed affected by its size, profitability, and level of pollution emissions. Grafton and Knowles's (2004) article provided the first empirical test of the empirical relationships between national measures of social capital (civic and public), social divergence, and social capacity on various indicators of national environmental performance, using cross-country

data from a sample of low-, middle-, and high-income countries. Overall, the results provided little empirical support for the hypothesis that social determinants have a statistically beneficial effect on national indicators of environmental quality but do show that higher population density is associated with increases in environmental degradation. According to Duit (2005), a nation's ability to produce environmental public goods is vital for its environmental performance. The EPI is significantly influenced by GDP per capita, making it a critical factor in determining a nation's capacity to provide environmental public goods. Higher GDP per capita implies better resources and, therefore, better-equipped nations to deliver environmental public goods. The objective of Samimi, Erami, and Yusef's (2010) paper is to assess the correlation between the EPI and economic growth in chosen developing nations. Research conducted on this topic highlights the detrimental effects of environmental degradation on economic progress. Utilizing a cross-sectional Weighted Least Squares (WLS) econometric approach, our analysis reveals a significant and positive impact of the EPI on the economic growth of the nations under scrutiny. Samimi, Kashefi, Salatin, & Lashkarizadeh, (2011) assessed the correlation between Environmental Performance and Human Development in various countries worldwide between 2006 and 2010. The outcomes of the research, utilizing a panel data regression model, revealed a meaningful and favorable association between EPI and HDI for all countries, including the developed ones. Nonetheless, in the situation of developing countries where environmental degradation occurs, the data suggests that an increase in the human development index does not always enhance Environmental Performance in these nations. In such cases, promoting public awareness and receiving support from international organizations such as the United Nations could be crucial in improving the situation. Samimi and Ahmadpour's (2011) paper aimed to assess the EPI in OIC countries in both pre and post-financial crisis. This analysis utilizes EPI data from the Yale Center for Environmental Law & Policy spanning the years 2006-2010. The results reveal that while overall environmental performance in OIC countries demonstrated improvement from 2006-2008, the data for 2010 indicates a decline in environmental performance across the countries studied. It is possible that the financial crisis played a significant role in this trend, among other factors. In the study of Rogge (2012), the Data Envelopment Analysis provided every country with the opportunity to determine their ideal weightings to maximize their composite indicator score in comparison to other nations. While this flexibility is beneficial, it also has the potential to be disadvantageous as it may allow countries to appear as high achievers in ways that are difficult to justify, such as the over-emphasis or neglect of certain performance indicators. To illustrate this concern, this paper examines the EPI as calculated by the optimistic and pessimistic versions of the DEA model proposed by Zhou, Ang and Poh (2007). By analyzing both composite scores, the study identifies instances of undesirable specialization in performance. Chandrasekharan, Kumar, Raghunathan, & Chandrasekaran (2013) growth strategy was focused on utilizing the country's resources in an effective and balanced manner. They recognize the impact of natural resource depletion and pollution on various sectors of the economy, and to address this, they have developed an EPI. This index is designed to acknowledge the efforts made by states to prevent environmental degradation. In this article, they outline the methodology for constructing the EPI for the country, ranking states based on their EPI scores, and proposing options for devolving Central funds to states. Sima and Gheorghe's (2014) article provided an analysis of the 2014 EPI results, highlighting the main findings of the European Commission's research. While not intended as a full EPI assessment, the paper includes a correlation analysis between GDP/capita and EPI score, which reveals a moderate positive relationship between these two indicators. Additionally, a comparison between Romania and Switzerland demonstrates that Romania outperforms Switzerland in agriculture, with the greatest disparity between the two countries found in the area of water resources and sanitation. Wurie and Pillai's (2014) study aimed to explore the impact of population growth and consumption levels on environmental health in emerging nations. Additionally, the study proposes that cultural differences also play a role in affecting environmental health, independent of consumption and population expansion. The EPI (2010) serves as the basis for the outcome variable. The findings of the study suggest a significant correlation between environmental health and consumption levels in emerging nations. Fakher and Abedi's (2017) study delved into the effects of environmental quality (as measured by the EPI), direct foreign investment, and trade openness on economic growth within specific developing nations. To accomplish this, the study utilized the Auto Regressive Distributed Lag Model and ARDL bounds test methods. The findings revealed a noteworthy and positive correlation between the EPI and economic growth, as well as a positive and significant relationship with foreign direct investment. Shahabadi et al.'s study (2017) investigated the factors that affected the EPI in selected OPEC countries between 2000-2012, using a panel data approach. The findings indicate that governance index, internet users, and natural resource abundance have a positive and significant impact, while openness and carbon dioxide emissions per GDP have a negative and significant impact on the EPI in these countries. In Adeel-Farooq, Raji and Qamri (2023) study, the EPI developed by Yale University was utilized to measure environmental performance, rather than relying solely on CO2 emissions as a single indicator. Empirical analysis was conducted using a range of estimators including fixed effect, random effect, Newey West, and generalized least square. The research uncovered a positive correlation between financial development and environmental performance in the countries studied. Almarafi et al.'s (2023) study uncovered the correlation between the EPI, Financial Development, and Economic Growth, by conducting a comprehensive literature review. Emphasizing publications from 2018 to 2022, the study ultimately

found that environmental sustainability plays a crucial role in achieving economic growth and development in industrialized nations. As a result, policymakers must prioritize carbon costs and taxes, promote low-CO₂ emissions technologies, reduce non-renewable energy subsidies, develop technology transfer programs, and establish a green trade policy. Cojocaru Bărbieru, Mihaila and Grosu (2023) research aimed to uncover the EPI and its GDP growth rate. By providing another incentive for companies in emerging countries to prepare sustainability reports, this study utilizes secondary data sources and descriptive statistical analysis to explore this relationship. Over the past decade, our analysis has revealed a weak positive correlation between EPI and GDP growth rate. Pujiati, Feronica, and Ridzuan (2023) study attempted to examine the relationship between the EPI and factors such as GDP per capita, government effectiveness, occupation index, population density, and innovation. This study's methodology is an example of a quantitative methodology. The study's findings demonstrate a strong and favorable correlation between the EPI and Government Effectiveness. The EPI and per capita GDP are positively correlated, with a major impact.

The goal of this study is to compare regional EPI scores for the last 27 years (1995-2022) and to examine whether there is a statistically significant relationship between nations' income levels and their environmental performance scores. The study seeks to answer the following research questions:

- How do EPI scores differ by world regions between 1995-2022?
- Is there a statistically significant relationship between income levels of nations and their environmental performance indicators?

When the studies in the literature are examined, it is seen that EPI scores are included and studies on environmental measurement and sustainability are examined at the level of certain regions or countries. Improvements or criticisms of the EPI scoring system are also included in these studies. The fact that a deep comparison has not been performed in all world regions in the relevant studies indicates the gap in the literature. Hence, comparisons of environmental performance, which must be measured to ensure environmental sustainability, in all regions constitute the motivation of this study. Based on this motivation, all EPI reports published between 1995-2022 were examined in this study, and it was aimed to perform regional comparisons. Then, it is aimed to examine whether there is a statistical relationship between the values of the indicators in the EPI report according to the average income level of the countries in the regions. The main contributions of this study include a comprehensive evaluation of the regional comparison of EPI indicators using the study's 27-year dataset and a more in-depth examination of the differentiation of variables identified as significant based on country income levels. The study explains how EPI is formed for individuals or institutions who work in the field and highlights the elements that need closer examination. Additionally, it has an illuminating character on the type of roadmap that ought to be created in areas with income disparities. Theoretically, it advances the literature by highlighting the differences between the outcomes of the analysis carried out with comprehensive data and those outcomes acquired with one year's worth of data.

2. Materials and Methods

The EPI data of all countries for the 1995–2022 period was compiled for this study. Within the scope of the study, EPI data of all countries between 1995-2022 were obtained and the countries were divided into 8 regions as Asia-Pacific, Eastern Europe, Former Soviet States, Global West, Greater Middle East, Latin America & Caribbean, Southern Asia and Sub-Saharan Africa. All data between 1995-2022 were organized for 3 policy objectives, 11 issue categories, and 40 indicators under The EPI framework, which are shown in Figure 1 by regions of all countries. The steps of the study are shown in Figure 2. In the study, first, data compilation and indicator selection were made. Then, country segmentation and regional indicator calculations were performed. In the third stage of the study, regional comparisons were analyzed in detail, and in the last step, statistical tests were carried out according to income levels.

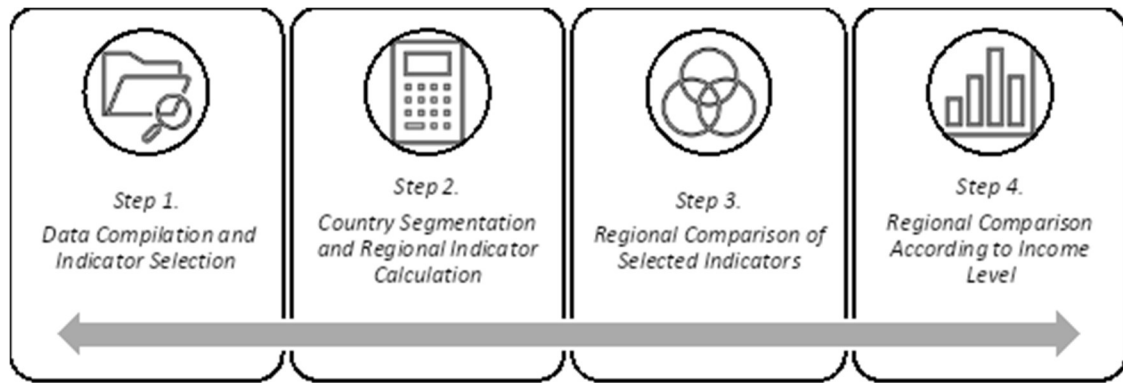


Figure 2. Steps of the Study

3. Findings and Discussion

The EPI is a data-driven overview of the global level of sustainability. The EPI ranks 180 nations on climate change performance, environmental health, and ecosystem vitality using 40 performance indicators across 11 issue areas. These metrics show how near countries are to meeting stated environmental policy targets on a national basis. The EPI produces a scorecard that recognizes environmental leaders and laggards and gives practical suggestions for countries seeking to move toward a more sustainable future (Wolf et al., 2022).

Step 1. Data Compilation and Indicator Selection

Within the scope of the study, first, EPI data were compiled. After the data arrangement was made on all indicators between 1995-2022, the effect of all indicators on the EPI score was calculated based on the indicator weights of 2022 and ranked from the most weighted indicator to the least weighted indicator. After this ranking, Pareto analysis was applied, and it was decided that 19 out of 40 sub-indicators should be used in the continuation of the study by the 80-20 rule. Since 19 indicators determined by Pareto constitute 80 percent of the calculated EPI score, analyses were continued on these indicators within the scope of the study. The Pareto chart is presented in Figure 3. The selected parameters are shown in Table 1.

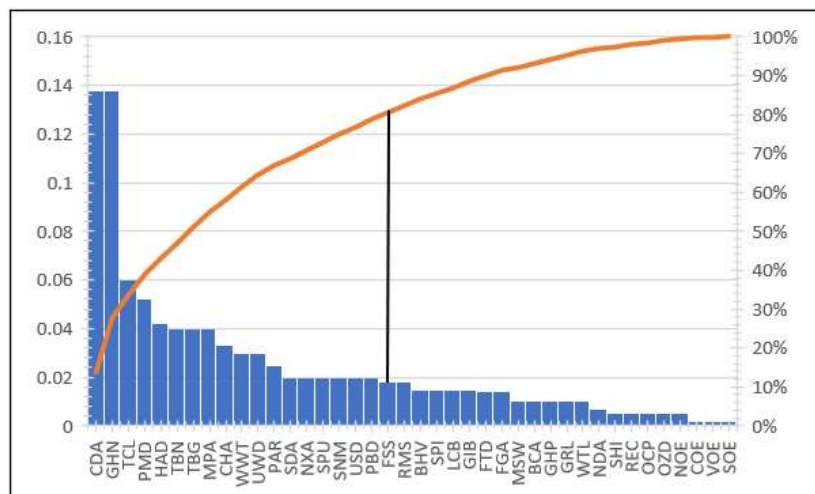


Figure 3. Pareto Chart for Indicator Selection

Table 1. Selected Indicators and Their Calculated Weights

CDA	“Adjusted emissions growth rate for carbon dioxide”	0.138
GNH	“Projected GHG Emissions in 2050”	0.138
TCL	“Tree cover loss”	0.060
PMD	“PM2.5 exposure”	0.052
HAD	“Household solid fuels”	0.042
TBN	“Terrestrial biome protection (national weights)”	0.040
TBG	“Terrestrial biome protection (global weights)”	0.040
MPA	“Marine protected areas”	0.040
CHA	“Adjusted emissions growth rate for methane”	0.033
WWT	“Wastewater treatment”	0.030
UWD	“Unsafe drinking water”	0.030
PAR	“Protected Areas Representativeness Index”	0.025
SDA	“Adjusted emissions growth rate for sulfur dioxide”	0.020
NXA	“Adjusted emissions growth rate for nitrous oxides”	0.020
SPU	“Sustainable Pesticide Use”	0.020
SNM	“Sustainable Nitrogen Management Index”	0.020
USD	“Unsafe sanitation”	0.020
PBD	“Lead exposure”	0.020
FSS	“Fish Stock Status”	0.018

As it is illustrated in Table 1, the PMD, HAD, USD, UWD and PBD indicators were selected under the Environmental Health category. TCL, PMD, HAD, TBN, TBG, MPA, CHA, WWT, PAR, SDA, NXA, SPU, SNM, USD, PBD and FSS indicators were selected under the Ecosystem Vitality category. CDA, GNH and TCL parameters are sub-indicators selected under the Climate Change Policy Objective category.

Step 2. Country Segmentation and Regional Indicator Calculation

The second step of the study consists of examining the selected EPI indicators of 180 countries with data as of 1995. In this context, first, countries were combined under regions and the average score of the selected parameters between 1995 and 2022 was taken to perform regional comparisons. Countries were grouped as, Asia-Pacific, Eastern Europe, Former Soviet States, Global West, Greater Middle East, Latin America & Caribbean, Southern Asia, and Sub-Saharan Africa and evaluated on selected parameters. The 27-year regional averages of the 19 selected parameters are calculated and presented in Table 2. In Table 2, the world average was also calculated for the selected indicators.

Table 2. Regional Calculations of Selected Indicators

	PMD	HAD	UWD	USD	PBD	TCL
Asia-Pacific	35.078	28.883	38.312	44.205	52.436	23.593
Eastern Europe	27.277	47.493	60.69	69.235	57.182	21.405
Former Soviet States	10.452	36.386	45.516	43.327	42.161	36.272
Global West	68.225	89.059	92.028	91.623	76.252	20.761
Greater Middle East	7.95	62.856	44.385	54.44	30.507	40.975
Latin America & Caribbean	37.146	40.967	39.553	45.64	45.912	23.864
Southern Asia	21.801	18.76	25.359	27.127	29.731	33.506
Sub-Saharan Africa	32.109	11.103	9.639	10.174	36.116	24.578
World Average	30.005	41.938	44.435	48.221	46.287	28.119
	TBN	TBG	MPA	WWT	PAR	SDA
Asia-Pacific	42.72	41.648	12.482	17.249	12.143	59.095

Eastern Europe	21.405	69.619	41.962	42.743	29.747	84.402	
Former Soviet States	36.272	52.992	23.274	16.727	14.761	74.216	
Global West	20.761	66.187	45.44	79.829	41.861	95.262	
Greater Middle East	40.975	25.022	9.833	36.078	7.48	58.89	
Latin America & Caribbean	23.864	54.271	14.249	11.85	41.929	64.139	
Southern Asia	33.506	55	4.707	5.096	13.585	38.25	
Sub-Saharan Africa	24.578	61.311	3.803	5.723	27.498	53.687	
World Average	30.51	53.256	19.469	26.912	23.625	65.993	
	NXA	SPU	SNM	FSS	CDA	GHN	CHA
Asia-Pacific	58.649	22.383	32.276	46.561	28.469	48.912	42.819
Eastern Europe	79.299	40.608	50.646	33.062	50.806	42.907	39.253
Former Soviet States	68.096	40.037	47.535	20.699	46.92	41.786	42.744
Global West	91.324	44.841	50.866	22.078	52.83	33.092	38.863
Greater Middle East	48.539	40.099	34.479	44.61	24.86	21.309	42.205
Latin America & Caribbean	50.508	37.084	29.514	31.584	30.155	48.944	35.704
Southern Asia	39.143	32.806	35.625	52.108	15.953	32.29	41.92
Sub-Saharan Africa	44.837	30.471	31.893	41.743	25.925	47.753	40.223
World Average	60.049	36.041	39.104	36.556	34.49	39.624	40.466

Step 3. Regional Comparison of Selected Indicators

In the third step of the study, regional comparisons of the selected indicators were made according to the world average. Regional comparisons are visualized and interpreted separately for the indicators selected under the main indicators Environmental Health, Ecosystem Vitality and Climate Change Policy Objective.

Regional comparisons are visualized and interpreted separately for the indicators selected under the main indicators Environmental Health, Ecosystem Vitality and Climate Change Policy Objective. In Figure 4, the position of the PMD, HAD, USD, UWD and PBD sub-indicators selected under the Environmental Health indicator against the world averages is seen as regional.

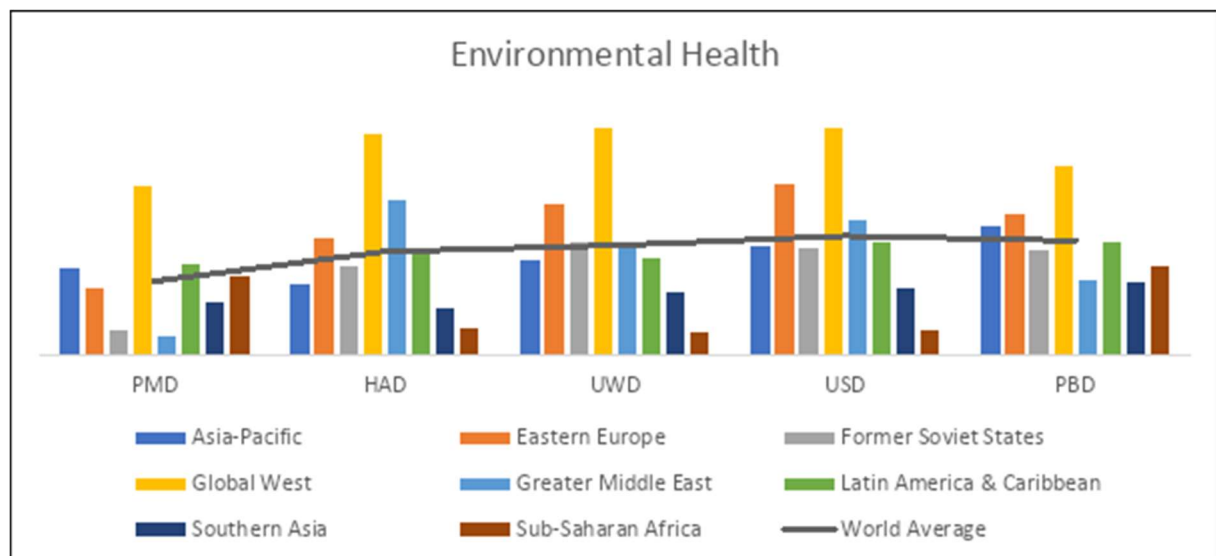


Figure 4. Regional Comparisons for Environmental Health Indicators

PMD means PM2.5 exposure. According to Indoor Air Hygiene Institute, PM2.5 are small particles that are suspended in the air for longer periods and have a diameter of less than 2.5 micrometers (more than 100 times smaller than a human hair). Due to their ability to penetrate the respiratory system deeply, reach the lungs, and enter the bloodstream, PM2.5 poses a health danger (Devadamin, 2021). Average particulate matter concentrations in certain developing nations are 4–15 times higher than WHO air quality guidelines (Yalçın, Tepe, Doğan, & Çizmeci, 2021). Because coal-fired power stations and other highly polluting sectors dominate in the Greater Middle East and Former Soviet States, these regions are more exposed to PM2.5 particles. Additionally, it is subject to violent sand and dust storms with high atmospheric PM2.5 concentrations (Schuster, 2022). Global West, on the other hand, adheres to stronger laws and makes use of cleaner technologies. The Western world no longer employs coal-fired power plants in favor of greener ones that rely on solar, electricity, and natural gas (International Agency for Research on Cancer, 2010). These all lower the exposure to PM2.5.

HAD indicates household solid fuels. Solid fuels are fuels, including coal, biomass, charcoal, wood or straw, animal dung, and crop waste, that are used to cook, heat, light, boil water and generate income for homes (Chen et al., 2020; Debbi et al., 2014). It is seen in the research of the International Agency for Research on Cancer that both urban and rural African communities frequently use biomass, and 89% of households in the surveyed nations rely on some form of solid fuel, which includes both biomass and charcoal. Almost all families in Africa's rural areas use biomass energy. Across Asia, 74% of households report using solid fuels, primarily biomass. Significant disparities in the utilization of coal and biomass energy may be seen throughout the developing globe. People in both urban and rural areas are converting to modern fuels. The richest countries such as the Global West have already adopted modern fuels due to their convenience and cleanliness, but countries such as Sub-Saharan Africa and Southern Asia cannot use these modern fuels because they cannot afford them. This situation has increased the use of household solid fuels (International Agency for Research on Cancer, 2010).

UWD represents unsafe drinking water. Centers for Disease Control and Prevention says that water that has parasites, pathogens, or poisonous substances in it is considered unsafe. Many things, including human or animal waste, pesticides, and other chemicals, can introduce harmful bacteria, parasites, and toxins into water. Diseases including cholera, typhoid, and polio are spread due to contaminated water and insufficient sanitation (Centers for Disease Control and Prevention, 2022). Open defecation is the most common cause of water pollution. In Nepal and India in Southern Asia, 32% of the population has open defecation. As a result, access to clean water becomes difficult. In Sub-Saharan Africa, although this percentage is less – about 23% of the population – faces an open defecation like Southern Asia. At the same time, clean water in Sub-Saharan Africa is only available in certain locations, and Africa has a high risk of desertification, which will further reduce water availability. When all these situations are combined, it becomes difficult for people in this region to access clean water (National Geographic, n.d.). Global West also has advanced wastewater treatment plants and extensive pipelines. This makes it easier to reach clean drinking water.

USD stands for unsafe sanitation. One of the biggest health and environmental issues in the world, especially for the poorest people, is unsafe sanitation. Lack of access to adequate sanitation is a major risk factor for infectious diseases such as cholera, diarrhea, dysentery, hepatitis A, typhoid and polio. Additionally, it makes malnutrition, particularly childhood stunting, worse. Regions with robust economies, including the Global West and Eastern Europe, have developed sanitary infrastructure. With rising income, more sanitation facilities are typically provided. Southern Asia and Sub-Saharan Africa lack the economic resources necessary to set up suitable sanitation facilities. This suggests that their sanitation is not as safe (Ritchie & Roser, 2021).

PBD is short for lead exposure. The Centers for Disease Control and Prevention defines Lead exposure as when people are exposed to lead through touching, ingesting, or inhaling lead or lead dust (Centers for Disease Control and Prevention, 2022). Lead exposure is increased in low- and middle-income nations such as Sub-Saharan Africa, Greater Middle East and Southern Asia due to expanding industrial activities, such as chemical manufacture and use, high lead-acid battery demand, and the prevalence of other vulnerabilities, such as poverty and malnutrition (Kordas, Ravenscroft, Cao, & McLean, 2018). Although these situations are in the Global West and Eastern Europe, these regions are more developed and are better at mitigating and managing these situations.

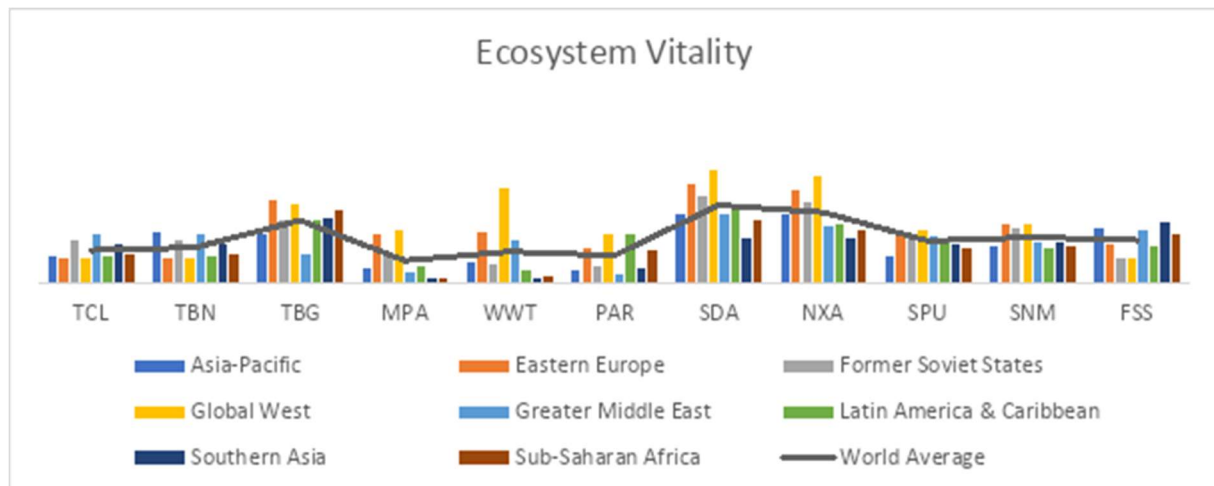


Figure 5. Regional Comparisons for Ecosystem Vitality Indicators

TCL means tree cover loss. According to the World Resources Institute Research tree cover loss is defined as the total elimination of trees for whatever reason, including damage brought on by people or by purely natural occurrences. The Asia-Pacific area is home to many nations that have implemented programs to lessen deforestation and encourage reforestation. For instance, China's Natural Forest Protection Program, which aims to expand forest cover and stop deforestation, has been put into effect. The embargo on new logging concessions implemented by Indonesia similarly serves to lower deforestation rates (World Resources Institute Research, n.d.).

TBN is used instead of Terrestrial biome protection (national weights). Large-scale ecological variation is organized under the biome concept. Terrestrial biomes can be identified by their dominating flora, which is primarily influenced by temperature and rainfall. Biomes are climatically similar geographic areas with a prevailing plant kind (Forseth, 2010). Terrestrial biome protection (national weights) value is found to give greater weight to biomes that are relatively rare within a country – and less weight to prevalent biomes (EPI, 2020). Because the Greater Middle East and Asia Pacific feature significant terrestrial biomes such as tropical rainforests, deserts, and grasslands as well as vast undeveloped lands, these regions prioritize protecting terrestrial biomes (Matthew R. Fisher, n.d.). Global West and Eastern Europe, in comparison, have seen rapid urbanization for a very long time. A large number of lands have been impacted by human activity. Therefore, they could not protect terrestrial biomes.

TBG is used instead of Terrestrial biome protection (global weights). TBG value is found to give greater weight to biomes that are relatively rare across the globe – and less weight to prevalent biomes (EPI, 2020). Global West and Eastern Europe have rarer terrestrial biomes and are more successful at protecting them than Greater Middle East and Asia Pacific countries. Therefore, their values are higher.

MPA is short for marine protected areas. A park or other protected area that contains some marine or Great Lakes territory is referred to as a "marine protected area" in general (National Marine Protected Areas Center, n.d.). European Environment Agency reports state that developed and economically well-developed countries such as Global West and Eastern Europe countries are better in terms of establishment and management of marine protected areas than the less developed Sub-Saharan Africa and Southern Asia countries, whose priorities are economic development and growth (European Environment Agency, 2018).

WWT represents wastewater treatment. The removal of contaminants from wastewater, often known as sewage, before it enters aquifers or natural water bodies including rivers, lakes, estuaries, and seas is known as wastewater treatment. Any distinction between clean water and dirty water depends on the type and concentration of pollutants found in the water as well as on its intended usage because pure water cannot be found in nature (i.e., outside of chemical laboratories) (Nathanson & Ambulkar, 2023). According to WHO reports as substantial investments are presumed to be required, governments in economically underdeveloped and still developing regions like Sub-Saharan Africa, Southern Asia, and Asia Pacific are uninterested in sanitation programs. As a result, particularly in poorer nations, advancements in the provision of sanitation services have trailed behind those in the water supply. The installation of stringent rules on wastewater management is a result of the global Western and Eastern Europe's prioritization of environmental protection, sanitation, and public health. To guarantee wastewater is

processed properly and safely discharged back into the environment, governments in these regions have made investments in wastewater treatment plants, cutting-edge technologies, and effective processes. (World Health Organization, 2005).

PAR signifies the Protected Areas Representativeness Index. The Protected Areas Representativeness Index (PARI) metric assesses how effectively terrestrial protected areas reflect a nation's natural diversity (Environmental Performance at Index, 2020). The Protected Areas Representativeness Index may change based on historical, political, and economic events. For instance, a nation is better at constructing and preserving protected areas the more politically stable it is. The ability of a nation to strengthen and expand its protection zones depends on how well its economy is doing (Janishevski, Noonan-Mooney, Gidda, & Mulongoy, 2008). It has a higher index than Latin America and the Global West, Greater Middle East and Asia Pacific regions, which are at a better level politically and economically.

SDA implies an adjusted emissions growth rate for sulfur dioxide. Based on the American Lung Association electricity production, commercial boilers, and other industrial operations including metal processing and petroleum refining are the main sources of sulfur dioxide emissions. Diesel engines are another major source, including old buses and trucks, locomotives, ships, and off-road diesel equipment (American Lung Association, 2023). In recently growing areas like Sub-Saharan Africa and Southern Asia, new and unregulated industrial operations are conducted using fossil fuels like low-quality coal and lignite. However, because they are already developed, areas like the Global West and Eastern Europe have undergone several industrial laws and utilize clean energy sources like natural gas (IEA, 2023). While the use of low-quality coal and lignite increases sulfur dioxide emissions, the use of clean energy such as natural gas reduces the emission rate.

NXA signifies an adjusted emissions growth rate for nitrous oxides. The amount of N₂O in the atmosphere is rising as a result of human activities like agriculture, fuel burning, wastewater management, and industrial processes. 40% of the world's total N₂O emissions are caused by human activity. Agriculture, land usage, transportation, manufacturing, etc. all emit nitrous oxide (United States Environmental Protection Agency, 2023). The use of nitrogen fertilizers, high temperatures and high humidity cause more nitrous oxide release (Zhang et al., 2023). These circumstances are extremely typical in places like Southern Asia and Sub-Saharan Africa. To limit nitrous oxide emissions, the Global West and Eastern Europe have tight laws and policies for agriculture. These stringent laws and policies help in reducing emissions.

SPU is short for sustainable pesticide use. Since they help ensure the sustainable production of food and feed, pesticides are frequently utilized in agriculture. They can also pose significant dangers to the environment, and human and animal health if handled incorrectly or inappropriately. To guarantee that existing pesticides adhere to current health, environmental, and safety regulations, governments set stringent standards for both the registration of new pesticides and the reevaluation of pesticides that are currently on the market. Sustainable use of pesticides contributes to further risk reduction. The OECD aims to ensure effective and long-lasting pest management measures, including resistance management, by improving training and promoting better compliance with existing standards (OECD, n.d). Therefore, regions containing OECD countries such as Global West and Eastern Europe have a high SPU. The Asia-Pacific and Sub-Saharan Africa regions that do not work on this issue are low.

SNM is short for Sustainable Nitrogen Management. Although nitrogen is a necessary component for life, it can have negative effects on the environment, ecosystems, and human health if it is not properly handled. A resolution to speed up efforts to considerably reduce nitrogen waste from all sources, particularly through agricultural practices, was accepted by the UN Environment Assembly (Geneva Environment Network, n.d.). To manage nitrogen, both the employment of machinery and fertilizers is useful. Infrastructure and technology are more advanced in economically developed regions like Eastern Europe, the former Soviet Union, and the Global West. As a result, the SNM value of these regions is higher. In addition, there are numerous government laws and education campaigns on sustainable agriculture in these areas. Due to its poor performance in both political and economic spheres, nitrogen management is also subpar in places like Sub-Saharan Africa and Asia-Pacific (Xin et al., 2015).

FSS implies fish stock status. Fish stock status, which takes into account all fish stocks located inside a country's exclusive economic zones (EEZs), is the proportion of a country's overall catch that originates from overexploited or failed stocks. This statistic provides insight into the effects of a nation's fishing activities within its EEZs because increased stock exploitation results in lesser catches when it continues and increases (EPI, 2020). Many traditional fisheries systems are built on different types of fishing ground closures, especially in parts of the Asia Pacific and Southern Asia. These closures give fish populations a sanctuary where they are either permanently or temporarily

shielded from fishing activity (Lymer, Funge-Smith, Clausen, & Miao, 2008). These circumstances raise the value of the fish stock status. On the other hand, fish populations in the Global West and Former Soviet States may be impacted by the warming and acidity of the oceans. It decreases the stock in this instance.

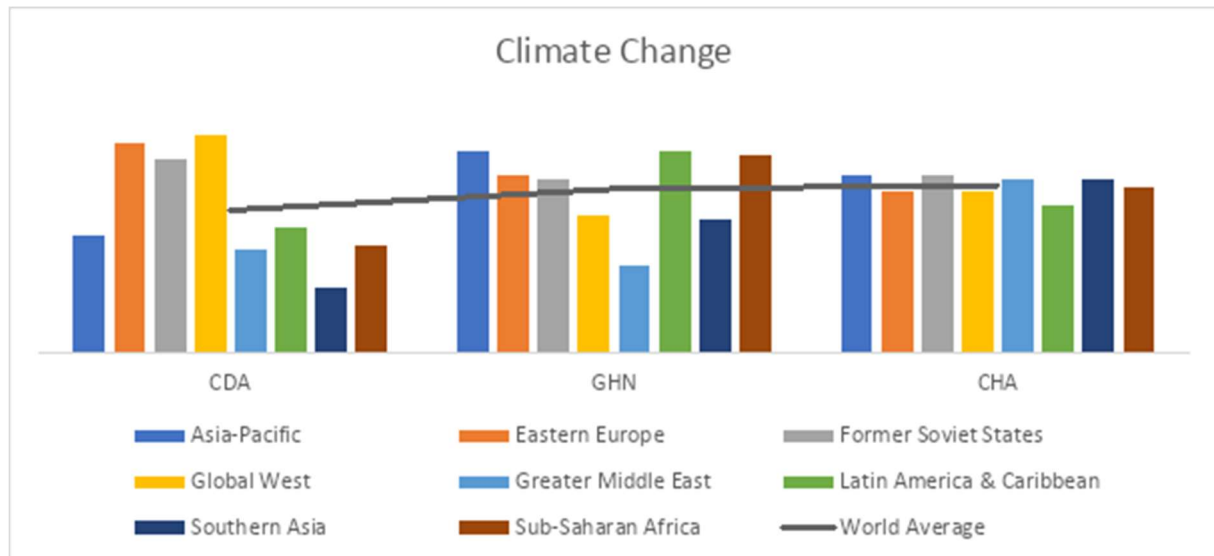


Figure 6. Regional Comparisons for Climate Change Indicators

CDA stands for adjusted emissions growth rate for carbon dioxide. Global climate change is mostly caused by carbon dioxide emissions. To prevent the worst effects of climate change, emissions must be drastically reduced worldwide. The world's largest per capita emitters of CO₂ are the major oil-producing countries; this is especially true for those with relatively low population sizes. Most are in the Middle East. However, most of the major oil producers have a relatively small population, which means their total annual emissions are low. Therefore, emissions are higher in Global West and Eastern Europe with larger populations. Poorer countries, such as Sub-Saharan Africa and Southern Asia, also have lower emissions (Ritchie & Roser, 2020).

GHN means Projected GHG Emissions in 2050. Because they capture heat, greenhouse gases warm the globe. Almost all of the rise in greenhouse gases in the atmosphere over the past 150 years can be attributed to human activity. Burning fossil fuels for transportation, heat, and electricity is the main cause of human-related greenhouse gas emissions (United States Environmental Protection Agency, 2023). Because greenhouse gas emissions contribute to climate change, countries must reduce them. More greenhouse gas emissions are produced in the Global West, Southern Asia, and the Greater Middle East than in Asia-Pacific, Latin America and the Caribbean, regions with lower levels of industrial activity and population density (Lamb et al., 2021). No matter how many studies on greenhouse gas emissions are conducted, it is anticipated that things will remain the same in 2050 due to the lack of significant changes in population density and industrialization.

CHA implies an Adjusted emissions growth rate for methane. Methane emissions from human activity include livestock farming and natural gas line leaks. Additionally, natural sources like termites generate methane. In addition, atmospheric chemical reactions and natural soil processes contribute to the removal of CH₄ from the atmosphere. 50–65 percent of the world's total CH₄ emissions are caused by human activity (United States Environmental Protection Agency, 2023). Sources of methane emissions are widely distributed around the planet. As a result, the rate of emission growth is roughly the same across all regions. In comparison to other locations, temperatures and humidity are higher in Latin America and the Caribbean. This humidity and temperature may result in a slightly higher rate of increase in methane emissions (Rößger, Sachs, Wille, Boike, & Kutzbach, 2022).

Step 4. Regional Comparison According to Income Level

In the "regional parameter comparison according to income levels", which constitutes the fourth step of the study, hypotheses have been established. Since a total of nineteen indicators were selected, hypotheses were established for each indicator and an independent t-test was applied.

In this step of the study, before the hypotheses were established, the income levels of the countries in the eight regions in the study were obtained from the Worldbank Database (<https://data.worldbank.org/>). The income level of all the countries included in the study was compiled every year between 1995 and 2022; They were assigned to regions and the twenty-seven-year average income level was calculated regionally. According to the relevant dataset, the average income levels of the regions were determined as Low income (L), Lower middle income (LM), Upper middle income (UM), and High income (H). Table 3 shows the twenty-seven-year average income level of the regions in the study.

Table 3. Average Income Levels of the Regions

Regions	Average Income Level
Asia-Pacific	LM
Eastern Europe	UM
Former Soviet States	LM
Global West	H
Greater Middle East	UM
Latin America & Caribbean	UM
Southern Asia	LM
Sub-Saharan Africa	LM

After the regional income level average calculation, hypotheses were established and presented in Table 4.

Table 4. Hypotheses

Hypothesis No	Hypothesis Explanation
H1	There is a significant difference between the average PMD value of the regions and the average values of their income levels.
H2	There is a significant difference between the average HAD value of the regions and the average values of their income levels.
H3	There is a significant difference between the average CDA value of the regions and the average values of their income levels.
H4	There is a significant difference between the average GHN value of the regions and the average values of their income levels.
H5	There is a significant difference between the average TCL value of the regions and the average values of their income levels.
H6	There is a significant difference between the average UWD value of the regions and the average values of their income levels.
H7	There is a significant difference between the average USD value of the regions and the average values of their income levels.
H8	There is a significant difference between the average PBD value of the regions and the average values of their income levels.
H9	There is a significant difference between the average TBD value of the regions and the average values of their income levels.
H10	There is a significant difference between the average TBG value of the regions and the average values of their income levels.

H11	There is a significant difference between the average MPA value of the regions and the average values of their income levels.
H12	There is a significant difference between the average WWT value of the regions and the average values of their income levels.
H13	There is a significant difference between the average PAR value of the regions and the average values of their income levels.
H14	There is a significant difference between the average SDA value of the regions and the average values of their income levels.
H15	There is a significant difference between the average NXA value of the regions and the average values of their income levels.
H16	There is a significant difference between the average SPU value of the regions and the average values of their income levels.
H17	There is a significant difference between the average SNM value of the regions and the average values of their income levels.
H18	There is a significant difference between the average FSS value of the regions and the average values of their income levels.
H19	There is a significant difference between the average CHA value of the regions and the average values of their income levels.

Whether there is a significant difference between the regional income level average and the selected indicator averages was analyzed by independent t-test and the results are presented in Table 5.

Table 5. Hypotheses Results

Hypothesis	t-value	p-value	Result*
H1	4.106	0.000534	Accepted
H2	4.443	0.000278	Accepted
H3	6.549	< 0.00001	Accepted
H4	10.537	< 0.00001	Accepted
H5	9.365	< 0.00001	Accepted
H6	4.844	0.00013	Accepted
H7	5.199	0.000067	Accepted
H8	7.919	< 0.00001	Accepted
H9	8.802	< 0.00001	Accepted
H10	9.985	< 0.00001	Accepted
H11	2.945	0.005318	Accepted
H12	2.713	0.00841	Accepted
H13	4.365	0.000323	Accepted
H14	9.91	< 0.00001	Accepted
H15	8.938	< 0.00001	Accepted
H16	13.111	< 0.00001	Accepted
H17	11.428	< 0.00001	Accepted
H18	8.301	< 0.00001	Accepted
H19	41.519	< 0.00001	Accepted

* The results are significant at $p < 0.05$

As seen in Table 5, all p-values are lower than 0.05 and all hypotheses were accepted at the 95% significance level. Hence, it has been observed that there is a significant difference between the indicator averages of the regions and the average income levels. In addition, hypothesis tests were also evaluated at 90% and 99% confidence intervals. No significant difference was observed in the results of the additional analyses.

For sustainable development, the correlation between income level and environmental performance measurement is of utmost importance. The ability of a country to invest in environmentally friendly technologies and practices is frequently correlated with income level. Environmental performance measurement enables richer nations to maintain their ecological commitments by monitoring the efficacy of these efforts. Additionally, it draws attention to inequalities, encouraging international cooperation and assisting less developed countries in implementing greener measures. In the end, this link emphasizes how important it is to strike a balance between economic success and environmental well-being to ensure a sustainable future. It has been shown that there is a significant difference between the income levels of the selected indicators with this step of the study. The results found are in parallel with the studies related to EPI indicators and income level in the literature (Esty & Porter, 2005; Cracolici, Cuffaro, & Nijkamp, 2010; Samimi et al., 2011; Hsu, Lloyd, & Emerson, 2013; Fakher & Abedi, 2017; Morse, 2018; Alhassan, Usman, Ike, & Sarkodie, 2020; Sarkodie, 2021; Raza, Sui, Jermisittiparsert, Żukiewicz-Sobczak, & Sobczak, 2021; Adeel-Farooq et al., 2023; Bădîrcea, 2023).

4. Conclusion

A vital instrument for nations to evaluate and enhance their environmental management is the EPI. This index offers a thorough assessment of a country's environmental performance, considering several variables like biodiversity preservation, air quality, water resources, and efforts to battle climate change. Its importance is seen in the broader context of sustainability as well as in the assessment of environmental health. The EPI is essential for international comparisons because it allows nations to compare their performance to that of their counterparts and pinpoint best practices. By allowing countries to learn from one another's triumphs and errors, this information exchange promotes international collaboration on environmental challenges. The EPI encourages a shared commitment to preserving our planet for future generations in a globalized world where environmental concerns cut across national boundaries. In essence, the EPI is a catalyst for creating environmental consciousness and advancing a sustainable future for all, not just a measurement tool.

Within the scope of this study, all the necessary indicators for EPI scores of 180 countries between 1995-2022 were compiled and the most important indicators were selected by Pareto analysis. Then, the relevant countries were divided into eight regions and regional comparisons of the selected parameters were analyzed in depth. While making the comparative analysis, sub-indicators selected from the three main indicators used in the EPI index were examined separately. In the next stage of the study, whether there is a significant difference between the twenty-seven-year regional average of the selected indicators and the income levels of the regions to take the study one level further, was analyzed with the independent t-test. As a result, nineteen hypotheses were accepted, and it was revealed that there was a statistically significant difference and studies showing parallelism were stated in the literature. The fact that indicators of the EPI have interrelated relationships with each other was not considered within the scope of the study shows the limitations of the study. In future studies, it is planned to determine the relationship between EPI indicators and to make comparisons on a continental basis.

The findings of this study are important to environmental agencies and policy makers who are interested in enhancing environmental sustainability. The enhanced environmental performance in high-income countries indicates that economic resources have an important role to play in environmental protection. It is therefore recommended to provide financial support, capacity building and environmentally friendly technology transfer to improve environmental performance in low-income countries. Furthermore, comparisons between the regions conducted in the study suggest that different regions have different environmental concerns. For example, regions with poor air quality can put measures in place to reduce emissions, while regions lagging behind in terms of biodiversity can upscale conservation. In short, some strategies have to be developed by regions and income groups to preserve the environment, and long-term environmental performance measures such as EPI are an important tool in the process.

Statements & Declarations**Ethical Approval**

Since this study did not recruit any human and/or animal subjects, this section does not apply.

Consent to Participate

Not applicable.

Consent to Publish

The authors confirm that the final version of the manuscript has been reviewed, approved, and consented for publication by all authors.

Author Contributions

All authors contributed to the study's conception and design. Material preparation, data collection and analysis were performed by Murat Oturakci. previous studies were analyzed by Rabia Sultan Yildirim and global comparisons were performed by Busra Yilmaz. The first draft of the manuscript was written by Murat Oturakci and all authors commented on previous versions of the manuscript. All authors read and approved the final manuscript.”

Funding

The authors declare that no funds, grants, or other support were received during the preparation of this manuscript.

Competing Interests

The authors have no relevant financial or non-financial interests to disclose.

Availability of data and materials

All data and materials are available in the manuscript.

REFERENCES

- Adeel-Farooq, R. M., Raji, J. O., & Qamri, G. M. (2023). Does financial development influence the overall natural environment? An environmental performance index (EPI) based insight from the ASEAN countries. *Environment, Development and Sustainability*, 25(6), 5123-5139. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02258-x>
- Alhassan, A., Usman, O., Ike, G. N., & Sarkodie, S. A. (2020). Impact assessment of trade on environmental performance: accounting for the role of government integrity and economic development in 79 countries. *Heliyon*, 6(9). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05046>
- Almarafi, B., Khudari, M., & Abdullah, A. (2023). A Critical Review of the Relationship Between Environmental Performance Index, Financial Development and Economic Growth. *International Journal of Professional Business Review*, 8(7), e02675. <https://doi.org/10.26668/businessreview/2023.v8i7.2675>
- American Lung Association. (2023, April 18). *Sulfur Dioxide*. Retrieved from <https://www.lung.org/clean-air/outdoors/what-makes-air-unhealthy/sulfur-dioxide>
- Bădîrcea, R. M., Doran, N. M., Manta, A. G., Puiu, S., Meghisan-Toma, G. M., & Doran, M. D. (2023). Linking financial development to environmental performance index—the case of Romania. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 36(2), 2142635. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2022.2142635>

Centers for Disease Control and Prevention. (2022, October 18). *Disease Impact of Unsafe Water*. Retrieved from <https://www.cdc.gov/healthywater/global/disease-impact-of-unsafe-water.html>

Centers for Disease Control and Prevention. (2022, September 2). *Health Effects of Lead Exposure*. Retrieved from <https://www.cdc.gov/nceh/lead/prevention/health-effects.htm>

Chandrasekharan, I., Kumar, R. S., Raghunathan, S., & Chandrasekaran, S. (2013). Construction of environmental performance index and ranking of states. *Current Science*, 435-439. <http://www.jstor.org/stable/24089743>

Chen, C., Liu, G. G., Sun, Y., Gu, D., Zhang, H., Yang, H., . . . Yao, Y. (2020). Association between household fuel use and sleep quality in the oldest-old: Evidence from a propensity-score matched case-control study in Hainan, China. *Environmental Research*, 191, 110229. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110229>

Cojocaru Bărbieru, A. C., Mihaila, S., & Grosu, V. (2023, May). The Relationship Between the Environmental Performance Index and the GDP Growth Rate in Emerging Countries in Europe. In *Conference on Sustainability and Cutting-Edge Business Technologies* (pp. 348-356). Cham: Springer Nature Switzerland.

Cracolici, M. F., Cuffaro, M., & Nijkamp, P. (2009). The Measurement of economic, social and Environmental Performance of Countries: A Novel approach. *Social Indicators Research*, 95(2), 339–356. <https://doi.org/10.1007/s11205-009-9464-3>

Debbi, S., Elisa, P., Nigel, B., Dan, P., & Eva, R. (2014). Factors influencing household uptake of improved solid fuel stoves in low- and middle-income countries: a qualitative systematic review. *International journal of environmental research and public health*, 11(8), 8228–8250. <https://doi.org/10.3390/ijerph110808228>

Devadmin. (2021). PM2.5 Explained. *Indoor Air Hygiene Institute*. Retrieved from <https://www.indoorairhygiene.org/pm2-5-explained/>

Duit, A. (2005). Understanding environmental performance of states: An institution-centered approach and some difficulties.

Environmental Performance Index. (2020). *Fish Stock Status*. <https://epi.yale.edu/epi-results/2020/component/fss>

Environmental Performance Index. (2020). *Terrestrial biome protection (national weights)*. Retrieved from <https://epi.yale.edu/epi-results/2020/component/tbn>

Environmental Performance Index. (2020). *Terrestrial biome protection (global weights)*. Retrieved from <https://epi.yale.edu/epi-results/2020/component/tbg>

Esty, D. C., & Porter, M. E. (2005). National environmental performance: an empirical analysis of policy results and determinants. *Environment and Development Economics*, 10(4), 391–434. <https://doi.org/10.1017/s1355770x05002275>

European Environment Agency. (2018, October 29). *Marine protected areas*. Retrieved from <https://www.eea.europa.eu/publications/marine-protected-areas/marine-protected-areas>

Fakher, H. A., & Abedi, Z. (2017). Relationship between environmental quality and economic growth in developing countries (based on environmental performance index). *Environmental energy and economic research*, 1(3), 299-310. <https://doi.org/10.22097/eeer.2017.86464.1001>

Forseth, I. (2010). Terrestrial Biomes. *Nature Education Knowledge* 3(10), 11.

Geneva Environment Network. (n.d.). *Sustainable Nitrogen Management and the Role of Geneva*. Retrieved from <https://www.genevaenvironmentnetwork.org/resources/updates/sustainable-nitrogen-management-and-the-role-of-geneva/>

- Grafton, R. Q., & Knowles, S. (2004). Social Capital and National Environmental Performance: A Cross-Sectional Analysis. *The Journal of Environment & Development*, 13(4), 336–370. <https://doi.org/10.1177/1070496504271417>
- Hsu, A., Lloyd, A., & Emerson, J. W. (2013). What progress have we made since Rio? Results from the 2012 Environmental Performance Index (EPI) and Pilot Trend EPI. *Environmental Science & Policy*, 33, 171-185. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2013.05.011>
- IEA. (2023, July 27). *Global coal demand set to remain at record levels in 2023*. Retrieved from <https://www.iea.org/news/global-coal-demand-set-to-remain-at-record-levels-in-2023>
- International Agency for Research on Cancer. (2010). *Household Use of Solid Fuels and High-temperature Frying*. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK385523/>
- Janishevski, L., Noonan-Mooney, K., Gidda, S. B., & Mulongoy, K. J. (2008). Protected areas in today's world: their values and benefits for the welfare of the planet. *CBD Technical Series*, (36).
- Kordas, K., Ravenscroft, J., Cao, Y., & McLean, E. V. (2018). Lead Exposure in Low and Middle-Income Countries: Perspectives and Lessons on Patterns, Injustices, Economics, and Politics. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(11), 2351. <https://doi.org/10.3390/ijerph15112351>
- Lamb, W. F., Wiedmann, T., Pongratz, J., Andrew, R. M., Crippa, M., Olivier, J. G. J., . . . Minx, J. C. (2021). A review of trends and drivers of greenhouse gas emissions by sector from 1990 to 2018. *Environmental Research Letters*, 16(7), 073005. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abec4e>
- Lymer, D., Funge-Smith, S., Clausen, J., & Miao, W. (2008). Status and potential of fisheries and aquaculture in Asia and the Pacific 2008.
- Matthew R. Fisher. (n.d.). *Terrestrial Biomes*. Lumen. Retrieved from <https://courses.lumenlearning.com/suny-monroe-environmentalbiology/chapter/3-3-terrestrial-biomes/>
- Morse, S. (2018). Relating environmental performance of nation states to income and income inequality. *Sustainable Development*, 26(1), 99-115. <https://doi.org/10.1002/sd.1693>
- Nathanson, J. A. & Ambulkar, . Archis (2023, August 12). *wastewater treatment*. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/technology/wastewater-treatment>
- National Geographic. (n.d.) *Water Inequality*. Retrieved from <https://education.nationalgeographic.org/resource/water-inequality/>
- National Marine Protected Areas Center (n.d.). *About Marine Protected Areas*. Retrieved from <https://marineprotectedareas.noaa.gov/aboutmpas/>
- OECD. (n.d). *The OECD Programme on Pesticides and Sustainable Pest Management | Vision for the future*. Retrieved from <https://www.oecd.org/chemicalsafety/pesticides-biocides/OECD-Pest-Vision-Final.pdf>
- Pujiati, A., Feronica, S. M. F., & Ridzuan, A. R. (2023). Measurement of The Role of Innovation in Increasing Environmental Performance Index: Empirical Study in Developed and Non-Developed Countries. *International Business and Accounting Research Journal*, 7(1), 18-36. <http://dx.doi.org/10.35474/ibarj.v7i1.144>
- Raza, A., Sui, H., Jermsittiparsert, K., Żukiewicz-Sobczak, W., & Sobczak, P. (2021). Trade liberalization and environmental performance index: Mediation role of climate change performance and greenfield investment. *Sustainability*, 13(17), 9734. <https://doi.org/10.3390/su13179734>
- Ritchie, H. & Max Roser (2020, May 11). *CO₂ and Greenhouse Gas Emissions*. Our World in Data. Retrieved from <https://ourworldindata.org/co2-emissions>

Ritchie, H. & Max Roser (2021, July 1). *Clean Water and Sanitation*. Our World in Data. Retrieved from <https://ourworldindata.org/sanitation>

Rogge, N. (2012). Undesirable specialization in the construction of composite policy indicators: The Environmental Performance Index. *Ecological Indicators*, 23, 143–154. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.03.020>

Rößger, N., Sachs, T., Wille, C., Boike, J., & Kutzbach, L. (2022). Seasonal increase of methane emissions linked to warming in Siberian tundra. *Nature Climate Change*, 12(11), 1031–1036. <https://doi.org/10.1038/s41558-022-01512-4>

Samimi, A. J., & Ahmadpour, M. (2011). Comparison of Environmental Performance Index (EPI) in OIC countries: before and after financial crisis. *Advances in Environmental Biology*, 201-209. <https://www.aensiweb.com/old/aeb/2011/201-208.pdf>

Samimi, A. J., Erami N. E., & Yusef, M. (2010). Environmental performance index and economic growth: evidence from some developing countries. *Australian journal of basic and applied sciences*, 4(8), 3098-3102. <https://www.ajbasweb.com/old/ajbas/2010/3098-3102.pdf>

Samimi, A. J., Kashefi, A., Salatin, P., & Lashkarizadeh, M. (2011). Environmental performance and HDI: evidence from countries around the world. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 10(3), 294-301. [https://idosi.org/mejsr/mejsr10\(3\)11/3.pdf](https://idosi.org/mejsr/mejsr10(3)11/3.pdf)

Sarkodie, S. A. (2020). Environmental performance, biocapacity, carbon & ecological footprint of nations: Drivers, trends and mitigation options. *The Science of the Total Environment*, 751, 141912. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141912>

Schuster, R. (2022, September 29). *Researchers find real reason the air quality in the Middle East is so bad*. Haaretz. Retrieved from <https://www.haaretz.com>

Shahabadi, A., Samari, H., & Nemati, M. (2017). Factors affecting Environmental Performance index (EPI) in selected OPEC countries. *Iranian Economic Review*, 21(3), 457–467. <https://doi.org/10.22059/ier.2017.62925>

Sima, V., & Gheorghe, I. G. (2014). Analyze of environmental performance in Romania based on environmental performance index. *Annals of the „Constantin Brâncuși” University of Târgu Jiu. Economy Series*, 3, 101-104. https://www.utgjiu.ro/revista/ec/pdf/2014-03/17_Sima.pdf

Sources of Greenhouse Gas Emissions | US EPA. (2023, August 25). Retrieved from <https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions>

Stanwick, P. A., & Stanwick, S. D. (1998). The relationship between corporate social performance, and organizational size, financial performance, and environmental performance: An empirical examination. *Journal of business ethics*, 17, 195-204. <https://doi.org/10.1023/A:1005784421547>

United States Environmental Protection Agency. (2023, April 13). *Overview of Greenhouse Gases*. Retrieved from <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases>

Wolf, M. J., Emerson, J. W., Esty, D. C., Sherbinin, A. D., & Wendling, Z. A. (2022). 2022 Environmental Performance Index (EPI) results. New Haven, CT: Yale Center for Environmental Law & Policy.

World Health Organization. Regional Office for the Eastern Mediterranean. (2005). *A regional overview of wastewater management and reuse in the Eastern Mediterranean Region*. Retrieved from <https://apps.who.int/iris/handle/10665/116463>

World Resources Institute. (n.d.). *Forest Loss*. Retrieved from <https://research.wri.org/gfr/forest-extent-indicators/forest-loss>

- Wurie, A. L., & Pillai, V. K. (2014). Correlates of Environmental Performance in Developing Countries. *International Review of Modern Sociology*, 149-162. <https://www.jstor.org/stable/43499906>
- Xin, Z., Davidson, E. A., Mauzerall, D. L., Searchinger, T. D., Dumas, P., & Shen, Y. (2015). Managing nitrogen for sustainable development. *Nature*, 528(7580), 51–59. <https://doi.org/10.1038/nature15743>
- Yalçın, F., Tepe, A. M., Doğan, G., & Çizmeci, N. (2021). Spatial regression models for explaining AQI values in cities of Turkey. *Kocaeli Journal of Science and Engineering*, 4(1), 1–15. <https://doi.org/10.34088/kojose.803949>
- Zhang, F., Ma, X., Gao, X., Cao, H., Liu, F., Wang, J., Guangzheng G., Liang T., Wang Y., Chen X., Wang, X. (2023). Innovative nitrogen management strategy reduced N₂O emission while maintaining high pepper yield in subtropical condition. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 354, 108565. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108565>
- Zhou, P., Ang, B., & Poh, K. (2007). A mathematical programming approach to constructing composite indicators. *Ecological Economics*, 62(2), 291–297. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.12.020>



Journal of Turkish Operations Management

A GIS-based multi-criteria decision-making approach for location selection of urban micro-consolidation centers under sustainability

Türkan Müge Özbekler^{1*}, Arzu Karaman Akgül²

¹ Department of Logistics Management, Yeditepe University, İstanbul, Türkiye

e-mail: muge.ozbekler@yeditepe.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0003-1127-4325>

² Department of Business Administration, Yıldız Teknik University, İstanbul, Türkiye

e-mail: akaraman@yildiz.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-4606-6756>

*Corresponding Author

Article Info

Article History:

Received: 10.01.2025

Revised: 17.03.2025

Accepted: 14.05.2025

Keywords:

Last-mile Logistics,
Location Selection Problem,
Sustainability,
Urban Micro-Consolidation Center

Abstract

With the rise of e-commerce, urban micro-consolidation centers (UMCs) have emerged as vital solutions for efficient last-mile logistics (LML). However, selecting appropriate locations for UMCs presents challenges in urban freight distribution, particularly concerning its impact on logistics activities and city stakeholders. This paper aims to introduce an evaluation system that facilitates logistics activities while considering economic, social, and environmental sustainability in the UMC location selection process for LML. To address this issue, a three-step solution approach has been developed. First, the criteria influencing UMC location decisions are identified based on sustainability dimensions, utilizing expert opinions and literature. Second, the importance of these criteria indicators is prioritized using the Analytical Hierarchy Process (AHP), while spatial analysis of the indicators is conducted using Geographic Information Systems (GIS). In this phase, the two methods are integrated through weighted overlay analysis within GIS to create a suitability map for potential locations. Finally, the possible sites are ranked using the Technique for Preference Ranking Similarity to the Ideal Solution (TOPSIS) for the İzmir region in Turkey, followed by a sensitivity analysis. The findings reveal that accessibility in the economic, traffic density in the social, and land topography in the environmental dimensions are crucial when selecting UMC locations for sustainability. Notably, the Çiğli district has been identified as the top priority for establishing a UMC, followed by the Bayraklı and Buca districts in İzmir, Turkey. As no such center currently exists in the region studied, these insights are expected to assist the industry and local authorities in future initiatives.

1. Introduction

Today, even for people who have not experienced online shopping before, purchasing tendencies are shifting to online platforms, and the e-commerce freight flow is booming globally. By the COVID-19 epidemic, it is known that 82% of all consumers globally shop online in the first quarter of 2020, and it is estimated that approximately 41% of the global retail share will be captured via e-commerce in 2027 (Boston Consulting Group, 2023). Although the growth of the e-commerce market promises economic opportunities for countries, the increasing freight flow is expected to boost the intensity experienced in urban distribution operations and the problems caused by the logistics sector. According to The Future of the Last-Mile Ecosystem report by the World Economic Forum (2020), it is predicted that urban freight flow both in freight volume and freight traffic will increase by 78%, the number of delivery vehicles by 36%, the emission rate by 32%, and the traffic congestion by 11 minutes globally in 2030.

Last-mile logistics (LML), which means delivery from the final distribution center to the ultimate customer, is characterized not only as the most crucial part of the supply chain but also the most inefficient and costly part (Bertolini, De Matteis, Nava, 2024). According to Capgemini Research Institute (2019), the last-mile constitutes 41% of the total supply chain cost considering the variability of the factors in the process. Increasingly demanding customer expectations in delivery times such as same-day, instant, and late-night and delivery options such as picking up from points or waiting for home delivery create challenges for operating LML. Operational inefficiencies are considerably high, as the LML features multi-location distribution in droplets (Sawik, 2024) and vehicles with less truckload (LTL) capacity during distribution (Ersoy and Çetiner, 2022). Further, LML is a

process that creates significant external costs for society in social and environmental aspects. In urban areas, the effect of the number of commercial vehicles on road transport on the total global greenhouse gases (GHG) is measured by 25% (International Energy Agency, 2021). The relationship of last-mile operations with issues such as traffic safety, noise, land use, and security also closely affect the liveability level of the urban.

Based on today's expectations, transforming the LML into a more sustainable one is becoming more important. At this point, one of the promising concepts is the urban micro-consolidation center (UMC) (Arrieta-Prieto, Ismael, Rivera-Gonzalez, Mitchell, 2021; Rudolph, Nsamzinshuti, Bonsu, Ndiaye, Rigo, 2022; Bertolini et al., 2024). UMC is a small transshipment facility close to the distribution area, allowing the LML to be carried out effectively. In this micro facility, all loads coming from the city consolidation center or logistics centers are dropped off from large vehicles (e.g., trucks and vans), reconsolidated, and distributed with smaller environmentally friendly vehicles (e.g., light electric vehicles, cargo bikes, and foot). In addition to enabling speedy logistics operations in terms of delivery time, UMC can be used as an order pick-up point for customers who prefer it and makes flexible delivery options possible (Rudolph et al., 2022). As an urban distribution platform, the UMC is operated collaboratively, mainly through planning and carrying out the last-mile activities of multiple logistics service providers (LSP) together (Urban Freight Lab, 2020). Sharing assets and capacities helps prevent the financial resources allocated to inefficient facility infrastructures while ensuring that urban logistics activities are coordinated (He, Zhou, Qi, Wang, 2020). Also, from the view of the social aspect, reducing the freight traffic volume on the roads and improving traffic security, close communication with citizens, and better management in returns service can be achieved by integrating UMC into LML (Özbekler and Karaman Akgül, 2020). The initiatives in cities where UMCs are piloted by courier, express, and parcel (CEP) service providers, mainly in Europe and the US, present many examples of the impact of micro facilities on the sustainability of LML. As a well-known example of deliveries via UMC, Gnewt Cargo in the UK has experienced a significant reduction in CO₂ emissions per cargo by 88%, total urban vehicle distance by 52%, and vehicle density and disturbance levels to the community (Urban Freight Lab, 2020). This improved effect is also evident in the cases of La Petite Reine in France, Binnenstadservice in the Netherlands, and KoMoDo in Germany.

Regarding studies in the LML field, authors generally emphasize the criticality of UMC location selection (Aljohani and Thompson, 2018; Rudolph et al., 2022). As a strategic decision, the UMC location should demonstrate a performance that can outweigh the effectiveness of LML activities within the city's characteristics (e.g., high land costs and unavailability of suitable facilities). Regarding UMC location, central location, high upstream and downstream accessibility, and dedicated infrastructures highlight topics to consider (Arrieta-Prieto et al., 2021). In addition, the issues of minimizing firm costs, avoiding traffic density, and having a sufficient area to expand the facility come to the fore when the location selection of UMC (Urban Freight Lab, 2020; Novotná, Švadlenka, Jovčić, Simić, 2022). Since determining an optimum UMC location requires fulfilling multiple priorities simultaneously, this becomes a challenging selection problem. Although the positive effects of UMC on the processes of LML have been identified in many studies (Katsela, Güneş, Fried, Goodchild, Browne, 2022; Bertolini et al., 2024), it is seen that the number of studies that systematically examine the criteria for the location of UMC and determine the optimum location in urban areas is very scarce (Aljohani and Thompson, 2018; Arrieta-Prieto et al., 2021). Further, previously published studies are mostly limited to organizational and economic aspects of UMC location decisions (Rudolph et al., 2022). Since the necessities for optimal UMC location alters in compliance with economic, social, and environmental concerns in LML (Kumar and Anbanandam, 2019), it is essential to clarify how sustainability can be achieved in the location selection (Katsela et al., 2022). This paper seeks to systematically investigate a sustainable framework for UMC's location selection, which will help address these research gaps.

The research on UMC's location selection has focused chiefly on mathematical programming, and multi-criteria decision-making (MCDM) approaches. While few authors have drawn on any systematic research into UMC location based on the Geographic Information Systems (GIS) approach (Aljohani and Thompson, 2018; Kedia, Kusumastuti, Nicholson, 2020; Bayliss, Bektaş, Tjon-Soei-Len, Rohner, 2023; Wang, Li, Lu, 2023), there has been no detailed investigation of the location selection process from a sustainability aspect. GIS enables us to understand the subject more deeply by collecting, storing, processing, and presenting information obtained through location-based observations in an integrated manner. In this respect, the methodological approach taken in this paper is a comprehensive, integrated solution methodology based on a GIS-based MCDM Approach, including AHP and TOPSIS methods. To the authors' best knowledge, this paper makes a significant contribution to research on logistics and supply chain management from a methodological aspect by demonstrating sustainable location selection of UMC from the real-life case visualization.

The remaining part of the paper proceeds as follows: Section two examines the literature review, and section three addresses the main methodologies adopted. Section four gives insights through an evaluation system for UMC location selection under sustainability. Lastly, section five delves into a discussion part, and section six presents the conclusion and future directions of the research.

2. Literature Review

Land suitability assessment (LSA) is a crucial process that evaluates specific land areas to determine their optimal use for industries, facilities, and settlements (Zolekar and Bhagat, 2015). By utilizing a variety of weighted criteria and the weighted overlay method, LSA effectively assesses suitability levels, ensuring that land use is both efficient and sustainable. This evaluation is not just important; it is imperative for effective urban planning and rational land use (Ramya and Devadas, 2019). Identifying suitable locations for UMCs based on sustainability criteria can be viewed as a location selection problem within the scope of LSA. There are some studies to localize suitable locations for UMCs by using expressed methods such as hybrid MCDM combining AHP and Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations (PROMETHEE) method (Rudolph et al., 2022), a greedy-heuristic-aided Bi-level mixed-integer programming (Arrieta-Prieto et al., 2021), a fuzzy multi-attribute group decision making (FMAGDM) based on a linguistic 2-tuple (Rao et al., 2015) and using couple MCDM techniques including The Best-Worst Method (BWM), Criteria Importance Through Intercriteria Correlation (CRITIC) method, and Weighted Aggregated Sum Product Assessment (WASPAS) method (Novotná et al., 2022). However, the effectiveness of deciding on a suitable location for a UMC requires reliability in the considered criteria; spatial decision problems put forth the need to integrate spatially referenced data in a problem-solving environment (Cetinkaya et al., 2016). Accordingly, in most recent studies of location selection problems in LML literature, GIS has been used with MCDM methods to acquire powerful techniques for converting spatial and non-spatial data into information within the decision maker's judgment (Bayliss et al., 2023).

Many researchers have utilized various MCDM techniques in related literature to reach the "best/optimal" solution in decision problems. In addition to no technique being superior to the others, researchers can use it separately or integratively according to the handled problem (Özkan, Özceylan, Korkmaz, Cetinkaya, 2019; Özbekler and Karaman Akgül, 2020). The method to be followed for this research required the creation of a mixed scientific framework by blending more than one research design within the complex nature of the location selection issue addressed. Within the study's scope, AHP and TOPSIS were preferred among the MCDM methods used in decision-making problems in operations science. At the same time, GIS analysis supported the study in terms of processing and visualizing the quantitative variables related to the problem within an integrated structure with the MCDM technique. There are some location selection studies on the GIS-based MCDM, such as a model of Automated Parcel Delivery Terminals with GIS-based AHP (Muerza et al., 2018), a model of a Central City Transshipment Facility with a GIS-based Analytic Network Process (ANP), and TOPSIS (Aljohani and Thompson, 2018), and a model of optimal planning of electric vehicle charging stations with GIS-based AHP, PROMETHEE, and VlseKriterijuska Optimizacija I Komoromisno Resenje (VIKOR) (Kaya, Tortum, Alemdar, Çodur, 2020). While the use of MCDM for assessing the suitability of delivery nodes is recognized, its adoption for mapping the suitability of UMCs for the last leg of last-mile delivery is lacking. Furthermore, the absence of studies that have utilized the GIS, AHP, and TOPSIS approaches, incorporating locally available variables such as economic conditions, environmental awareness, security, and land use, to identify sustainable dimensions-based suitable sites, highlights the need for further research in this area.

Although there are a lot of different MCDM methods integrated with GIS, AHP is the most used one for assigning criteria weights, and the TOPSIS is the most used one to rank the alternatives (Al-Abadi et al., 2025; Haktanır and Kahraman, 2024). AHP, which Saaty (1980) proposed, is one of the most well-known methods for assessing complex decision-making problems by hierarchical structures to obtain the best among many possible results. Gathering insights from AHP provides a significant opportunity to advance the understanding of holistic structure by collecting data from logistics experts. VIKOR, an effective decision-making method used in literature, provides an alternative to TOPSIS for ranking alternatives based on conflicting criteria (Kaya et al., 2020). Similarly, PROMETHEE analysis can produce better results with the preference function determined by decision-makers (Rudolph et al., 2022). In this study, the evaluated alternatives were assessed with a neutral lens, effectively aligning with the core research topic. Notably, the characteristics of the criteria and alternatives employed gauge fundamentally distinct concepts, underscoring the robustness and depth of our analysis. This unique approach piqued our interest and led us to choose TOPSIS analysis for our study. Also, limited literature exists that focusses on UMCs mapping and analyses, much less utilizing AHP and TOPSIS methods. This study aims to make new contributions to the literature by combining GIS and MCDM (AHP and TOPSIS) and developing an integrated model.

3. Methodology

This paper uses a hybrid approach integrating AHP (for prioritization criteria), GIS (for visualization criteria through actual data), and TOPSIS (for ranking potential sites) to gain insights into a sustainable UMC location selection problem. The methodology for the study can be seen in Figure 1. The section that follows presents a brief explanation of MCDM methods and GIS. Research and publication ethics were followed in this study.

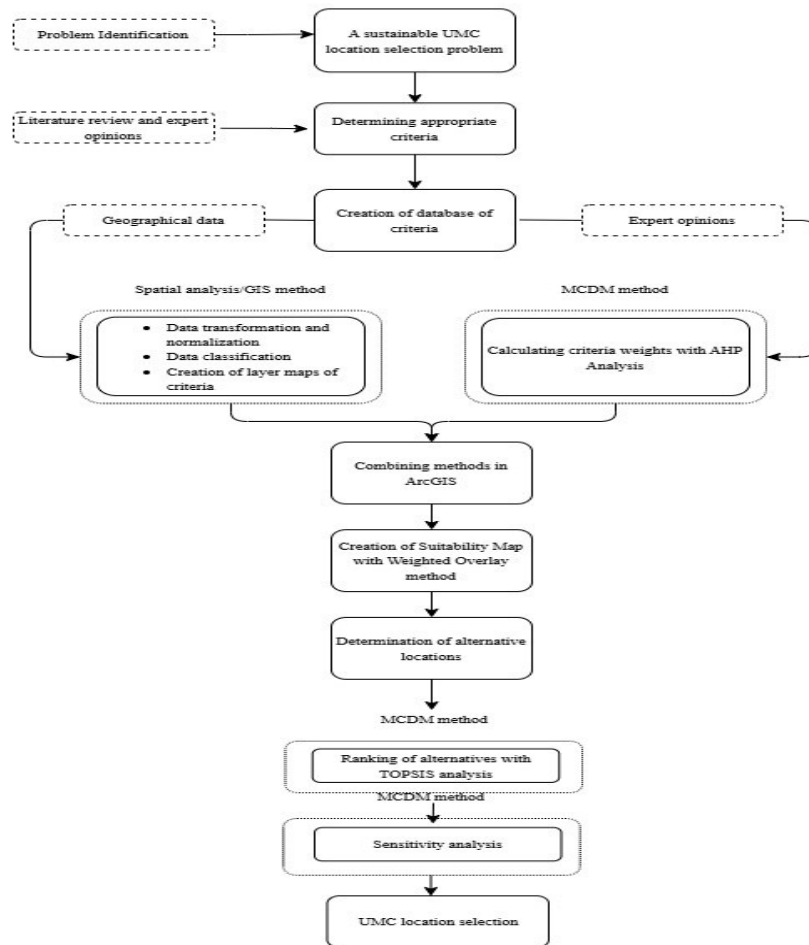


Figure 1. Applied methodology

3.1. AHP

The AHP method performs analytical procedures systematically, including defining the problem, determining criteria and sub-criteria, and calculating their relative weights on pairwise comparisons on a qualitative scale. This method is widely used in studying facility location selection problems to enable a logical and straightforward framework for evaluating multiple criteria simultaneously (Kumar and Anbanandam, 2019; Kaya et al., 2020; Rudolph et al., 2022). Regarding the AHP method, the steps are as follows:

- Step 1 “Defining the problem and determining criteria and sub-criteria”: It includes clearly defining the problem intended to be solved and determining criteria and sub-criteria that fit the purpose.
- Step 2 “Creating hierarchical structure on specific criteria and sub-criteria”: It involves establishing a hierarchical structure that is detailed from top to bottom depending on the complexity of the problem.
- Step 3 “Gathering the pairwise comparisons and generating of pairwise comparison matrix”: First, the relative priorities of the criteria are gathered through numerically scaled levels of importance in a survey format by performing a pairwise comparison scale based on Table 1.

Table 1. Pairwise comparison scale (Saaty, 1980)

Levels of importance	Linguistic judgments
1	Equal importance
3	Moderate importance
5	Strong importance
7	Very strong importance
9	Absolute importance
2,4,6,8	Intermediate values

Secondly, a $n \times n$ paired comparison matrix is generated by comparing two criteria at the same hierarchical level. Equation (1) refers to the matrix A^k whereby "n" represents the number of criteria or sub-criteria, and a_{ij}^k value represents the kth expert's preference of the criterion "i" compared with the "j" criterion. Here, the a_{ji}^k value is obtained from $1/a_{ij}^k$ based on the mutual comparison axiom of the AHP method. The components on the diagonal of the comparison matrix take the value 1 because it indicates $i=j$ equality.

$$A^k = \begin{bmatrix} 1 & a_{12}^k & \dots & a_{1n}^k \\ a_{21}^k = 1/a_{12}^k & 1 & \dots & a_{2n}^k \\ \dots & \dots & 1 & \dots \\ a_{n1}^k = 1/a_{1n}^k & a_{n2}^k & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

The AHP method usually requires group decision-making and the mathematical combination of personal judgments within the group since a single expert's judgment may seem too subjective (Saaty and Özdemir, 2014). According to a group decision-making scenario, a_{ij} values are gathered from k number of experts, are calculated using the geometric mean of the comparisons as stated in equation (2), and then are presented as matrix A on equation (3).

$$a_{ij} = \sqrt[k]{a_{ij}^1 * a_{ij}^2 * \dots * a_{ij}^k} \quad (2)$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & 1 & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

- Step 4 "Calculating the weights of criteria and sub-criteria": The Eigenvector of $n \times n$ pairwise comparison judgment matrix can be calculated as stated in equation (4), where λ_{max} is the maximum eigenvalue in the eigenvector of $\vec{W}$ of matrix $A_{n \times n}$

$$A\vec{W} = \lambda_{max}\vec{W}, \quad \lambda_{max} \geq n \quad (4)$$

The weights resulting from calculating how important each subcriterion i compared with another subcriterion within the same criterion c is expressed as a local weight LW_i^c (refer to equation (5)), and how important each criterion c in relation to the objective is called as criterion global weight FW^c (refer to equation (6)). Finally, the subcriterion global weight GW_i is gathered by multiplying LW_i^c and FW^c (refer to equation (7)).

$$LW_i^c = \frac{(\prod_{j=1}^n b_{ij})^{1/n}}{\sum_{i=1}^n (\prod_{j=1}^n b_{ij})^{1/n}}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n. \quad (5)$$

$$FW^c = \frac{(\prod_{j=1}^n a_{ij})^{1/n}}{\sum_{i=1}^n (\prod_{j=1}^n a_{ij})^{1/n}}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n. \quad (6)$$

$$GW_i = LW_i^c * FW^c, \quad i, j = 1, 2, \dots, n. \quad (7)$$

- Step 5 "Examining the consistency ratio (CR)": CR is calculated as in equation (9), based on the Consistency Index (CI) value (refer to Equation (8)) and the Random Index (RI) value. In RI, values were already estimated by Saaty (1987) according to the number of criteria compared in the study. If $CR < 0.1$, matrix A is interpreted as sufficiently consistent.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (8)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} < 0.1 \quad (9)$$

3.2. TOPSIS

TOPSIS is a widely accepted MCDM ranking technique developed by Hwang and Yoon (1981) to identify solutions from a finite set of alternatives. This method is based on the logic of determining ideal and negative ideal solutions and evaluating the distances of alternatives to these solutions in a geometrical (i.e., Euclidean) sense. While the ideal solution (A^+) maximizes the return of the criterion in terms of benefit or gain and minimizes the

cost criterion, the negative ideal solution (A^-), on the contrary, minimizes the benefit and maximizes the cost. An alternative chosen by the decision-makers is expected to be with the shortest distance from the ideal solution and the farthest distance from the negative ideal solution. TOPSIS technique is frequently preferred because it does not contain complex algorithms and provides easy-to-understand outputs with few inputs. The main steps of the TOPSIS procedure are as follows:

- Step 1 “Creating the decision matrix”: The decision matrix ($D = [x_{ij}]$) denotes the performance (x_{ij}) of each alternative (A_i) with each criterion (C_j) to be taken as a basis for ranking. Here, the decision matrix is created by representing a set of m alternatives, a set of n criteria, and a set of k decision-makers, which can be seen in equation 10.

$$D = \begin{matrix} & \begin{matrix} A_1 & A_2 & \dots & A_m \end{matrix} \\ \begin{matrix} C_1 & C_2 & \dots & C_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (10)$$

- Step 2 “Obtaining the normalized matrix”: The decision matrix D normalized by converting x_{ij} into normalized measures r_{ij} in Equation 11.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n. \quad (11)$$

- Step 3 “Calculating the weighted normalized decision matrix”: Weighted normalized matrix (V) is formed by multiplying the weight values of the criteria (w_i) with the values obtained by the normalized matrix (r_{ij}) (refer to equation (12)). In this paper, the set of weight values is obtained by the AHP method.

$$v_{ij} = w_i * r_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n. \quad (12)$$

- Step 4 “Determining the ideal and negative-ideal solutions”: The values in the V matrix are determined as in equations (13) and (14), respectively, as ideal solution (A^+) and negative ideal (A^-) solution.

$$A^+ = \left\{ (\max_i v_{ij} | j \in J), (\min_i v_{ij} | j \in J') \right\} A^+ = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+\}, \quad (13)$$

$$A^- = \left\{ (\min_i v_{ij} | j \in J), (\max_i v_{ij} | j \in J') \right\} A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\}. \quad (14)$$

- Step 5 “Identifying distances from the ideal and negative-ideal solutions”: Using the Euclidean distance approach, the ideal distance (d_i^+) and the negative ideal distance (d_i^-) for each alternative are calculated in equations (15) and (16), respectively.

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n, \quad (15)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n. \quad (16)$$

- Step 6 “Calculating closeness coefficient of each alternative”: In calculating the closeness coefficient of each alternative to the ideal solution (C_i^*), distance measures from the ideal and negative ideal points are used. Ranking the alternatives considering the C_i^* values is the final step of TOPSIS.

$$C_i^* = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}, 0 \leq C_i^* \leq 1, i = 1, 2, \dots, m. \quad (17)$$

3.3. GIS

GIS is a computerized system that integrates spatial data (e.g., bus routes and existing bike roads) and attribute data (e.g., population density and traffic volume) and fulfills functions of collecting, storing, retrieving, manipulating, analyzing, and mapping (Çetinkaya, Özceylan, Erbaş, Kabak, 2016). The data utilized in GIS is classified into two main types: spatial data and attribute data. Spatial data refers to information that defines features' location and relationships with other spatial elements, such as transportation networks, topographic maps, and existing roadways. On the other hand, attribute data provides details about the characteristics of those geographical features within the database, including information like highway traffic volume and population density (Özkan et al., 2019). Attribute data is descriptive information used to analyze objects according to specific criteria and make them meaningful by transforming the obtained spatial data from vector or raster data formats within the software. Vector data refers to data represented by x and y coordinate pairs that allow the objects on the map to be shown as

points, lines, and areas. For example, points can be used to show the locations of factories, lines can be used to show bicycle paths, and areas can be used to show green areas. Conversely, raster data is based on the expression of spatial data in squares consisting of cells defined as pixels with equal rows and columns and the geographical area represented by each cell. In particular, the visualization of attributes such as slope and aspect of a certain geographical area is performed via a raster data format (Çakmak et al., 2021).

Within the scope of this study, the attributes related to the determined criteria formed the layers of the GIS analysis and were weighted with the AHP technique from the MCDM methods. The suitability map, the outcome of the GIS analysis, was obtained by applying the Weighted Overlay analysis method in ESRI ArcGIS 10.2 software. For the generation of the suitability map for the facility location selection problem in this study, the following five steps were followed, respectively: introducing the characteristics of the study area, determining the weights and indicators of the criteria attributes, gathering geographical data, preparing the data related to the relevant attributes in ArcGIS software and creating layers, and finally processing the data with appropriate weights and visualizing the most suitable areas for the facility through the Weighted Overlay analysis method.

4. An Evaluation system for location selection problem

4.1. Sampling and data collection

The universe of this study consists of all stakeholders affected by and affecting urban logistics activities. Since reaching all units in this universe would be difficult, time-consuming, and costly, the study was conducted using purposive sampling, a non-probability sampling. The sample consists of 18 people, six from the academic sector, seven from the industrial sector, and five from the public sector, with at least ten years of experience. In the study conducted by Saaty and Özdemir (2014), the issue of the sample size to minimize errors and obtain consistent comparison matrices in MCDM methods was discussed. Accordingly, it was stated that if the decision-making experts included in the study have a homogeneous area of expertise, the group should not exceed seven people. There is a strong correlation between a larger sample size included in the study and the possibility of inconsistent analysis results (Pun and Hui, 2001). The study sample was determined based on this information. It was aimed that academicians who provide a scientific approach to the study selected from the fields of logistics and supply chain, trade, business, and marketing, sectoral participants who provide a perspective on the real sector selected from people who undertake different roles in the fields of logistics and trade, and public sector participants selected from the fields of urban planning and transportation services in particular. The questionnaire regarding the criteria evaluation was delivered to the participants in the third week of July 2020 through a printed survey form and online survey form created via the website 1KA – One Click Survey and the data collection process was carried out.

The UMC location selection problem is addressed within the scope of İzmir province. To obtain the geographical data of the relevant province, a research permit letter dated 21.07.2020 and numbered 44513635 and a data request letter dated 24.07.2020 and numbered 53771667 were received from the Yıldız Technical University Social Sciences Institute Directorate. Accordingly, data from İzmir Metropolitan Municipality and The General Directorate of Security were obtained at the end of August 2020. Other data used in the GIS method were obtained from open databases.

4.2. Evaluation criteria

It is stated that the most important benefits of UMC will emerge when it is located relatively closer to the customer density points and the logistics center (Özbekler and Karaman Akgül, 2020), and at the same time, there is a need for the selected facility location to minimize the externalities created by urban logistics activities in economic, social and environmental aspects (Katsela et al., 2022). The hierarchical structure of the study was designed to address the three dimensions of sustainability: economic, social, and environmental and was determined as criterion (C), sub-criterion (SC), and attribute (A) by utilizing the relevant literature review and expert opinions, as seen in Figure 2.

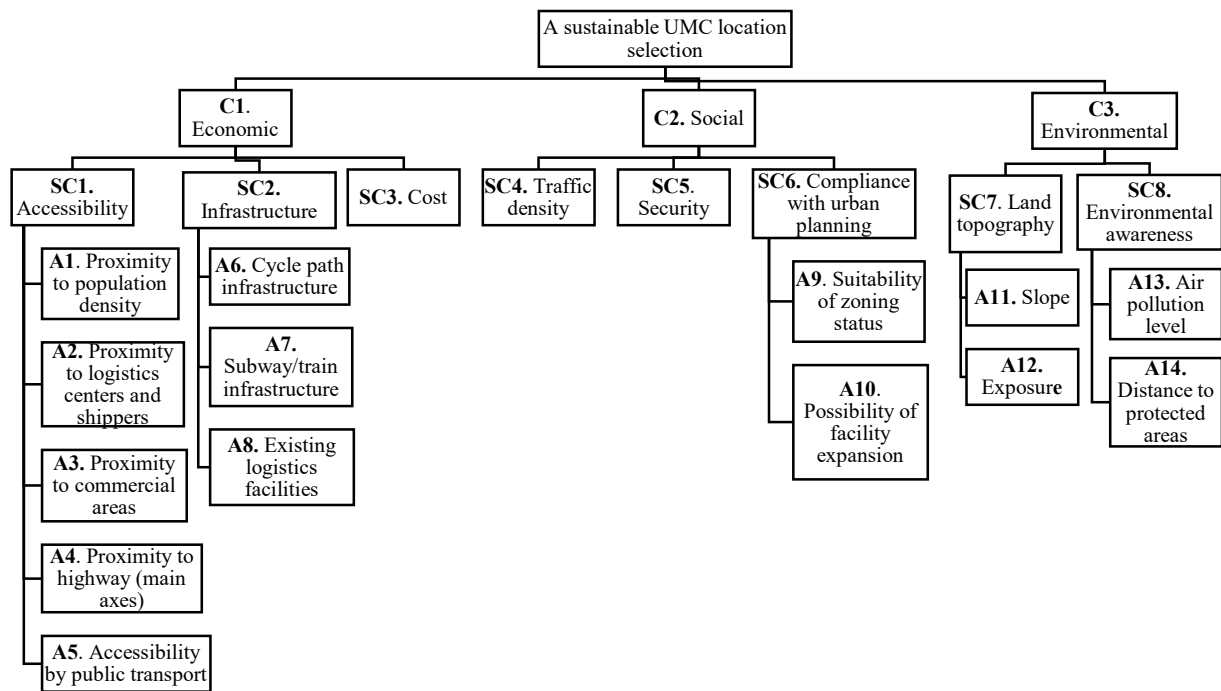


Figure 2. The hierarchical structure of the study

The hierarchical table, consisting of criteria and sub-criteria as well as attribute elements, was used to enable the analysis of AHP and to create a framework suitable especially for GIS analysis. The sources and a brief description of each criterion, sub-criterion, and attribute specified in the hierarchical table can be seen in Table 2.

Table 2. The sources and a brief description of each criterion, sub-criterion, and attribute

Authors	Description
(Rao et al., 2015), (Kumar and Anbanandam, 2019), (Novotná et al., 2022), (Wang et al., 2023)	C1.Economic: features regarding accessibility, infrastructure, and cost elements and emphasizes the economic sustainability of last-mile logistics.
	C2.Social: features regarding traffic congestion, security, and regional planning, and emphasizes the social sustainability of last-mile logistics.
	C3.Environmental: features regarding land structure and environmental sensitivity and emphasizes the environmental sustainability of last-mile logistics.
(Rao et al., 2015), (Aljohani and Thompson, 2018), (Anderluh et al., 2020), (Kedia et al., 2020), (Novotná et al., 2022), (Wang et al., 2023)	SC1.Accessibility: accessing important points in the surrounding (e.g., consumer density, highways, shippers)
	SC2.Infrastructure: the existing infrastructure features of the facility location (e.g. cycle path infrastructure, subway/train infrastructure, existing logistics facilities).
	SC3.Cost: the cost features of facility location (e.g., land acquisition cost).
	SC4.Traffic density: the impact of facility location on the city's current traffic density (e.g. urban road traffic volume).
	SC5.Security: the traffic safety level of the area where the facility is located (e.g., traffic accident rate).
	SC6.Compliance with urban planning: compatibility of the facility location with urban regulations and plans (e.g., compatibility of zoning status).

(Aljohani and Thompson,2018), (Kumar and Anbanandam,2019), (Anderluh et al.,2020), (Novotná et al., 2022), (Wang et al., 2023)	Attributes	SC7.Land topography: the characteristics of the land
		SC8.Environmental awareness: the possible environmental impacts of the activities to be carried out at the location (e.g. air pollution level).
		A1.Proximity to population density: a point close to customer density in terms of the cargo delivery process.
		A2.Proximity to logistics centers and shippers: suitability of the facility location in terms of the cargo's entry point into the city.
		A3.Proximity to commercial areas: proximity of the facility location to organized industrial zones.
		A4.Proximity to the highway (main axes): the ease of access for commercial vehicles to the facility by road.
		A5.Accessibility by public transport: the possibility of using public transportation for transportation of customers receiving cargo from the facility and personnel working in the facility.
		A6.Cycle path infrastructure: the existence of the necessary infrastructure for transportation activities to be carried out by bicycle.
		A7.Subway/train infrastructure: the presence of subway/train infrastructure near the facility for efficient and rapid transportation of staff and customers and cargo transportation.
		A8.Existing logistics facilities: suitability for increasing the efficiency of using existing logistics facility structures.
		A9.Suitability of zoning status: land use suitability within the scope of urban development planning announced by the local government.
		A10.Possibility of facility expansion: area to allow for facility expansion in line with increasing demands in the long term.
		A11.Slope: the slope of the land structure.
		A12.Exposure: the facility's location for receiving solar radiation and energy efficiency.
		A13.Air pollution level: the impact on current air quality resulting from facility-related activities.
		A14.Distance to protected areas: the facility's distance to areas that have been decided to be protected.

4.3. Analysis of the AHP

After determining the research criteria, the group decision approach was followed to analyze the data, and the process of converting individual judgments within the group into a single judgment representing the entire group was carried out. The values of the experts in the pairwise comparison matrix within the group were combined with the geometric mean, the appropriateness of the consistency rate of the created group matrices was examined, and all group matrices were found to be consistent as $CR < 0.1$. Then, the normalization process of the matrices was performed, and thus, with the help of the normalized matrix, the priority vector was calculated, and the weight importance value was found for each criterion, sub-criterion, or attribute. Finally, the λ_{max} , CI, and RI values were calculated to calculate the consistency ratios of the matrices. It was seen that all CR values of the matrices were less than 0.10, and the comparisons made were consistent. The pairwise comparison matrix and normalized decision matrix of criteria are shown in Table 3.

Table 3. The pairwise comparison matrix and normalized decision matrix of criteria

The pairwise comparison matrix				Normalized decision matrix of criteria				W				
	C1	C2	C3		C1	C2	C3	The priority vector				
C1	1	2,83	2,83	C1	0,586	0,623	0,540	0,583				
C2	0,35	1	1,41	C2	0,207	0,220	0,269	0,232				
C3	0,35	0,71	1	C3	0,207	0,156	0,191	0,185				
λ max = 3,0131		CI= 0,0066		RI= 0,58 (for n=3)			CR= 0,0113<0,1					
The pairwise comparison matrix				Normalized decision matrix of criteria				W				
	SC1	SC2	SC3		SC1	SC2	SC3	The priority vector				
SC1	1	2,48	2,62	SC1	0,560	0,606	0,499	0,555				
SC2	0,40	1	1,63	SC2	0,226	0,244	0,310	0,260				
SC3	0,38	0,61	1	SC3	0,214	0,150	0,190	0,185				
λ max = 3,0210		CI=0,0105		RI= 0,58 (for n=3)			CR= 0,0181<0,1					
The pairwise comparison matrix				Normalized decision matrix of criteria				W				
	SC4	SC5	SC6		SC4	SC5	SC6	The priority vector				
SC4	1	1,62	1,76	SC4	0,458	0,488	0,420	0,455				
SC5	0,62	1	1,43	SC5	0,282	0,301	0,341	0,308				
SC6	0,57	0,70	1	SC6	0,260	0,211	0,239	0,236				
λ max = 3,0084		CI= 0,0042		RI= 0,58 (for n=3)			CR= 0,0072<0,1					
The pairwise comparison matrix				Normalized decision matrix of criteria				W				
	SC7	SC8			SC7		SC8	The priority vector				
SC7	1	1,03		SC7	0,507		0,507	0,507				
SC8	0,97	1		SC8	0,493		0,493	0,493				
λ max =2,0000		CI= 0		RI= 0 (for n=2)			CR= 0 <0,1					
The pairwise comparison matrix						Normalized decision matrix of criteria					W	
	A1	A2	A3	A4	A5		A1	A2	A3	A4	A5	The priority vector
A1	1	1,38	1,99	0,48	1,58	A1	0,202	0,232	0,241	0,179	0,198	0,211
A2	0,72	1	1,96	0,42	1,50	A2	0,147	0,168	0,238	0,157	0,188	0,180
A3	0,50	0,51	1	0,41	1,17	A3	0,102	0,086	0,121	0,153	0,147	0,122
A4	2,08	2,38	2,44	1	2,71	A4	0,421	0,401	0,296	0,373	0,340	0,366
A5	0,63	0,67	0,85	0,4	1	A5	0,128	0,112	0,104	0,138	0,126	0,121
λ max = 5,0545		CI= 0,0136				RI= 1,12 (for n=5)				CR= 0,0122<0,1		
The pairwise comparison matrix						Normalized decision matrix of criteria				W		
	A6		A7	A8			A6		A7	A8		The priority vector
A6	1		0,47	0,42		A6	0,182		0,147	0,211		0,180
A7	2,12		1	0,58		A7	0,386		0,312	0,288		0,329
A8	2,36		1,73	1		A8	0,431		0,541	0,500		0,491
λ max = 3,0216			CI= 0,0108			RI= 0,58 (for n=3)			CR= 0,0186<0,1			
The pairwise comparison matrix						Normalized decision matrix of criteria				W		
				A9		A10		A9	A10		The priority vector	
A9				1		0,92	A9	0,479	0,479		0,479	

A10	1,09	1	A10	0,521	0,521	0,521
$\lambda \max = 2,0000$	CI= 0	RI= 0 (for n=2)	CR= 0 <0,1			
The pairwise comparison matrix			Normalized decision matrix of criteria		W	
	A11	A12		A11	A12	The priority vector
A11	1	3,66	A11	0,785	0,785	0,785
A12	0,27	1	A12	0,215	0,215	0,215
$\lambda \max = 2,0000$	CI= 0	RI= 0 (for n=2)	CR= 0 <0,1			
The pairwise comparison matrix			Normalized decision matrix of criteria		W	
	A13	A14		A13	A14	The priority vector
A13	1	1,12	A13	0,528	0,528	0,528
A14	0,89	1	A14	0,472	0,472	0,472
$\lambda \max = 2,0000$	CI= 0	RI= 0 (for n=2)	CR= 0 <0,1			

Table 3 indicates the criteria' local weight (L) degrees within their own categories. In addition, the weights resulting from calculating the importance degree of each criterion, sub-criteria, and attribute, regardless of category, are expressed as global weight (G). G is obtained by multiplying the criterion's weight by which it is attached with the L belonging to each criterion (Saaty, 1988). Table 4 shows the general ranking of all criteria, sub-criteria, and attributes considered in the study according to L, G, and importance levels (I.L.).

Table 4. Priority ranking of criteria regarding facility location selection

Main Criteria		Sub-criteria		Attributes	
C1. Economic	L: ,583 G: ,583 I.L.: 1	SC1. Accessibility	L: ,555 G: ,324 I.L.: 1	A1. Proximity to population density	L: ,211 G: ,068 I.L.: 7
				A2. Proximity to logistics centers and shippers	L: ,180 G: ,058 I.L.: 8
				A3. Proximity to commercial areas	L: ,122 G: ,040 I.L.: 12
				A4. Proximity to the highway (main axes)	L: ,366 G: ,119 I.L.: 1
				A5. Accessibility by public transport	L: ,121 G: ,039 I.L.: 13
		SC2. Infrastructure	L: ,260 G: ,152 I.L.: 2	A6. Cycle path infrastructure	L: ,180 G: ,027 I.L.: 15
				A7. Subway/train infrastructure	L: ,329 G: ,050 I.L.: 9
				A8. Existing logistics facilities	L: ,491 G: ,075 I.L.: 4
		SC3. Cost	L: ,185 G: ,108 I.L.: 3	-	I.L.: 2
C2. Social	L: ,232 G: ,232 I.L.: 2	SC4. Traffic density	L: ,455 G: ,106 I.L.: 4	-	I.L.: 3
		SC5. Security	L: ,308 G: ,071 I.L.: 7	-	I.L.: 6

C3. Environmental	L: ,185 G: ,185 I.L.: 3	SC6. Compliance with urban planning	L: ,236 G: ,055 I.L.: 8	A9. Suitability of zoning status	L: ,479 G: ,026 I.L.: 16
				A10. Possibility of facility expansion	L: ,521 G: ,029 I.L.: 14
		SC7. Land topography	L: ,507 G: ,094 I.L.: 5	A11. Slope	L: ,785 G: ,074 I.L.: 5
				A12. Exposure	L: ,215 G: ,020 I.L.: 17
		SC8. Environmental awareness	L: ,493 G: ,091 I.L.: 6	A13. Air pollution level	L: ,528 G: ,048 I.L.: 10
				A14. Distance to protected areas	L: ,472 G: ,043 I.L.: 11

4.4. Analysis of GIS approach

4.4.1. Study area

İzmir is the third largest city in Turkey, located on the coast of the Aegean Sea in western Turkey, between the north latitudes 37° 45' and 39° 15' and the east longitudes 26° 15' and 28° 20'. İzmir's total surface area is 11,973 km², and its districts are 30 (İzmir Governorship, 2024). The districts of İzmir are Aliağa, Balçova, Bayındır, Bayraklı, Bergama, Beydağ, Bornova, Buca, Çeşme, Çiğli, Dikili, Foça, Gazimir, Güzelbahçe, Karabağlar, Karaburun, Karşıyaka, Kemalpaşa, Kınık, Kıraz, Konak, Menderes, Menemen, Narlıdere, Ödemiş, Seferihisar, Selçuk, Tire, Torbalı, Urla. The population of İzmir as of 2024 is 4,479,525 people (TÜİK, 2024).

4.4.2. The data set

The approach taken in the GIS analysis regarding the existing attributes determined in the AHP analysis differed in two aspects: (1) The attribute of the existence of the subway/train infrastructure was included in the analysis in a way that also included the attribute of accessibility by public transport. (2) In addition to attributes in the AHP analysis, the security sub-criterion was included in the analysis as traffic accident rate, the cost sub-criterion as land acquisition cost, and the traffic density sub-criterion as road traffic volume. The attributes, weights, indicators, and data sources regarding the layers included in the GIS analysis are presented in Table 5. The indicators were included in the analysis based on the points emphasized in similar logistics facility location selection studies regarding the suitability of the selected areas in the creation of map layers.

Table 5. Data set for GIS analysis

Attribute	AHP weight	Indicator / suitability		Information regarding geographic data	Data source
Proximity to population density	0,068	High	Suitable	Current population data	TÜİK
		Medium	Moderately suitable		
		Low	Not suitable		
Proximity to logistics centers and shippers	0,058	Close	Suitable	Logistics center location and connection roads to city center	OpenStreetMap (OSM) and Ministry of Environment and Urbanization, General Directorate of Spatial Planning
		Medium	Moderately suitable		
		Far	Not suitable		
Proximity to commercial areas	0,040	0-250 m	Very suitable	Organized industrial zones and free zones	
		250-500 m	Suitable		
		500-750 m	Moderately suitable		
		750-1000 m	Slightly suitable		
		1000+ m	Not suitable		
Proximity to the highway (main axes)	0,119	0-250 m	Very suitable	Highways	
		250-500 m	Suitable		
		500-750 m	Moderately suitable		
		750-1000 m	Slightly suitable		

		1000+ m	Not suitable		
Cycle path infrastructure	0,027	0-250 m	Very suitable	Locations and routes of the bike path	İzmir Metropolitan Municipality Transportation Department
		250-500 m	Suitable		
		500-750 m	Moderately suitable		
		750-1000 m	Slightly suitable		
		1000+ m	Not suitable		
Subway/train infrastructure	0,089	0-250 m	Very suitable	Metro, İzban and Tram station points and routes	
		250-500 m	Suitable		
		500-750 m	Moderately suitable		
		750-1000 m	Slightly suitable		
		1000+ m	Not suitable		
Existing logistics facilities	0,075	0-250 m	Very suitable	The points where the cargo companies' distribution facilities are located	OpenStreetMap (OSM)
		250-500 m	Suitable		
		500-750 m	Moderately suitable		
		750-1000 m	Slightly suitable		
		1000+ m	Not suitable		
Land acquisition cost	0,108	High	Not suitable	Land m² unit prices	Revenue Administration
		Medium	Moderately suitable		
		Low	Suitable		
Road traffic volume	0,106	Low density	Suitable	Traffic density of highways	General Directorate of Highways
		Balanced	Moderately suitable		
		High density	Not suitable		
Traffic accident rate	0,071	High intensity	Not suitable	Traffic accident hotspots with fatalities/injuries within the provincial borders	Police department regional directorate
		Medium intensity	Moderately suitable		
		No accident	Suitable		
Suitability of zoning status	0,026	City	Suitable	Land use purpose	CORINE 2018 Map
		Industrial and Commercial	Suitable		
		Transport	Not suitable		
		Agriculture	Not suitable		
		Planted area	Not suitable		
		Pasture	Not suitable		
		Forest	Not suitable		
		Meadow	Not suitable		
		Bare field	Not suitable		
Water area	Not suitable				
Possibility of facility expansion	0,029	0-250 m	Very suitable	Suitable land size and surroundings	Ministry of Environment and Urbanization, General Directorate of Spatial Planning
		250-500 m	Suitable		
		500-750 m	Moderately suitable		
		750-1000 m	Slightly suitable		
		1000+ m	Not suitable		
Slope	0,074	>%30	Not suitable	Topography	USGS Earth Explorer
		%10 - %30	Moderately suitable		
		<%10	Suitable		
Exposure	0,020	North	Not suitable		
		East-West	Moderately suitable		
		South	Suitable		
Air pollution level	0,048	Good 0-50	Suitable	Air quality level (PM ₁₀ , SO ₂)	Ministry of Environment and
		Medium 50-100	Moderately suitable		

		Sensitive 100-150	Not suitable		Urbanization Air Quality Data Bank
Distance to protected areas	0,043	0-250 m	Not suitable	Cultural and natural conservation areas	Ministry of Environment and Urbanization, General Directorate of Spatial Planning
		250-500 m	Slightly suitable		
		500-750 m	Moderately suitable		
		750-1000 m	Suitable		
		1000+ m	Very suitable		

4.4.3. Preparation of data and creation of map layers

The map layers created for each attribute are shown in Figure 3. The creation of these map layers involved some data preparation processes.

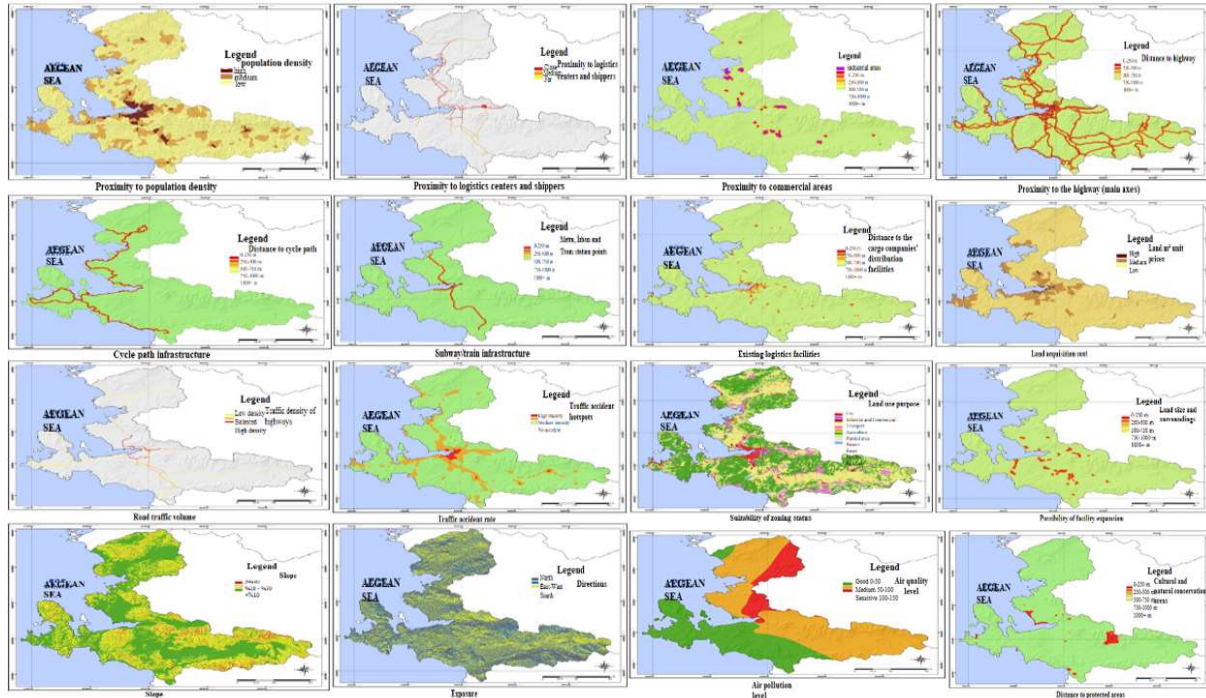


Figure 3. Map layers of each criterion

The GIS-MCDM framework demands that values across different criterion layers be transformed into comparable units to ensure robust analysis. Among various methods, linear scale transformation stands out as the most widely adopted deterministic approach for achieving this comparability (Ozturk and Batuk, 2011). In this study, we strategically implemented the maximum score procedure to standardize all criteria effectively. First, the process of converting all data into vector data format was performed. At this point, the slope, aspect, traffic accident rate, and air pollution level data obtained as raster data were reclassified according to the indicators determined within the scope of the study with the Reclassify function in the ArcGIS Spatial Analysis module and the process of converting the raster data into polygon vector type was performed. Then, the conversion of 16 attributes included within the scope of the study into a single coordinate system was performed. Vector data with different projection systems were included in the projection conversion process in a way that they would be matched with the TUREF/TM27 coordinate system covering the western provinces of Turkey using the Turkish National Reference Frame (TUREF) and Transverse Mercator (TM) projection for the Coordinate Reference System. Then, the vector data that were ready for analysis were examined according to the feature class as point, line, or polygon vector type. At this stage, the buffer zoning in the ArcGIS Spatial Analysis module was applied and the analysis was performed according to the Distance and Density functions. As indicated in Table 5, layers were created for all attributes, classified within themselves, and a value score was assigned according to the most appropriate (10) / not appropriate (0) scale for each class.

4.4.4. Creation of a suitability map for the facility

The weighted overlay analysis method was applied in this analysis stage, which requires raster data. Therefore, all vector data were converted into raster format. We then began evaluating the raster data layers and the scale weights established during the AHP analysis. This process resulted in a suitability map created by multiplying the criterion

maps by their corresponding weights and overlaying them. The GIS analysis ultimately produced a map indicating the most suitable locations for UMCs within the province of İzmir, as shown in Figure 4. A facility located in designated areas that are 'suitable' is anticipated to perform exceptionally well in urban logistics.

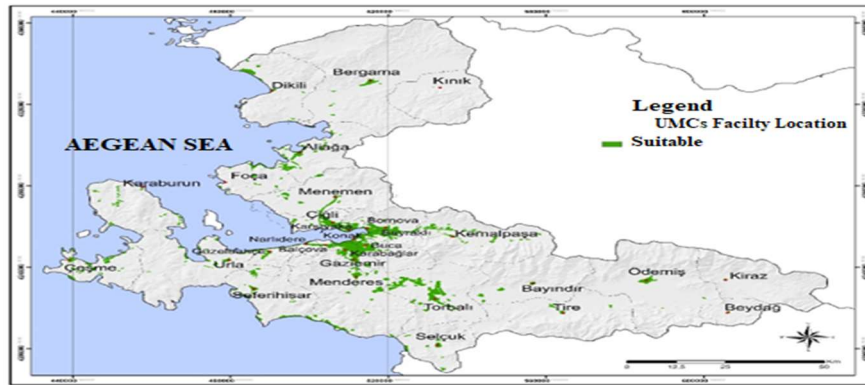


Figure 4. Suitability Map for UMCs within the province of İzmir

4.5. Analysis of the TOPSIS

This section discusses the selection of location indicated by the GIS analysis suitability map for establishing UMC. Based on GIS analysis results, the districts included in the TOPSIS analysis were Çiğli, Karşıyaka, Bayraklı, Bornova, Buca, Konak, Karabağlar, Gazimihal, and Balçova. According to the İzmir Sustainable Urban Logistics Plan (LOPI 2030) published by the İzmir Metropolitan Municipality (2020a), these districts were also identified as problematic and densely populated areas in terms of urban logistics. The study was structured to conduct this analysis as follows effectively:

- The decision matrix is based on 16 criteria evaluated through GIS analysis, with their weights determined by AHP analysis. The rankings of the districts in the study were established by reviewing reports published by the İzmir Chamber of Commerce and the Master Plan Branch Directorate of the İzmir Metropolitan Municipality's Zoning and Urbanization Department (İzmir Metropolitan Municipality, 2020b). The LOPI 2030 report served as the primary source, along with data obtained from digitized geographic information used for the GIS analysis.
- In the criteria used in the decision matrix, district governorships were considered the district centers for distance calculations. Additionally, the study identifies the Kemalpaşa logistics center as the primary logistics center. The criteria evaluated in this study are coded with abbreviations ranging from C1 to C16. These criteria, along with their weights, evaluation focuses, and the objectives of maximizing or minimizing, are listed in Table 6.

Table 6. Review of Criteria for TOPSIS Analysis

Weight	Criteria		Evaluation Focus	Purpose
0,068	C1	Proximity to population density	Population density	Maximum
0,058	C2	Proximity to logistics centers and shippers	Distance from district center to logistics center (km)	Minimum
0,040	C3	Proximity to commercial areas	Distance from district center to organized industrial zone (km)	Minimum
0,119	C4	Proximity to the highway (main axes)	Distance from district center to highway (km)	Minimum
0,027	C5	Cycle path infrastructure	Distance from district center to cycle path infrastructure (km)	Minimum
0,089	C6	Subway/train infrastructure	Distance from district center to rail system infrastructure (km)	Minimum
0,075	C7	Existing logistics facilities	Number of current cargo branches and transfer centers in the district	Maximum
0,108	C8	Land acquisition cost	Average m2/unit prices of land in the district (TL)	Minimum
0,106	C9	Road traffic volume	Annual average number of vehicles entering and exiting the district	Minimum

0,071	C10	Traffic accident rate	Annual average number of traffic accidents in the district	Minimum
0,026	C11	Suitability of zoning status	Total area allocated for housing and industry in the district (%)	Maximum
0,029	C12	Possibility of facility expansion	Empty area allocated for public institution areas in the district (ha)	Maximum
0,074	C13	Slope	Maximum slope rate in the district (%)	Minimum
0,020	C14	Exposure	Annual solar radiation potential of the district (kWh/m ²)	Maximum
0,048	C15	Air pollution level	Average air pollution level of the district (PM ₁₀ , µg/m ³)	Minimum
0,043	C16	Distance to protected areas	Distance from the district center to the area designated as protected area (km)	Maximum

The decision matrix and weighted normalized matrix for selecting the UMC location, with alternative districts listed in the rows and criteria used for ranking in the columns, can be found in Table 6.

Table 6. The decision matrix and weighted normalized matrix for TOPSIS Analysis

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	Çiğli	200.211	34,5	3,5	1,9	0,75	0,5	21	1.110
The decision matrix	Karşıyaka	349.290	32,4	12	4	0,75	0,5	27	2.520
	Bayraklı	312.264	25,5	15	1	0,75	0,5	23	1.970
	Bornova	450.992	19,1	17,5	1,4	3,50	0,5	70	1.770
	Buca	510.695	33,6	4,3	2	10,00	2	29	1.720
	Konak	351.572	28,7	10,7	3,1	0,75	0,5	78	2.480
	Karabağlar	480.925	34	10,3	3,5	6,00	1	24	1.480
	Gaziemir	137.808	41,9	1,6	2	12,00	1	24	1.750
	Balçova	79.681	37,2	14	2	3,00	2	9	1.120
		C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16
	Çiğli	81.994	650	33,84	111,6	5	1550	51,08	8,7
	Karşıyaka	159.098	700	48,59	45	8	1575	39,65	16,1
	Bayraklı	485.048	800	51,68	41,2	10	1575	44,62	14,9
	Bornova	968.057	900	58,05	153,2	15	1575	62,82	9
	Buca	160.141	700	69,77	122,8	20	1600	33,25	12,5
	Konak	833.851	900	89,67	21	10	1600	67,29	18
	Karabağlar	145.080	700	62,5	22,7	20	1600	55,34	21
	Gaziemir	696.736	850	56,33	46,3	25	1600	64,98	27,5
	Balçova	39.047	550	78,89	11	15	1550	38,47	27,3
Weighted normalized matrix		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	Çiğli	0,013	0,021	0,004	0,030	0,001	0,013	0,013	0,022
	Karşıyaka	0,023	0,019	0,014	0,063	0,001	0,013	0,017	0,050
	Bayraklı	0,020	0,015	0,018	0,016	0,001	0,013	0,014	0,039
	Bornova	0,029	0,011	0,021	0,022	0,005	0,013	0,043	0,035
	Buca	0,033	0,020	0,005	0,032	0,015	0,053	0,018	0,034
	Konak	0,023	0,017	0,013	0,049	0,001	0,013	0,048	0,049
	Karabağlar	0,031	0,020	0,012	0,055	0,009	0,027	0,015	0,029
	Gaziemir	0,009	0,025	0,002	0,032	0,019	0,027	0,015	0,034
	Balçova	0,005	0,022	0,017	0,032	0,005	0,053	0,006	0,022
		C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16
	Çiğli	0,006	0,020	0,005	0,013	0,008	0,007	0,016	0,007
	Karşıyaka	0,011	0,022	0,007	0,005	0,013	0,007	0,012	0,013
	Bayraklı	0,033	0,025	0,007	0,005	0,016	0,007	0,014	0,012
	Bornova	0,066	0,028	0,008	0,018	0,024	0,007	0,019	0,007
	Buca	0,011	0,022	0,010	0,015	0,032	0,007	0,010	0,010
	Konak	0,057	0,028	0,012	0,003	0,016	0,007	0,021	0,014
	Karabağlar	0,010	0,022	0,009	0,003	0,032	0,007	0,017	0,016
	Gaziemir	0,047	0,027	0,008	0,006	0,040	0,007	0,020	0,021
	Balçova	0,003	0,017	0,011	0,001	0,024	0,007	0,012	0,021

After obtaining the weighted matrix, the ideal and negative ideal solution values were determined according to the specific goals of each criterion (whether a maximum or minimum value was desired). Subsequently, the distance values to both the ideal and negative ideal points were calculated as shown in Table 7.

Table 7. Ideal and Negative Ideal solution values

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	Ideal distance (S_i^*)	Negative Ideal distance (S_i^-)
Ideal Solution	0,033	0,011	0,002	0,016	0,001	0,013	0,048	0,022	0,047752	0,095111
	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	0,068836	0,079428
	0,003	0,017	0,012	0,018	0,008	0,007	0,010	0,021	0,056862	0,080100
Negative Ideal solution	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	0,072736	0,080067
	0,005	0,025	0,021	0,063	0,019	0,053	0,006	0,050	0,063246	0,076829
	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	0,074861	0,071478
									0,064348	0,074018
	0,066	0,028	0,005	0,001	0,040	0,007	0,021	0,007	0,078394	0,054592
									0,072981	0,081628

Finally, the relative proximity of each decision point to the ideal solution was assessed, resulting in a ranking of the alternatives. The relevant data can be found in Table 8.

Table 8. Ranking alternatives for TOPSIS analysis

Alternatives	Relative closeness to the ideal solution (C_i^*)	Ranking
Çiğli	0,665748	1
Karşıyaka	0,535719	4
Bayraklı	0,584831	2
Bornova	0,523986	7
Buca	0,548484	3
Konak	0,488441	8
Karabağlar	0,534944	5
Gaziemir	0,410509	9
Balçova	0,527965	6

4.6. Sensitivity Analysis

The suitability ranking of İzmir districts for UMC site selection was established using TOPSIS analysis. However, an inaccurate set of criteria weights presents a significant risk, as even a minor deviation can greatly impact the outcome. To ensure the integrity of the results, a sensitivity analysis was conducted. In this context, two scenarios were created where the criteria weights were altered, and their effects on the ranking of alternatives determined by the current criteria were evaluated. Common methods for sensitivity analysis include evaluating criteria with equal weights and adjusting the weights of the criteria with the highest and lowest values (Yavuz and Baki, 2019; Więckowski and Sałabun, 2023). Within this study, these approaches are referred to as scenario 1 (S1) and scenario 2 (S2), respectively. The relevant scenarios, along with current criteria weights (CW), are presented in Table 9.

Table 9. Criteria weights for sensitivity analysis

	CW	S1	S2
C1	0,068	0,063	0,068
C2	0,058	0,063	0,058
C3	0,040	0,063	0,040
C4	0,119	0,063	0,020
C5	0,027	0,063	0,027

C6	0,089	0,063	0,089
C7	0,075	0,063	0,075
C8	0,108	0,063	0,108
C9	0,106	0,063	0,106
C10	0,071	0,063	0,071
C11	0,026	0,063	0,026
C12	0,029	0,063	0,029
C13	0,074	0,063	0,074
C14	0,020	0,063	0,119
C15	0,048	0,063	0,048
C16	0,043	0,063	0,043

Figure 5 shows the change in the ranking of the alternatives as a result of the evaluation made with the TOPSIS method according to two different scenarios.

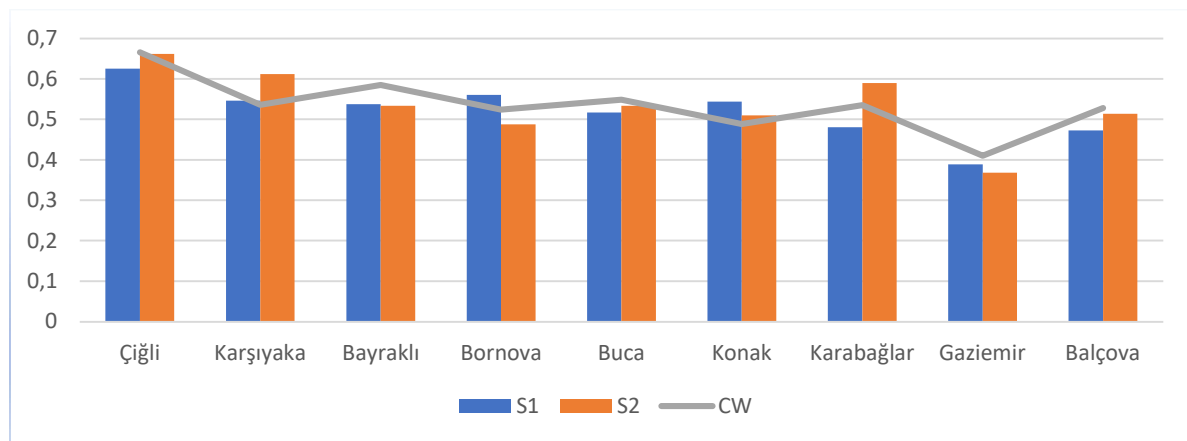


Figure 5. Sensitivity analysis results for TOPSIS analysis

5. Discussion

In the first part of the study, we examined the perspectives that should be considered when selecting a location based on the sustainability dimensions of UMCs. It was found that the most significant perspective, representing a consensus among all expert groups regarding the selection of UMC locations, focused on economic sustainability, which accounted for 58% of the responses. Additionally, accessibility was identified as the most important sub-criterion for the effective operation of the last-mile logistics, receiving a rating of 56%. Obviously, as the most important precondition of operating urban freight transport activities is increasing revenues, poor location decisions can lead to a lack of success in economic and efficiency objectives through transport costs, time flexibility, and agility (Wang et al., 2023). This result parallels similar studies (Rosenberg et al., 2021; Novotná et al., 2022). The accessibility sub-criterion revealed that easy access to highways, particularly major routes, is the most significant factor in selecting a facility location, accounting for 37%. The use of highways for the delivery of cargoes designated for intra-city distribution is a flexible transportation option. Additionally, the facility's ability to receive incoming cargo via highways aligns closely with the emphasis on highway access (Arrieta-Prieto et al., 2021). Considering that the primary purpose of the UMC is to make operationally efficient deliveries to consumer-dense points (Özbekler and Karaman Akgül, 2020), it is seen that proximity to population density is evaluated as the second most important attribute with a rate of 21%. In addition, considering that most of the cargoes, especially within the scope of e-commerce shipments, come from outside the city, proximity to the logistics center and shippers is evaluated as the third most important attribute with a rate of 18%. In this respect, it becomes clear that the proposed facility location should act as a bridge between consumer-dense points and the logistics center, and this supports the results of similar studies (Arrieta-Prieto et al., 2021; Rosenberg et al., 2021; Novotná et al., 2022).

The social sustainability criterion was identified as the second most important factor in UMC location selection, accounting for 23%. Within this framework, traffic density emerged as the most significant sub-criterion, with an importance rating of 46%. Traffic density, particularly the presence of numerous commercial vehicles for distribution purposes, is assessed based on its potential to increase congestion in existing traffic and negatively impact the city's livability. Therefore, it is crucial to position the facility in a location that does not exacerbate this congestion (Wang et al., 2023). Additionally, the density of accident rates around the proposed facility location was found to be the second most important sub-criterion regarding safety, with a relevance rate of 31%. The

compatibility of the site selection with urban planning emerged as the third most significant sub-criterion, accounting for 24%. Various studies have explored these aspects, which have also reported similar trends (Rudolph et al., 2022; Bertolini et al., 2024). Finally, environmental sustainability emerged as the third most important criterion for selecting UMC locations, receiving a rating of 19%. The fact that environmental sustainability has been overshadowed by social and economic dimensions suggests that social responsibility awareness is particularly changed place to focus on economic aspects within logistics activities. As a result, priorities for urban goods movement tend to center more on operational issues (Novotná et al., 2022; Bertolini et al., 2024). The criteria for land topography and environmental awareness were assessed with importance levels of 51% and 49%, respectively. The characteristics of the land where the facility will be established are evaluated based on the ease of cargo operations and the energy efficiency of the facility. Additionally, the potential environmental impacts of the facility's location, such as air pollution and environmental protection, are considered important for social sensitivity (Wang et al., 2023).

In the following section of the study, TOPSIS analysis was conducted on the areas identified as most suitable for establishing a micro-consolidation center facility, based on a result map generated from GIS analysis. The top priority location for the Urban Micro-Consolidation (UMC) facility was determined to be the Çiğli district in İzmir Province. The districts that follow in terms of suitability are Bayraklı and Buca, respectively. After TOPSIS analysis, sensitivity analysis was applied by evaluating criteria with equal weights (S1), adjusting the weights of the criteria with the highest and lowest values (S2), and comparing them with the existing criteria weights (CW). Upon examining the sensitivity analysis, the ranking of the alternatives in S1 and S2 did not show significant differences compared to the selections determined by the TOPSIS results. Çiğli province consistently ranked first in suitability across both scenarios, while the second and third ranks were quite similar to the current situation, with only minimal differences. This indicates that the results of the TOPSIS analysis demonstrate both integrity and robustness. The advantages of selecting Çiğli district can be summarized as follows:

- The district center is located very close to the bicycle path and rail system infrastructure, making it feasible to distribute cargo from the facility to surrounding districts using electric cargo bikes and public transportation, such as the metro.
- The average land prices per square meter within the district are lower than those in neighboring districts. This provides a significant advantage regarding land acquisition costs. Furthermore, the district has vacant areas designated for public institutions, which present substantial opportunities compared to other districts. Given the challenges of finding sufficiently wide areas for micro-consolidation centers in high-density, heavily constructed areas, it can be concluded that Çiğli district has the capacity to serve a considerable part of İzmir, especially with its land suited for large-scale facility structures.
- The central districts of İzmir experience high traffic volumes, while Çiğli district has significantly lower traffic levels. In addition, the number of traffic accidents in Çiğli is lower than in neighboring districts, making it a more attractive location in terms of traffic safety.
- Within the boundaries of Çiğli district lies the İzmir Atatürk Organized Industrial Zone, one of the largest and most modern organized industrial zones in Turkey. This proximity enhances the district's suitability in terms of access to commercial areas.
- The Çiğli district is located 6 km from the Karşıyaka district and approximately 11 km from the Bayraklı district. Due to its proximity to the population, a facility in the Çiğli district can serve residents of both Karşıyaka and Bayraklı, reaching a potential customer base of around 900,000 people. Additionally, the İzmir Main Highway runs through the district, providing convenient transportation to the logistics center without getting caught in city traffic, thus saving time.

When evaluating the current situation in the sector, it is noted that İzmir has a daily cargo distribution need of approximately 10,000. There is particularly high demand for cargo distribution in the districts of Karşıyaka, Konak, Buca, Bornova, and Karabağlar. Additionally, it has been determined that a facility capable of managing the distribution of 1,000 cargoes requires an area of 300 to 400 square meters. To address the distribution problem, it is suggested to establish 500 square meter facilities in district centers where space is limited or to create 3,000 square meter facilities in areas that are relatively further from the consumer. In this context, it is believed that the current cargo density is unevenly distributed across different districts, making operations challenging. Establishing a single facility in İzmir province is unlikely to meet the expected demands in terms of scope. Therefore, there is a pressing need to develop solutions throughout the province by delineating the service area of the planned facilities to better accommodate the daily cargo volume in İzmir. To address this, a broader distribution strategy can be proposed, focusing on the districts of Çiğli, Bayraklı, and Buca, which have been identified as the three most suitable locations for establishing the facility. The proposed strategy includes:

- It is proposed that a UMC be established in Çiğli, primarily serving the districts of Çiğli and Karşıyaka. Çiğli offers suitable land availability and a well-developed transportation infrastructure. Establishing a 3,000 m² micro-consolidation center in this region is expected to significantly alleviate the logistics

challenges faced by İzmir, particularly in light of the anticipated increase in cargo volume in the coming years.

- It is proposed that a second UMC be established in the Bayraklı district to serve both Bayraklı and Bornova districts. The distance between the centers of Bayraklı and Bornova is approximately 6.5 km. In Bornova, areas such as İşikkent and Pınarbaşı suffer from heavy traffic and high air pollution levels. Establishing distribution services from Bayraklı to Bornova may help alleviate the urban logistics challenges faced by the city. Additionally, the Bayraklı district is well-positioned to serve around 765,000 consumers, including those in Bornova, by offering economical and environmentally friendly solutions due to its proximity to bicycle paths, rail system infrastructure, and the İzmir Main Highway. The proposed facility or facilities could range in size from 500 m² to 1,500 m², depending on the actual cargo volume and future needs of the region. Although the availability of vacant land and the potential for facility expansion in terms of land use suitability in Bayraklı district may pose challenges for future demand, repurposing idle buildings, warehouses, or centrally located structures into UMCs can be seen as a key solution to address these issues.
- Finally, it is proposed that the third facility be established in the Buca district. From this location, a comprehensive distribution network will serve not only Buca but also the neighboring districts of Konak, Karabağlar, Gaziemir, and Balçova. Buca is situated 8 km from Konak, 7 km from Karabağlar, 10.5 km from Gaziemir, and 18.5 km from Balçova. The choice of Buca district is influenced by its proximity to these surrounding areas, along with its lower traffic density compared to other districts. Additionally, Buca offers large, vacant land suitable for establishing the facility. It is anticipated that one or two micro-consolidation facilities, each covering 3,000 m², will be built in Buca, from which cargo distribution will be carried out to the surrounding districts.

6. Conclusion and future directions

This study aims to highlight the importance of UMC facilities designed to provide sustainable solutions in response to the growing cargo density in last-mile logistics processes and the critical factors involved in location selection. To achieve this, the study adopts a three-step integrated approach, focusing on selecting an exemplary UMC facility in the İzmir province based on its economic, social, and environmental sustainability. The first step involves determining the location selection criteria using the AHP method, along with prioritizing these criteria based on expert opinions. The second step consists of identifying suitable areas for establishing the facility in İzmir by combining the results of the AHP method with a GIS mapping process. Finally, the third step implements the UMC location selection in İzmir districts using the TOPSIS method and conducting sensitivity analysis.

In the UMC location selection problem, the most important criterion in terms of global importance was found to be economic. Within this criterion, the most significant sub-criterion was accessibility, and the key attribute was proximity to the highway. Additionally, it is crucial that the facility is located near critical access points, such as areas with high consumer density, highways, and shippers. Ensuring that commercial vehicles can easily access the facility via the highway is also important. As part of the same section, the criteria analyzed with AHP were combined with spatial data for GIS analysis. This approach enabled the visualization of areas in İzmir province that are suitable for selecting facility locations. The map layers created for each attribute allowed us to identify the most appropriate sites for establishing UMCs in İzmir through a weighted overlay analysis. The areas identified as suitable on the map were refined based on the LOPI 2030 report (İzmir Metropolitan Municipality, 2020a). Subsequently, a TOPSIS analysis and sensitivity analysis were conducted on the nine remaining districts. The results indicated that the most favorable location for establishing a micro-consolidation center is in the Çiğli district, followed by the Bayraklı and Buca districts.

However, this study has certain limitations. The study focuses on the flow of cargo to end consumers within the business-to-consumer (B2C) market and excludes intra-city cargo flow related to retailers, manufacturers, and other businesses in the business-to-business (B2B) sector. Furthermore, the model's assumptions lacked dynamic modeling, failing to effectively address fluctuations in traffic conditions and their impact on vehicle movement while concentrating only on static elements. Therefore, operational aspects such as daily cargo volume, required vehicle capacity, and route optimization specific to the distribution of goods within the İzmir province are not analyzed with precise measurements in this research. Additionally, the study encountered constraints regarding data availability, especially in determining the sustainable criteria of UMC's location and obtaining related spatial data, as it relied mostly on secondary sources. Lastly, the expert opinions used to determine the weights of the criteria can introduce potential dilemmas and compromise the generalizability of the study results due to the study's nature. To enhance future research, it is recommended that models be developed based on actual cargo volume using up-to-date data. Additionally, detailed optimization-oriented capacity calculation models should be created to determine the number of facilities needed in priority districts for the UMC, as well as their respective sizes in square meters. Also, the integrated model can be expanded and applied to the B2B sector in future research to obtain more effective results.

The practical insights derived from the study results are expected to assist decision-makers in the logistics sector in making effective decisions for the short, medium, and long term. Additionally, these insights will aid the public sector in developing appropriate policies and will provide guidance to all stakeholders in the city who are concerned about the externalities of the logistics sector and their impact on the city's livability, as they seek solutions.

Conflict of interest

No conflict of interest was declared by the authors.

Acknowledgement

This study was derived from the first author's doctoral thesis titled “Kentsel lojistiğin son kilometre dağıtım ağ yapısında mikro tesis yer seçimi ve çok aktörlü yaklaşımla teslimat alternatiflerinin belirlenmesi” prepared in Yıldız Technical University, Department of Business Administration in 2021.

Contributions of Authors

Türkan Müge ÖZBEKLER: Investigation, Conceptualization, Methodology, Writing, Arzu KARAMAN AKGÜL: Supervision, Writing - review and Editing.

References

- Al-Abadi, A. M., Handhal, A. M., Abdulhasan, M. A., Ali, W. L., Hassan, J. J., and Al Aboodi, A. H. (2025). Optimal siting of large photovoltaic solar farms at Basrah governorate, Southern Iraq using hybrid GIS-based Entropy-TOPSIS and AHP-TOPSIS models. *Renewable Energy*, 241, 122308. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.122308>
- Aljohani, K., and Thompson, R. G. (2018). Optimizing the Establishment of a Central City Transshipment Facility to Ameliorate Last-Mile Delivery: a Case Study in Melbourne CBD. *City Logistics 3: Towards Sustainable and Liveable Cities*, 23-46. <https://doi.org/10.1002/9781119425472.ch2>
- Anderluh, A., Hemmelmayer, V. C., and Rüdiger, D. (2020). Analytic hierarchy process for city hub location selection-The Viennese case. *Transportation Research Procedia*, 46, 77-84. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.166>
- Arrieta-Prieto, M., Ismael, A., Rivera-Gonzalez, C., and Mitchell, J. E. (2021). Location of urban micro-consolidation centers to reduce the social cost of last-mile deliveries of cargo: A heuristic approach. *Networks*, 79(3), 292-313. <https://doi.org/10.1002/net.22076>
- Bayliss, C., Bektaş, T., Tjon-Soei-Len, V., and Rohner, R. (2023). Designing a multi-modal and variable-echelon delivery system for last-mile logistics. *European Journal of Operational Research*, 307(2), 645-662. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022.08.041>
- Bertolini, M., De Matteis, G., and Nava, A. (2024). Sustainable Last-Mile Logistics in Economics Studies: A Systematic Literature Review. *Sustainability*, 16(3), 1205. <https://doi.org/10.3390/su16031205>
- Boston Consulting Group (2023). *Winning Formulas for E-Commerce Growth*. Retrieved from: <https://www.bcg.com/publications/2023/winning-formulas-for-e-commerce-growth> (accessed on 10 October 2024).
- Çakmak, E., Önden, İ., Acar, A. Z., and Eldemir, F. (2021). Analyzing the location of city logistics centers in Istanbul by integrating Geographic Information Systems with Binary Particle Swarm Optimization algorithm. *Case Studies on Transport Policy*, 9(1), 59-67. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2020.07.004>
- Capgemini Research Institute (2019). *The Last-Mile Delivery Challenge*. Retrieved from: <https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2019/01/Report-Digital-%E2%80%93-Last-Mile-Delivery-Challenge1.pdf> (accessed on 20 October 2024).
- Çetinkaya, C., Özceylan, E., Erbaş, M., and Kabak, M. (2016). GIS-based fuzzy MCDA approach for siting refugee camp: A case study for southeastern Turkey. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 18, 218-231. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2016.07.004>
- Ersoy, P., and Çetiner, B. (2022). Performance Measurement in Cargo Distribution Center A Case Study. *Journal of Turkish Operations Management*, 6(1), 1056-1064. <https://dergipark.org.tr/en/pub/jtom/issue/70951/1012119> (accessed on 10 October 2024).

- Haktanır, E., and Kahraman, C. (2024). Integrated AHP and TOPSIS methodology using intuitionistic Z-numbers: An application on hydrogen storage technology selection. *Expert Systems with Applications*, 239, 122382. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.122382>
- He, Y., Zhou, F., Qi, M., and Wang, X. (2020). Joint distribution: service paradigm, key technologies and its application in the context of Chinese express industry. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 23(3), 211-227. <https://doi.org/10.1080/13675567.2019.1667314>
- Hwang, C. L., Yoon, K., Hwang, C. L., and Yoon, K. (1981). Methods for multiple attribute decision making. *Multiple attribute decision making: methods and applications a state-of-the-art survey*, 58-191. https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9_3
- International Energy Agency (2021). *Global CO2 Emissions from Transport by Sub-Sector in the Net Zero Scenario 2000–2030*, 270; IEA: Paris, France, 2021; Retrieved from: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-co2-emissions-from-transport-by-sub-sector-in-the-net-zero-scenario-2000-2030> (accessed on 20 October 2024).
- İzmir Governorship (2024). *Türkiye'nin 3. Büyüğü*, Retrieved from: <http://www.izmir.gov.tr/ilcelerimiz> (accessed on 05 December 2024).
- İzmir Metropolitan Municipality (2020a). *İzmir Sustainable Urban Logistics Plan (LOPI 2030)*. Retrieved from: <https://www.izmirlojistikplan.com/lopi-2030> (accessed on 05 December 2024)
- İzmir Metropolitan Municipality (2020b). *Nazım İmar Planı Duyuruları*. Retrieved from: <https://www.izmir.bel.tr/tr/NazimImarPlanlari/131> (accessed on 05 December 2024)
- Katsela, K., Güneş, Ş., Fried, T., Goodchild, A., and Browne, M. (2022). Defining urban freight microhubs: A case study analysis. *Sustainability*, 14(1), 532. <https://doi.org/10.3390/su14010532>
- Kaya, Ö., Tortum, A., Alemdar, K. D., and Çodur, M. Y. (2020). Site selection for EVCS in Istanbul by GIS and multi-criteria decision-making. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 80, 102271. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102271>
- Kedia, A., Kusumastuti, D., and Nicholson, A. (2020). Locating collection and delivery points for goods' last-mile travel: A case study in New Zealand. *Transportation Research Procedia*, 46, 85-92. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.167>
- Kumar, A., and Anbanandam, R. (2019). Location selection of multimodal freight terminal under STEEP sustainability. *Research in Transportation Business and Management*, 33, 100434. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2020.100434>
- Muerza, V., Larrodé, E., Moreno-Jimenez, J. M., and Jiménez, A. (2018). Modelling the problem of parcel distribution in urban environments and analysis of the determining factors. *Transportation research procedia*, 33, 347-354. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.10.112>
- Novotná, M., Švadlenka, L., Jovčić, S., and Simić, V. (2022). Micro-hub location selection for sustainable last-mile delivery. *Plos one*, 17(7), e0270926. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0270926>
- Nyimbili, P. H., Erden, T., and Karaman, H. (2018). Integration of GIS, AHP and TOPSIS for earthquake hazard analysis. *Natural hazards*, 92, 1523-1546. <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3262-7>
- Özbekler, T. M., and Akgül, A. K. (2020). An ex-ante assessment of city distribution alternatives based on multi actor multi criteria framework. *Business and Management Studies: An International Journal*, 8(5), 4241-4272. <https://doi.org/10.15295/bmij.v8i5.1650>
- Özkan, B., Özceylan, E., Korkmaz, I. B. H., and Cetinkaya, C. (2019). A GIS-based DANP-VIKOR approach to evaluate RandD performance of Turkish cities. *Kybernetes*, 48(10), 2266-2306. <https://doi.org/10.1108/K-09-2018-0456>
- Ozturk, D., and Batuk, F. (2011). Implementation of GIS-based multicriteria decision analysis with VB in ArcGIS. *International Journal of Information Technology and Decision Making*, 10(06), 1023-1042. <https://doi.org/10.1142/S0219622011004695>
- Pun, K. F., and Hui, I. K. (2001). An analytical hierarchy process assessment of the ISO 14001 environmental management system. *Integrated Manufacturing Systems*, 12(5), 333-345. <https://doi.org/10.1108/EUM0000000005711>

- Ramya, S., and Devadas, V. (2019). Integration of GIS, AHP and TOPSIS in evaluating suitable locations for industrial development: A case of Tehri Garhwal district, Uttarakhand, India. *Journal of cleaner production*, 238, 117872. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117872>
- Rao, C., Goh, M., Zhao, Y., and Zheng, J. (2015). Location selection of city logistics centers under sustainability. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 36, 29-44. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.02.008>
- Rosenberg, L. N., Balouka, N., Herer, Y. T., Dani, E., Gasparin, P., Dobers, K., ... and van Uden, S. (2021). Introducing the shared micro-depot network for last-mile logistics. *Sustainability*, 13(4), 2067. <https://doi.org/10.3390/su13042067>
- Rudolph, C., Nsamzinshuti, A., Bonsu, S., Ndiaye, A. B., and Rigo, N. (2022). Localization of Relevant Urban Micro-Consolidation Centers for Last-Mile Cargo Bike Delivery Based on Real Demand Data and City Characteristics. *Transportation Research Record*, 2676(1), 365-375. <https://doi.org/10.1177/03611981211036351>
- Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. *Mathematical modelling*, 9(3-5), 161-176. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)
- Saaty, T. L., and Özdemir, M. S. (2014). How many judges should there be in a group?. *Annals of Data Science*, 1, 359-368. <https://doi.org/10.1007/s40745-014-0026-4>
- Saaty, T. L., *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, USA, 1980. Retrieved from: https://books.google.com.tr/books/about/The_Analytic_Hierarchy_Process.html?id=Xxi7AAAAIAAJ&redir_esc=y (accessed on 10 October 2024).
- Saaty, T.L. (1988) What Is the Analytic Hierarchy Process? In: Mitra, G., et al., Eds., *Mathematical Models for Decision Support*, Springer, Berlin, 109-121. https://doi.org/10.1007/978-3-642-83555-1_5
- Sawik, B. (2024). Optimizing Last-Mile Delivery: A Multi-Criteria Approach with Automated Smart Lockers, Capillary Distribution and Crowdshipping. *Logistics*, 8(2), 52. <https://doi.org/10.3390/su16031205>
- TÜİK (2024). *İzmir İli Nüfusu*. Retrieved from: <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=nufus-ve-demografi-109anddil=1> (accessed on 05 December 2024).
- Urban Freight Lab (2020). *Common MicroHub Research Project: Research Scan*. Retrieved from: <https://www.urbanfreightlab.com/wp-content/uploads/2023/04/SCTL-Microhub-Research-Scan.pdf> (accessed on 10 October 2024).
- Wang, Y., Li, Y., and Lu, C. (2023). Evaluating the effects of logistics center location: An analytical framework for sustainable urban logistics. *Sustainability*, 15(4), 3091. <https://doi.org/10.3390/su15043091>
- Więckowski, J., and Sałabun, W. (2023). Sensitivity analysis approaches in multi-criteria decision analysis: A systematic review. *Applied Soft Computing*, 148, 110915. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2023.110915>
- World Economic Forum (2020). *The Future of the Last-Mile Ecosystem*. Retrieved from: <https://www.weforum.org/publications/the-future-of-the-last-mile-ecosystem/> (accessed on 05 November 2024).
- Yavuz, N., and Baki, B. (2019). Patent değerlerinin çok kriterli karar verme yöntemleri ile sıralanması: Otomotiv sektöründe bir uygulama. *Karadeniz Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Bilimler Dergisi*, 9(17), 27-52.
- Zolekar, R.B. and Bhagat, V.S. (2015). Multi-criteria land suitability analysis for agriculture in hilly zone: remote sensing and GIS approach. *Comput. Electron. Agric.* 118, 300e321. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.09.016>



Journal of Turkish Operations Management

Uzaktan çalışma sürecinde bilgi teknolojisi çalışanlarının iş yükü değerlendirmesine yönelik NASA-TLX yöntemi uygulaması: savunma sanayii örneği

Soner KIRICI^{1*}, İbrahim YILMAZ²

¹ Department of Industrial Engineering, Ankara Yıldırım Beyazıt University, Ankara, Turkey
e-mail: sonerkirici@gmail.com ORCID No: <https://orcid.org/0009-0008-0192-7955>

² Department of Industrial Engineering, Ankara Yıldırım Beyazıt University, Ankara, Turkey
e-mail: i.yilmaz@aybu.edu.tr ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-5959-7353>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 19.04.2024
Revize: 03.01.2025
Kabul: 27.01.2025

Anahtar Kelimeler:

Savunma sanayii,
Uzaktan çalışma,
Zihinsel iş yükü,
NASA-TLX.

Özet

COVID-19 pandemisiyle başlayan ve yaygınlaşan uzaktan çalışma, iş yükü üzerindeki etkileri nedeniyle önemli bir konu haline gelmiştir. Bu çalışmada, bilgi teknolojisi (BT) profesyonellerinin zihinsel iş yükünün uzaktan ve yerinde çalışma koşullarında nasıl değiştiği incelenmektedir. NASA-TLX (Görev Yük Endeksi) anketi kullanarak toplanan veriler, her iki çalışma ortamının iş yükü üzerindeki etkisini değerlendirmektedir. Makale, Savunma Sanayii sektöründe faaliyet gösteren bir teknoloji firmasında uzaktan ve yerinde çalışan BT profesyonellerinin iş yükünün NASA TLX yöntemiyle değerlendirilmesini konu almaktadır. Edinilen sonuçlara göre, iki grubun iş yükü farklılık göstermektedir. Anket 102 katılımcıya uygulanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yerinde çalışanlar için zihinsel iş yükü daha yüksektir, uzaktan çalışanlar için ise fiziksel iş yükü daha düşüktür. Sonuçlara göre yerinde çalışanlar daha fazla çaba harcamakta ve daha fazla stres yaşamaktadırlar. Bulguların, çalışma koşulları ve iş yükü yönetiminin daha etkili hale getirilmesine ve mevcut düzenlemelerin gözden geçirilmesine

Application of the nasa-tlx method for workload assessment of information technology employees in the remote working process: a case of defense industry

Article Info

Article History:

Received: 19.04.2024
Revised: 03.01.2025
Accepted: 27.01.2025

Keywords:

Defense Industry,
Remote Work,
Mental Workload,
NASA-TLX.

Abstract

Remote work, initiated and widespread by the COVID-19 pandemic, has become a significant issue due to its impact on workload. The study examines how the cognitive workload of information technology (IT) professionals changes under remote and on-site work conditions. Data collected using the NASA-TLX (Task Load Index) survey is used to evaluate the impact of both work environments on workload. The article focuses on the assessment of the workload of remote and on-site IT professionals working for a technology company in the defense industry, using the NASA TLX method. The results show that the workload of remote workers differs from that of on-site workers. The survey was administered to 102 participants, and the results were compared. On-site workers have a higher mental workload, while remote workers have a lower physical workload. On-site workers exert more effort and experience more stress. It is evaluated that these findings can guide the more effective management of working conditions and workload, and lead to a review of existing regulations.

1.Giriş

COVID-19 salgını sırasında popülerlik kazanan uzaktan çalışma, çeşitli sektörlerde yaygın olarak kullanılması nedeniyle önem kazanmıştır. Uzaktan çalışma, pandeminin de etkisiyle son yıllarda yaygınlaşan bir çalışma yöntemi olmuştur. Uzaktan çalışmanın birçok avantajı olduğu gibi bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Uzaktan çalışmanın avantajları arasında; çalışanlar için daha fazla esneklik, daha düşük maliyetler ve daha iyi iş-yaşam dengesinin sağlanması yer almaktadır. Dezavantajlar arasında ise; iş yükünün artması, sosyal izolasyon ve iletişim sorunlarının yaşanması yer almaktadır.

Uzaktan çalışma tekniklerinin giderek yaygınlaşması nedeniyle uzaktan ve yerinde çalışmanın iş yükü üzerindeki etkilerini değerlendirmek kritik önem taşımaktadır. Uzaktan çalışma, çalışanların esnek bir çalışma saatine sahip olmalarını ve işlerini evden veya başka bir yerden yapabilmelerini sağladığı için işverenler tarafından tercih edilmektedir. Bununla birlikte, uzaktan çalışmanın sosyal bağlantı eksikliği ve iş-yaşam dengesinde zorluklar gibi bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bu nedenle, uzaktan ve yerinde çalışmanın iş yükü üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi, şirketlerin verimliliklerini artırmak ve çalışan memnuniyetini sağlamak açısından önem arz etmektedir. İş yükü, çalışanların iş performansını etkileyen önemli bir faktördür. Yüksek iş yükü, çalışanların stres, yorgunluk ve motivasyon kaybı gibi olumsuz durumlarla karşılaşmasına neden olabilir. Uzaktan çalışmanın iş yükünü artırmasının nedenleri arasında; çalışanların iş-yaşam dengesini korumakta zorlanması, iletişim ve iş birliğinin zorlaşması ve çalışanların iş yerinden uzakta olması nedeniyle kendilerini yalnız hissetmeleri sayılabilir.

Bu çalışmada, Bilgi Teknolojileri çalışanlarının hem uzaktan hem de yerinde çalışma yöntemine göre NASA TLX metodu vasıtasıyla iş yükleri hesaplanarak karşılaştırma yapılmıştır. Bu kapsamda bilgi teknolojisi profesyonellerinin zihinsel iş yükünün uzaktan ve yerinde çalışma koşullarında nasıl değiştiği incelenmiştir. NASA-TLX (Görev Yük Endeksi) anketi kullanılarak toplanan iş yükü verileri, bu iki çalışma ortamının iş yükü üzerindeki etkisini değerlendirmektedir. Bu makale, Savunma Sanayii sektöründe faaliyet gösteren bir teknoloji firmasında, uzaktan ve yerinde çalışan Bilgi Teknolojisi profesyonellerinin iş yükünün gerçek veriler ile NASA TLX yöntemi kullanılarak değerlendirilmesini konu almaktadır. Ayrıca, çalışmanın sonuçları, uzaktan çalışmanın iş yükü üzerindeki etkisini anlamak ve bu bilgileri kullanarak daha iyi çalışma koşulları sağlamak için yöneticilere rehberlik etmek amacıyla analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, uzaktan çalışanların iş yükünün yerinde çalışanlara göre farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bu farklılıkların bazıları; uzaktan çalışanların daha fazla zaman yönetimi becerisine sahip olmaları ve daha az işyeri stresine maruz kalmalarıyla ilişkilendirilmiştir. Ayrıca, pozisyonlarına bağlı olarak uzaktan çalışanların genellikle daha yüksek bir iş yüküne sahip oldukları bulunmuştur. Bu bulgular, yöneticilerin uzaktan çalışma politikalarını ve çalışma koşullarını iyileştirmek için çeşitli önlemler almasının önemini vurgulamaktadır. Örneğin; yöneticiler, uzaktan çalışanlara zaman yönetimi becerilerini geliştirmeleri için eğitimler sağlayabilir veya iş yükünü dengelemek için daha fazla destek sunabilirler. Ayrıca, çalışma koşullarını iyileştirmek için esnek çalışma saatleri veya ergonomik ekipman temini gibi önlemler alınabilir. Bu şekilde, uzaktan çalışanların verimliliği artırılırken iş stresinin azaltılabileceği değerlendirilmektedir.

Günümüzde teknolojik gelişmelerle birlikte uzaktan çalışma, özellikle Bilgi Teknolojisi alanında giderek yaygınlaşmaktadır. Bilgi ve iletişim teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte uzaktan çalışma daha yaygın hale gelmektedir. Uzaktan çalışma; çalışanların iş yerinden uzakta, evlerinde veya başka bir yerde çalışmalarını ifade etmektedir. Bu çalışma, uzaktan çalışanların iş yükünü değerlendirmek amacıyla NASA TLX yöntemini kullanmaktadır. NASA-TLX yöntemi, Zihinsel, Fiziksel, Zamansal, Performans, Çaba ve Rahatsızlık Seviyesi olmak üzere altı temel boyutta iş yükünü değerlendiren bir ölçüm aracıdır. Bu ölçüm aracı, uzaktan çalışanların iş yükünü objektif bir şekilde değerlendirmelerine yardımcı olabilir. Bu sayede yöneticiler, çalışanların iş yükünü daha iyi anlayabilir ve gerektiğinde destek sağlayabilirler. NASA-TLX anketi her iki grupta 102 katılımcıya uygulanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Katılımcılar, altı temel boyuta puanlar atayarak iş yüklerini değerlendirmişlerdir. Yerinde çalışanlar için genel iş yükü değerlendirmesi ağırlıklı puanlarla 64,01 ve ham puanlarla 68,33 olarak belirlenmiştir. Uzaktan çalışanlar için genel iş yükü değerlendirmesi ise ağırlıklı puanlarla 63,29 ve ham puanlarla 42,08 olarak bulunmuştur. Anket sonuçları, yerinde ve uzaktan çalışan bilgi teknolojisi profesyonelleri arasındaki iş yükü farklılıklarını vurgulamaktadır.

Yerinde çalışanlar için zihinsel iş yükü daha yüksek, uzaktan çalışanlar için ise fiziksel iş yükü daha düşüktür. Yerinde çalışanlar daha fazla çaba harcamakta ve daha fazla stres yaşamaktadır. Bu bilgiler, çalışma koşulları ve iş yükü yönetiminin daha iyi bir şekilde sağlanmasına rehberlik edebilir ve mevcut çalışma uygulamalarının ve düzenlemelerinin yeniden gözden geçirilmesine yol açabilir. Anket sonuçları, iş yükü farklılıklarının çalışma koşulları ve iş yükü yönetimi üzerinde etkili olabileceğini göstermektedir. Bu nedenle, şirketlerin yerinde ve uzaktan çalışanlar

arasında adil bir iş yükü dağılımı sağlamak için politika ve düzenlemelerini gözden geçirmeleri önemlidir. Ayrıca, çalışanların zihinsel ve fiziksel sağlığını korumak için uygun destek ve kaynaklar sunulmalıdır. Bu sonuçlar, iki grup arasındaki iş yükü değerlendirmelerindeki farklılıkları göstererek uzaktan çalışma koşulları ve iş yükü yönetiminin daha iyi anlaşılmasına ve iyileştirilmesine katkıda bulunmaktadır. Ayrıca, uzaktan çalışanlar genellikle daha fazla özgürlük ve esneklikle çalışma imkânına sahiptir. Bu da onların işlerini daha verimli bir şekilde yapmalarını sağlayabilir. Ancak uzaktan çalışmanın getirdiği bu avantajlar bazen iş yükünün kontrolsüz bir şekilde artmasına neden olabilir. Bu durumda, iş yükü yönetimi stratejileri ve politikalarının gözden geçirilmesi önemli olabilir.

Makalenin devamında ikinci bölümde, uzaktan çalışanların zihinsel iş yüküne ve NASA-TLX yöntemine ait literatür taraması ardından üçüncü bölümde problem çözümünde kullandığımız yöntemlerin açıklamaları yer almaktadır. Dördüncü bölümde vaka çalışması ve uygulama adımları verilmiştir. Problemin sayısal sonuçları ve karşılaştırma analizleri beşinci bölümde belirtilmiştir. Son olarak altıncı bölümde araştırmaya ait sonuçlar ve gelecekteki çalışmalar sunulmaktadır.

2.Literatür Taraması:

Yapılan çalışmalar, uzaktan çalışmanın olumlu ve olumsuz yönlerini, iş yüküne etkilerini, sektöre göre uygulamalarını ve diğer bazı hususları göstermektedir. Uzaktan çalışmanın çalışan motivasyonu ve memnuniyeti üzerindeki etkisinin olumlu olduğunu gösteren araştırmalar bulunmaktadır. Zhang ve Wang, çalışmalarında uzaktan çalışmanın çalışan motivasyonunu ve memnuniyetini genel olarak artırdığını ifade etmişlerdir. Uzaktan çalışanlar, kendi çalışma saatlerini ve ortamlarını kontrol edebildikleri için daha fazla özerklik ve esnekliğe sahip olurlar. Bu da onları daha motive ve işe daha bağlı hale getirebilir (Zhang ve Wang, 2021). 41 farklı akademik çalışmanın analiz edilmesi sonucunda, uzaktan çalışmanın çalışan verimliliği üzerinde ortalama %13'lük bir artış sağlayabileceği görülmüştür (Bloom vd., 2019). Ayrıca, uzaktan çalışmanın iş-yaşam dengesi üzerindeki etkisinin de olumlu olduğu anlaşılmaktadır. Örneğin; bir çalışanın işe gidip gelmesi için her gün iki saat harcadığı varsayıldığında, uzaktan çalışmaya geçişle bu iki saatlik zaman tasarrufu; çalışanın aile ve arkadaşlarıyla vakit geçirmesine, hobilerine ayırmasına veya dinlenmesine olanak tanır. Bu nedenle, uzaktan çalışmanın genel olarak iş-yaşam dengesini iyileştirdiği görülmektedir (Gajendran ve Harrison, 2020). Bir başka çalışmada ise uzaktan çalışmanın belirli koşullar altında çalışanların yaratıcılığını artırabileceği ifade edilmiştir. Örneğin; uzaktan çalışanlar, dikkat dağınıcılığı unsurlardan uzak ve sessiz bir ortamda daha odaklı çalışırlarsa daha yaratıcı ve daha verimli olabilirler (Amabile vd., 2020; Zhang ve Wang, 2023). Uzaktan çalışmanın bir başka olumlu etkisi olarak, çalışan tutumları ve iş sonuçları üzerinde olumlu bir etkiye sahip olabileceği görülmüştür. Uzaktan çalışanlar, daha fazla iş tatmini, özerklik ve esneklik algılayabilirler (Bailey ve Kurland, 2002).

Tüm bu olumlu yanlarının dışında, uzaktan çalışmanın olumsuz yönleriyle ilgili de çalışmalar bulunmaktadır. Hem çalışan açısından hem de yöneticiler açısından bakıldığında, birçok olumsuz unsurun yer aldığı söylenebilir. Yöneticiler, uzaktan çalışanları motive etmek, denetlemek ve performanslarını değerlendirmek konusunda zorluk yaşayabilirler. Bu nedenle, uzaktan çalışmanın yöneticiler üzerinde bazı zorluklar yaratabileceği belirtilmiştir (Smith vd., 2023). Çalışan açısından ise, uzaktan çalışmanın sosyal izolasyona ve yalnızlık duygusuna yol açabileceği ifade edilmiştir. Uzaktan çalışanlar, iş arkadaşlarıyla ve diğer insanlarla yüz yüze etkileşim kurma imkânı olmadığı için sosyalleşme ve bağlantı kurma konusunda zorluk yaşayabilirler (Kacmar ve Moss, 2010; Valcour ve Hunter, 2016). Bunun yanında, uzaktan çalışmanın iletişim kurma ve bilgi paylaşımı konusunda bazı zorluklara yol açabileceği söz konusudur. Örneğin; yüz yüze iletişim eksikliği, yanlış anlamalara ve gecikmelere neden olabilir (Allen ve Golden, 2014).

Son yıllarda, dünya genelinde yaşanan COVID-19 pandemisi ile birlikte uzaktan çalışma modeline geçiş hızlanmış, bu durum savunma sanayii dâhil birçok sektörde köklü değişikliklere yol açmıştır. Savunma sanayii, yüksek teknolojiye dayalı ürünlerin geliştirilmesi ve kritik bilgilerin korunması açısından son derece hassas bir alandır. Johnson ve Smith (2022), uzaktan çalışmanın savunma projelerinde yürütülen inovasyon süreçlerini olumlu yönde etkileyebileceğini, ancak bunun aynı zamanda siber güvenlik tehditlerine karşı daha savunmasız hale getirebileceğini ifade etmektedir. Siber güvenlik, uzaktan çalışmanın getirdiği en büyük zorluklardan biridir. Miller (2023), modern siber saldırı tekniklerinin son yıllarda, uzaktan çalışma ortamlarında daha etkili olabileceğine dikkat çekmektedir. Uzaktan çalışanların, şirket içi veri ve sistemlere erişim sağlarken, bilinçsizce güvenlik açıkları yaratabileceklerini belirtirken, bu nedenle sürekli bir siber güvenlik eğitimi ve farkındalığı oluşturulmasının önemini vurgulamaktadır. Ayrıca, Kaya (2022), uzaktan çalışma dönemi için geliştirilmesi gereken stratejilerin, özellikle siber güvenlik standartlarına entegrasyonunu ele almaktadır. Yazar, savunma sanayiinin dijital dönüşüm süreçlerinde, yerel ve

uluslararası standartların dikkate alınması gerektiğini ve bu çerçevede doğru politikaların belirlenmesinin önemini ortaya koymaktadır. Özellikle, kritik projeler üzerinde çalışan mühendislerin ve teknik ekibin, siber güvenlik konusunda daha fazla sorumluluk alması gerektiği belirtilmektedir.

Uzaktan çalışma olanaklarının savunma sanayiine entegrasyonu, bazı ülkelerde belirli düzenlemelerle desteklenmektedir. Örneğin; ABD Savunma Bakanlığı, "Cybersecurity Maturity Model Certification" (CMMC) gibi standartlarla, uzaktan çalışma ile ilgili güvenlik gereksinimlerini belirleyerek, şirketlerin siber güvenlik konusunda üst düzey önlemler almasını teşvik etmektedir (Miller, 2023). Bu tür önlemler, uzaktan çalışma ortamlarında veri güvenliğini sağlamak amacıyla gereklidir ve çalışanların siber tehditlere karşı daha dikkatli olmalarını gerektirmektedir. Avrupa Birliği, savunma sanayiinde uzaktan çalışma uygulamalarını desteklemek için çeşitli projeler ve fonlama mekanizmaları geliştirmiştir. Karlsen (2023), Avrupa'nın savunma sanayiinde dijital dönüşüm stratejileri ile uzaktan çalışma uygulamalarının yaygınlaştırılmasını hedeflediğini ifade etmektedir. Bu bağlamda Avrupa Komisyonu, savunma endüstrisi için dijitalleşme ve siber güvenlik konularında çeşitli rehberlik ve destek sağlamaktadır. Bununla birlikte uzaktan çalışma savunma sanayiinde bazı güvenlik endişelerini de beraberinde getirmektedir. Thompson (2022), uzaktan çalışan mühendislerin kritik proje verilerine erişim sağlarken, güvenlik protokollerine sağlıklı bir şekilde uymalarının zorlaşabileceğini vurgulamaktadır. Bu nedenle savunma şirketlerinin çalışanlarına siber güvenlik farkındalığı oluşturacak sürekli eğitim programları sunması büyük önem taşımaktadır.

Uzaktan çalışma, tüm dünyada giderek daha popüler hale gelmektedir ve bu çalışma modelinin zihinsel iş yükü üzerindeki etkileri araştırmacılar tarafından da incelenmektedir. Global Workplace Analytics (2023) tarafından yapılan araştırmaya göre, dünya genelinde uzaktan çalışanların sayısı 2022 yılında 226 milyona ulaşmıştır. Araştırma, uzaktan çalışmanın 2025 yılına kadar 395 milyona ulaşacağını tahmin etmektedir. Benzer şekilde, başka bir araştırma kurumu olan Gartner (2023) tarafından yapılan araştırmaya göre; dünya genelinde uzaktan çalışanların oranı 2022 yılında %28'e ulaşmış olduğu ve uzaktan çalışmanın 2025 yılına kadar %36'ya ulaşacağını tahmin edildiği belirtilmektedir. Uzaktan çalışma ile birlikte esnek çalışma koşullarının avantajı, çalışanlara daha esnek çalışma saatleri sunulması ve iş-özel yaşam dengesinin iyileştirilmesi nedeniyle zihinsel iş yükünün azaltılabileceği öne sürülmektedir (Özkan ve Solmaz, 2020). Yine, uygun bir teknolojik altyapı ile çalışanların zihinsel iş yükü azaltılabilir ve iş verimliliği artırılabilir (Yıldırım ve Aydın, 2019). Uzaktan çalışmanın zihinsel iş yükü üzerindeki zorlukları açısından bakıldığında ise; iletişim engellerine neden olabileceği ve bu durumun zihinsel iş yükünü artırabileceği (Turan, 2018), uzaktan çalışmanın işyerindeki sosyal etkileşimden uzaklaştrabileceği ve bu durumun yalnızlık hissine ve motivasyon sorunlarına yol açabileceği öne sürülmektedir (Yılmaz ve Bilgin, 2017).

Zihinsel iş yükü, bir çalışanın belirli bir görevi yerine getirirken gerekli olan zihinsel çabasıdır ve performansı etkileyebilir. Zihinsel iş yükünü doğru bir şekilde ölçmek, çalışma ortamlarını iyileştirmek ve iş performansını artırmak için önemlidir. Zihinsel iş yükünü ölçmek için kullanılan farklı yöntemler ve her yöntemin avantajları ile dezavantajları bulunmaktadır. Zihinsel iş yükünü ölçmenin en eski yöntemlerinden biri olan Görev Performansı Gözlemleri, çalışanın belirli bir görevi tamamlarken sergilediği performansı gözlemlemektir. Bu yöntem, çalışanın işle ilgili zihinsel çabasını dolaylı olarak değerlendirir ve genellikle gerçek zamanlı değerlendirme ile birlikte kullanılır (Yıldız, 2018). Bir başka yöntem olan Öznel Değerlendirme Ölçeğinde ise, çalışanların kendi zihinsel iş yüklerini değerlendirmeleri istenir. Bu genellikle anket formları ve ölçekler aracılığıyla yapılır. Öznel değerlendirme, çalışanların kendi deneyimlerine dayanarak zihinsel iş yüklerini belirlemelerine izin verir, ancak objektif olmayabilir (Hancock ve Warm, 2003). Göz Hareketleri ve Fizyolojik Ölçümler yöntemlerinde ise, çalışanın göz hareketleri veya fizyolojik tepkileri (örneğin; kalp atış hızı, deri iletkenliği) ölçülerek zihinsel iş yükü tahmin edilir. Bu yöntemler, çalışanın bilinçaltı zihinsel çabalarını belirlemeye yardımcı olabilir, ancak teknik ve veri işleme zorlukları vardır (Wilson ve Eggemeier, 2006). Bunların dışında, Görev Performansı Hata Oranları, Alt Görevlerin Sayısı ve Karmaşıklık, Öznel Değerlendirme Anketleri gibi birçok yöntem bulunmaktadır. Bunlar arasında en yaygın kullanılan yöntemlerden biri olan NASA-TLX, diğer zihinsel iş yükü ölçüm araçlarına göre kullanıcı tarafından daha kolay ve tercih edilebilir bir yöntem olarak ön plana çıkmaktadır (Akça vd., 2020). Çalışmamızda da bu yöntem kullanılmıştır. Zihinsel iş yükünün doğru bir şekilde ölçülmesi, çalışanların performanslarını iyileştirmek ve işyerinde verimliliği artırmak için önemlidir. Farklı zihinsel iş yükü ölçüm metodlarının avantajlarını ve dezavantajlarını dikkate alarak uygun bir ölçüm stratejisi seçilmelidir.

Zihinsel iş yükü yönetimi farklı sektörlerde, özellikle savunma sektöründe kritik bir öneme sahiptir. Bu çalışmadaki uygulama, savunma sektöründe gerçekleştirilmiştir. Savunma sektörü, yüksek stres altında çalışma, hızlı karar alma ve karmaşık görevlerin yerine getirilmesi gibi özelliklere sahip olduğundan; zihinsel iş yükü bu ortamlarda çalışanın performansını ve sağlığını doğrudan etkileyebilir. Örneğin; pilotlar ve askeri personel, yoğun bir şekilde eğitilmiş olmalarına rağmen, görev sırasında yoğun bir zihinsel iş yükü altında olabilirler (Wickens vd., 2013). Sağlık

sektöründe, özellikle acil durumlarda, sağlık uzmanları yoğun bir zihinsel iş yükü altında çalışabilirler. Acil servis doktorları, cerrahlar ve hemşireler; hızlı kararlar almak, kritik durumları yönetmek ve çoklu görevleri yerine getirmek zorundadırlar. Bu durum, zihinsel iş yükünü artırabilir ve hata riskini yükseltebilir (Gurses vd., 2018). Finans sektöründe, yatırım uzmanları ve finansal analistler de yoğun bir zihinsel iş yükü altında çalışabilirler. Sürekli olarak değişen piyasa koşullarını değerlendirmek, karmaşık finansal modelleri analiz etmek ve hızlı kararlar almak, bu profesyoneller için tipik zihinsel iş yükü gerektiren görevlerdir (Pfeffer ve Sutton, 2018). Teknoloji sektöründe, yazılım geliştiricileri, veri bilimcileri ve mühendisler; karmaşık problemleri çözmek ve yenilikçi çözümler üretmek için sürekli olarak zihinsel çaba harcarlar. Yazılım geliştirme sürecindeki yoğun rekabet ve sürekli değişen teknolojik ortam, zihinsel iş yükünü artırabilir (Baroni vd., 2020).

Uzaktan çalışma, günümüzde iş dünyasında giderek daha yaygın hale gelmektedir. Bu çalışma modeli, savunma sanayii gibi endüstrilerde de önemli bir rol oynamaktadır. Ancak, uzaktan çalışmanın savunma sanayii bilişim teknolojilerine uygulanması, özellikle Türkiye’de savunma sektörü uyum şartlarından dolayı çok yaygın değildir. Uzaktan çalışma, savunma sanayii çalışanlarına işlerini daha esnek bir şekilde düzenleme ve kontrol etme fırsatı sunar. Bu, çalışanların işlerini daha verimli bir şekilde yönetmelerine ve zihinsel iş yükünü azaltmalarına olanak tanır (Golden vd., 2020). Bir araştırma şirketi olan McKinsey & Company (2023) tarafından yapılan araştırmaya göre, uzaktan çalışmanın iş gücü verimliliğini %20-25 oranında artırabileceği tahmin edilmektedir. Ayrıca, başka bir araştırma şirketi olan Harvard Business Review (2023) tarafından yapılan araştırmaya göre, uzaktan çalışanlar, ofiste çalışanlara göre daha az stresli ve daha mutlu olduklarını bildirmektedir.

Türkiye, savunma sanayii alanında özellikle son yıllarda önemli yatırımlar yaparken, uzaktan çalışma uygulamalarının entegrasyonu konusundaki zorluklarla da yüzleşmektedir. Çetin (2023), Türkiye’nin milli savunma projeleri kapsamında uzaktan çalışma uygulamalarının mevcut yapıya entegre edilmesinin, birlikte çalışabilirlik ve veri güvenliği açısından ciddi sorunlar doğurduğunu vurgulamaktadır. Türkiye’de savunma sanayiinde uzaktan çalışma, savunma sanayii uyum yönergesinden dolayı uygulanmamaktadır. Ancak hem çalışanların tercihleri hem de rekabet şartlarından dolayı COVID-19’dan sonra söz konusu uyum yönergesinde değişikliğe gidilmiş ve gerekli altyapı çalışmalarından sonra uzaktan çalışmanın mümkün olabileceği belirtilmiştir. Özellikle pandemi sonrası uzaktan çalışma modelinin tüm dünyada yaygınlaşması neticesinde ülkeler, coğrafyalar arasında sınırlar kalkmış ve firmalar çok daha kolay ve ekonomik iş gücü ihtiyaçlarını farklı ülkelerden ya da ülke içinde farklı şehirlerden temin ederek daha rekabetçi bir fırsat yakalamıştır. Benzer şekilde, çalışanlar için de yurtiçi ya da yurtdışında çok daha tercih edilebilir cazip iş fırsatlarının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu durum Türkiye’de savunma sanayiini olumsuz etkilemiş ve pandemi süreci ve sonrasında kısa sürede çok sayıda nitelikli iş gücü kaybı yaşanmıştır. Özellikle kritik savunma projelerinde ciddi gecikmelere ve maliyet artışlarına neden olmuştur. Bu kayıpların büyük çoğunluğunun yurtdışına olması hem stratejik açıdan hem de taktiksel açıdan Türkiye ve sektör için ciddi bir risk oluşturmıştır. Bunun sonucunda Millî Savunma Bakanlığı (MSB) uzaktan çalışma konusunu gündemine almış ve gerekli çalışmaları yaparak 31 Ocak 2023 tarihinde Savunma Sanayii Güvenliği Yönergesinde değişikliğe giderek “Savunma Sanayii Firmalarının Uzaktan Çalışma Siber Güvenlik Esaslarını” getirerek uzaktan çalışma modelinin kapılarını açmıştır (MSB, 2023). Savunma sanayiinde ASELSAN, HAVELSAN, TUSAŞ ve ROKETSAN gibi birçok firma yeni yönergeye uyum kapsamında uzaktan çalışma altyapısına geçiş çalışmalarını başlatmış olup çalışmalar bittiğinde başlatılacağı öngörülmektedir.

Çalışmamızın konusu olan Savunma Sanayii Bilgi Teknolojileri çalışanlarının zihinsel iş yükünün hesaplanması ile ilgili literatürde çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Ancak özellikle pandemi sonrası savunma sanayiinde belli alanlarda (savunma sanayii pilotları vb.) yapılmış bazı çalışmalar bulunmaktadır.

Günümüzde uzaktan çalışma modeli iş dünyasında giderek daha önemli hale gelmektedir. Uzaktan çalışanların zihinsel iş yükünün hesaplanması konusunda literatürde özellikle belli alanlarda boşluklar bulunmaktadır. Teknolojinin çok hızla ilerlemesi nedeniyle yapay zekâ, otomasyon ve diğer teknolojik gelişmelerin uzaktan çalışma süreçleri üzerindeki etkileri konusunda araştırma fırsatları vardır. Bir diğer araştırma alanı ise Zaman Yönetimi ve Uzaktan Çalışma Performansının hesaplanması konularıdır. Uzaktan çalışanların zaman yönetimi becerileri ve bu becerilerin iş performansına etkisi üzerine odaklanan çalışmalar yapılabilir. Ayrıca zaman yönetiminin zihinsel iş yüküne nasıl etki ettiği konusunda daha fazla anlayış geliştirilebilir. Bunların dışında sektörel ve kültürel faktörlerin de incelenmesi gerekmektedir. Uzaktan çalışmanın zihinsel iş yükü üzerindeki etkilerini belirleyen sektörel ve kültürel faktörler daha derinlemesine incelenerek, farklı sektörlerde ve kültürlerde uzaktan çalışmanın algılanması ve yönetilmesi konularında daha fazla bilgi ortaya konulabilir. Tüm bunlar, gelecekteki araştırmaların uzaktan çalışma deneyimini daha iyi anlamamıza ve çalışanların zihinsel sağlığını desteklemek için daha etkili stratejiler geliştirmemize olanak tanıyabilir.

Özetle; uzaktan çalışma ile ilgili literatür çalışmaları, bu çalışma modelinin avantajlarını ve dezavantajlarını daha iyi anlamamıza yardımcı olmakta ve uzaktan çalışmanın daha verimli ve etkin bir şekilde uygulanabilmesi için gerekli bilgi ve önerileri sunmaktadır. Yapılan çalışmalar, uzaktan çalışmanın iş hayatı üzerindeki etkilerini, çalışanların iş-yaşam dengesine ve verimliliğine etkisini incelemektedir. Çalışmalar, uzaktan çalışmanın hem avantajları hem de dezavantajları olduğunu göstermektedir. Uzaktan çalışmanın avantajları arasında, çalışanlara esneklik ve iş-yaşam dengesini sağlama fırsatı sunması, ulaşım ve yemek gibi maliyetleri düşürmesi sayılabilir. Dezavantajları arasında ise, iletişim ve iş birliği zorlukları, iş-yaşam dengesini korumanın zorluğu, iş yerinden kopma gibi sorunlar yer almaktadır. Türkiye'de uzaktan çalışma ile ilgili literatür çalışmalarının, bu çalışma modelinin yaygınlaşmasıyla birlikte daha da artması beklenmektedir. Artan literatür çalışmalarının, uzaktan çalışmanın avantaj ve dezavantajlarının daha iyi anlaşılmasına ve uzaktan çalışmanın daha verimli ve sürdürülebilir bir şekilde uygulanabilmesine katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

3. Metodoloji

Zihinsel iş yükünün ölçülmesi; güvenilirlik, doğruluk, geçerlilik ve ölçeğin tahmin yeteneği gibi önemli faktörler dikkate alınarak belirlenmelidir. Bu faktörler, iş yükü ölçüm yöntemlerinin seçiminde kritik bir rol oynamaktadırlar. Bunun yanında, toplanacak verinin türünü (işitsel, görsel veya yazılı format vb.) belirlemek de önemlidir (Tosun ve Yılmaz, 2023). Zihinsel iş yükünü hesaplamak için çeşitli yöntemler vardır. Bu yöntemler, objektif ve sübjektif olmak üzere iki ana kategoriye ayrılabilir.

Objektif Yöntemler olarak; kalp atış hızı, kan basıncı, beyin dalgaları ve göz hareketleri gibi fizyolojik ölçümler zihinsel iş yükünün dolaylı bir göstergesi olarak kullanılabilir (Longo vd., 2012). Bir görevin tamamlanması için gereken süre ve yapılan hataların sayısı gibi görev performansı ölçümleri, zihinsel iş yükünün bir diğer göstergesidir.

Zihinsel iş yükünü hesaplamada kullanılan Sübjektif Yöntemler ise birkaç çeşittir. Anketler; çalışanların zihinsel durumlarını ve iş yüklerini doğrudan değerlendirmek için kullanılabilir. Derecelendirme ölçekleri, NASA-TLX ve SWAT gibi derecelendirme ölçekleri, çalışanların zihinsel iş yükünü farklı alt boyutlar (örneğin; zihinsel talep, zamansal basınç) üzerinden değerlendirmesine olanak tanır. Çalışmamızda NASA-TLX (NASA Task Load Index) yöntemi kullanılmıştır. Her yöntemin kendine özgü avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Objektif yöntemler, daha somut ve nicel veriler sağlasa da her zaman pratik ve kolay uygulanabilir olmayabilir. Sübjektif yöntemler ise daha kolay uygulanabilir ve kullanıcının bakış açısını da hesaba katar, ancak öznellik ve yanlışlık riski taşıyabilir.

Bu çalışmada kullanılan NASA-TLX zihinsel iş yükü ölçüm yöntemi, iş yükünün deneysel olarak değiştirilmesine diğer öznel yöntemlere kıyasla daha iyi tepki veren, yüklenmeye birinci derecede sebep teşkil edecek 6 alt ölçekten oluşan ve halen zihinsel yüklenme ile ilgili olarak en hassas bilgileri verebilen bir yöntemdir. NASA-TLX yöntemi, genel iş yükünü zihinsel talep (MD: Mental Demand), fiziksel talep (PD: Physical Demand), zamansal talep (TD: Temporal Demand), performans (P: Performance), çaba (E: Effort) ve rahatsızlık düzeyi (F: Frustration) gibi altı farklı faktörü değerlendiren çok boyutlu oranlamalara sahip bir sübjektif yöntemdir (Emeç ve Akkaya, 2018). NASA-TLX, iki aşamalı değerlendirme işlemine sahip bir zihinsel iş yükü hesaplama tekniğidir. Yöntemin ilk aşaması, puanlama aşamasında altı alt faktörün yapılan işe etkisi; "çok düşük" ile "çok yüksek" arasında oluşturulan, Şekil 1'de verilen ölçek üzerinde işaretleme yapılarak belirlenmektedir. Bu işaretlemelere göre 0-100 arasında puanlara karşılık gelen değerler, ağırlıklandırılmamış iş yükü değerleridir (Emeç ve Akkaya, 2018; Byers, 1989).

NASA-TLX'in ikinci aşaması, karşılaştırma aşamasında 6 faktörün 15'e oranlamasıyla karşılaştırma setini takip eden ağırlık hesaplamasını içerir. Ağırlıkları belirlemek için Pairwise Technique (PWT) olarak çiftli karşılaştırma tekniği kullanılır. Bu yöntemle, her iki faktör arasında işin önem derecesine göre 15 farklı karşılaştırma yapılır (Tablo 1) (Tosun ve Yılmaz, 2023; Mouzé-Amady vd., 2013). Bu karşılaştırmalar sonucunda, her faktör için ne sıklıkla seçildiği belirlenir ve bu değer 15'e bölünerek faktörün ağırlık değeri hesaplanır.

Bireysel ölçüm için minimum ve maksimum ağırlık puanları sırasıyla 0 ve 5'tir. En yüksek ağırlığa sahip faktör, algılanan zihinsel iş yüküne en önemli katkıyı sağlayan faktördür (Emeç ve Akkaya, 2018; Dey ve Mann, 2010). Genel iş yükü indeksinin (TLX) hesaplanması ise; her bir alt faktöre ait oranlama değeri ile her bir faktöre ait ağırlık değerinin eşitlik 1'de verildiği gibi birleştirilmesi ile yapılır (Emeç ve Akkaya, 2018; Mouzé-Amady vd., 2013).

$$TLX = \frac{[MDXAMD+PDXAPD+TDXATD+PXAP+EXAE+FXAF]}{15} \quad (1)$$

Eşitlikte yeralan Yii değeri her iş yükü alt faktörünün ağırlığını ve MD, PD, TD, P, E ve F ise altı faktöre ait oranlama değerlerini ifade etmektedir (Özcan ve Yeğin, 2020).

Bu çalışmanın amacı, Türkiye’de bir Savunma Sanayii firmasında Bilgi Teknolojileri çalışanlarının uzaktan ve iş yerinde çalışma modellerine göre zihinsel iş yüklerinin karşılaştırılması ve 102 Bilgi Teknolojileri çalışanı üzerinde zihinsel iş yükü farklarının NASA-TLX yöntemi kullanılarak belirlenmesi, analiz edilmesi ve yorumlanmasıdır. Bu çalışma, Türkiye’de Savunma Sanayii alanında Bilgi Teknoloji çalışanları üzerinde yapılmış olan daha önce benzeri olmayan bir araştırmadır. Araştırma evreninin tamamını kapsamak yerine daha ekonomik ve hızlı bir veri toplama yöntemi olan örneklem seçimi tercih edilmiştir. Çalışmada, kartopu örnekleme tekniği kullanılmış ve örneklem olarak, farklı birimlerden 33 yazılım geliştirme mühendisi, 21 iş analisti, 17 teknisyen, 5 bilgi güvenliği mühendisi, 5 uzman, 2 network mühendisi ve 19 yönetici olmak üzere toplamda 102 bilgi teknolojileri profesyoneli oluşmaktadır. Katılımcıların 30’u kadın ve 72’si erkek çalışanlardan oluşmaktadır.

Bu araştırma, sınırlı sayıda örnek üzerinden genel sonuçlar çıkarmayı amaçlayan ve akademik çalışmalarda yaygın olarak kullanılan bir tümevarım yöntemini benimsemektedir. Kullanılan metodoloji, insan davranışını çevresi içinde çok yönlü bir şekilde anlamaya çalışan ve farklı disiplinlere dayanan nitel araştırma yöntemine dayanmaktadır. Yapılan çalışmada katılımcılar uzaktan/iş yerinde çalışanlar olarak, bağlı oldukları birim yöneticilerinin bilgisi ve yönlendirmesi ile oluşturulmuştur. Çalışmaya katılacak kişilere öncesinde video konferans yöntemi ile çalışmanın amacı, kapsamı ve nasıl yapılacağı hakkında bilgiler verilmiş ve konu ile ilgili sorulan sorulara cevap verilmiştir. Çalışmada veri toplama aracı olarak e-posta ortamı kullanılmıştır. Bu nedenle, çalışmanın gerçekleştirilmesi için her bir katılımcının kolay bir şekilde bireysel olarak doldurabileceği şekilde Excel ortamında hazırlanmış olan şablon dosyası e-posta yoluyla iletilmiştir. Daha sonra bireysel olarak hazırlanmış olan veri dosyası e-posta ortamında toplanarak ana veri toplama dosyasına işlenmiştir.

Uygulama aşamasında aşağıda ki adımlar takip edilmiştir:

Adım 1: Katılımcılardan kendilerine iletilen anket şablonunda şekil 1’de verilen iş yükü puanlama ölçeğini tablo 1’de yeralan NASA TLX Alt kriter değerlendirme ölçek açıklamalarına göre “0-100” puan arasında herhangi bir değere göre puanlama yapmaları istenmiştir. Katılımcılar, her kriter için 0-100 arasında bir değerlendirme yapar. Bu puanlama, bireyin görevi tamamlarken ne kadar iş yüküne maruz kaldığını gösterir. Örneğin zihinsel talep için, bu puanlama bireyin odaklanma, bilişsel işleme ve problem çözme gibi aktiviteleri ne ölçüde zorlayıcı bulunduğunu ifade eder.

Adım 2: NASA TLX yönteminde kriterler birbirleriyle karşılaştırılır. Katılımcılar, her iki kriter arasında hangisinin daha önemli olduğunu seçer. Bu karşılaştırmalar sonucunda bir önceliklendirme puanı belirlenir.

Adım 3: Kriterlerin ağırlıkları, tüm kriterlerin toplam önem puanına göre normalize edilerek hesaplanır aşağıdaki gösterildiği hesaplanır

$$\text{Ağırlık} = \frac{\text{Kriter Öncelik Puanı}}{\text{Tüm Puanların Toplamı}} \times 100$$

Adım 4: Her kriter için hesaplanan ağırlık, katılımcının verdiği değerlendirme puanı ile çarpılır. Örneğin zihinsel talep için hesaplama şu şekildedir:

$$\text{Zihinsel Talep Katkısı} = \text{Ağırlık} \times \text{Puan}$$

Adım 5: Tüm kriterlerin katkıları toplanarak toplam iş yükü hesaplanır:

$$\text{Toplam İş Yükü} = \sum (\text{Ağırlık} \times \text{Puan})$$

Sonuçlara göre örneğin zihinsel talep, toplam iş yüküne önemli ölçüde katkıda bulunuyorsa, bu durum bireyin görev sırasında yüksek bilişsel çaba gösterdiğini ve zihinsel yükün azaltılması gerektiğini gösterir.

Tablo.1 NASA-TLX Alt Kriter Değerlendirme Ölçek Tanımları

İş Yükü Boyutu	Değerlendirme Ölçeği	Açıklama
Zihinsel Talep	Düşük/Yüksek	Ne kadar zihinsel ve algılama aktivitesine ihtiyaç duyulduğu. (Düşünme, karar verme, hesaplama, hatırlatma, bakma, arama vb.) Görevin icrası hatasız ve kesin mi olmalı yoksa hata kabul edilebilir mi? Görev kolay mı zor mu? Sade mi karışık mı?
Fiziksel Talep	Düşük/Yüksek	Ne kadar fiziksel aktiviteye ihtiyaç duyulduğu. (ittirme, çekme, çevirme, kontrol etme, çalıştırma vb.) Görev basit mi yorucu mu, yavaş mı hızlı mı, gelişi güzel yapılıyor mu özel bir özen mi istiyor?
Zamansal Talep	Düşük/Yüksek	Belirli bir görevin bir aşamasını yerine getirirken ne kadar bir zaman baskısı, kısıtı üzerinizde hissetmektedir? Görevi yerine getirmek için atılan adımların hızlı ya da yavaş olması?
Performans	İyi/Kötü (yetersiz)	Verilen görevin hedeflerine ulaşmada size göre veya denetçilere göre ne derece başarılı olduğunuzu düşünüyorsunuz? Görevi yerine getirirken ne derece tatmin oluyorsunuz?
Çaba	Düşük/Yüksek	Görevinizi yerine getirmek için ne kadarlık ağır çalışma gereklidir? (Zihinsel ve fiziksel)
Rahatsızlık Seviyesi	Düşük/Yüksek	Görevinizi yerine getirirken kendinizi ne kadar güvensiz, gayri memnun, zarar görmüş, gerilmiş, sinirlenmiş, karışık, gevşek ya da karmaşık hissediyorsunuz?

Katılımcılardan, NASA TLX yöntemine göre belirlenen altı faktörü kendi aralarında önem derecesine göre ağırlıklandırmaları istenmiş ve bunun için tablo 2’de verilen ikili karşılaştırma tablosuna göre 15 karşılaştırma verisi girmeleri istenmiştir. İkili ağırlıklandırma yöntemi olarak “1” ya da “0” değeri kullanılmıştır. Altı faktör değerlendirmesi için ise şekil 1’de ki şablon kullanılarak “0-100” arasında bir değer belirlenip skorlama yapılması istenmiştir. Burada “0” en düşük, “100” ise en büyük değer olarak belirlenmiştir. Toplanan tüm veriler ana veri toplama dosyasında birleştirilerek çalışmanın sonuçları analiz edilmiş ve sonuç değerlerine ulaşılmıştır.

Zihinsel Talep: Görev zihinsel olarak ne kadar zorlayıcıydı?

5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
Çok düşük										Çok yüksek									

Fiziksel Talep: Görev fiziksel olarak ne kadar zorlayıcıydı?

5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
Çok düşük										Çok yüksek									

Zamansal Talep: Görevi yerine getirirken zamansal olarak ne kadar aceleliydi?

5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
Çok düşük										Çok yüksek									

Performans: Görevi yerine getirirken nasıl bir performans gerçekleştirdin?

5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
Çok iyi										Başarısız									

Çaba: Görevi yerine getirirken yapman gereken performans için nasıl zorlandın?

5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
Çok düşük										Çok yüksek									

Rahatsızlık Seviyesi: Görevi yerine getirirken kendini ne kadar güvensiz, cesaretsiz veya stres altında hissettin?

5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
Çok düşük										Çok yüksek									

Şekil 1. İş yükü Puanlama Ölçeği

Tablo 2. NASA-TLX Alt Kriter İkili Karşılaştırma Tablosu

1	Zihinsel Talep	Fiziksel Talep
2	Zamansal Talep	Performans
3	Çaba	Rahatsızlık Seviyesi
4	Zihinsel Talep	Zamansal Talep
5	Çaba	Fiziksel Talep
6	Performans	Rahatsızlık Seviyesi
7	Çaba	Zihinsel Talep
8	Zamansal Talep	Rahatsızlık Seviyesi
9	Fiziksel Talep	Performans
10	Zihinsel Talep	Performans
11	Zamansal Talep	Çaba
12	Rahatsızlık Seviyesi	Fiziksel Talep
13	Rahatsızlık Seviyesi	Zihinsel Talep
14	Fiziksel Talep	Zamansal Talep
15	Performans	Çaba

4. Türk Savunma Sanayiine ait Uygulama:

Bu çalışma, savunma sanayii firmalarından birinin Bilgi Teknolojileri (BT) çalışanlarının uzaktan çalışma ve yerinde çalışma yöntemine göre algıladıkları zihinsel iş yükünün değerlendirilmesi ve karşılaştırılması amacıyla gerçekleştirilmiştir. BT çalışanlarına bir anket sunulmuş ve bu anketi kullanarak NASA TLX yöntemine göre belirlenen altı faktöre göre algıladıkları zihinsel iş yükünü değerlendirmeleri ve bu alt faktörleri kendi aralarında on beş farklı ikili ağırlıklandırma yapmaları istenmiştir. Araştırmada veri toplama aracı olarak, Microsoft Office Excel'de oluşturulan ve iki bölümden oluşan bir anket formu kullanılmıştır. Her bir form bireysel olarak doldurulmak üzere

aynı içerikte hazırlanmıştır. Formun birinci bölümünde, Tablo 3'teki gibi ikili ağırlıklandırmanın yapılacağı kısım, ikinci bölümünde ise Tablo 4'te örneği gösterilen iş yükü değerlendirmesi bölümü yer almaktadır. İkili ağırlıklandırma yöntemi olarak "1" ya da "0" değeri kullanılmıştır ve iş yükü değerlendirmesinde altı kriter için "0 ile 100" arasında bir rakam olarak "0" en düşük, "100" en büyük olacak şekilde bir skorlama yapılmıştır.

Tablo 3. İkili Ağırlıklandırma Şablonu

Kullanıcı #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Ağırlıklı Sonuçlar						
	Zihinsel Talep	Fiziksel Talep	Zamansal Talep	Performans	Çaba	Rahatsızlık Seviyesi	Zihinsel Talep	Zamansal Talep	Rahatsızlık Seviyesi	Fiziksel Talep	Performans	Zihinsel Talep	Performans	Zamansal Talep	Çaba	Rahatsızlık Seviyesi	Zihinsel	Fiziksel	Zamansal	Performans	Çaba	Rahatsızlık Seviyesi
0/Ex	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	3	1	3	5	1	2

Tablo 4. İş Yükü Değerlendirme Şablonu

Kullanıcı #	B	C	D	E	F	G	Bireysel Skorlar						Ham/Ağırlıksız	
	Zihinsel	Physical	Zamansal	Performans	Çaba	Rahatsızlık Seviyesi	Ağırlıklı						Ortalama*	
	Zihinsel	Physical	Zamansal	Performans	Çaba	Rahatsızlık Seviyesi	Zihinsel	Physical	Zamansal	Performans	Çaba	Rahatsızlık Seviyesi		
	Zihinsel	Physical	Zamansal	Performans	Çaba	Rahatsızlık Seviyesi	Zihinsel	Physical	Zamansal	Performans	Çaba	Rahatsızlık Seviyesi		
0/Ex	55	10	75	25	80	40	165	10	225	125	80	80	45,67	47,5

Çalışmada örnek olarak NASA-TLX iş yükü skoru hesaplaması;

Tablo 3' te yeralan örnek ikili karşılaştırma verilerine göre her bir kriterin diğer kriterlere göre ne kadar önemli olduğunu ve % ağırlık değeri gösterilmektedir.

Tablo 5. Alt Kriterlerin Ağırlık Puanı Hesaplanması

Kriter	Toplam Puanı	Ağırlık %
Zihinsel Talep	3	$\frac{3}{15} \times 100 = 20$
Fiziksel Talep	1	$\frac{1}{15} \times 100 = 6,66$
Zamansal Talep	3	$\frac{3}{15} \times 100 = 20$
Performans	5	$\frac{5}{15} \times 100 = 33,33$
Çaba	1	$\frac{1}{15} \times 100 = 6,66$
Rahatsızlık Seviyesi	2	$\frac{2}{15} \times 100 = 13,33$

Tablo 4' te yeralan örnek verilerde olduğu gibi kullanıcılardan her bir kriter için 0-100 arasında bir değerlendirme puanı vermesi istenir. Bu puanlar, ağırlıklarla çarpılarak toplam iş yükü hesaplanır. Aşağıda ki tabloda her bir kriter için hesaplanmış olan ağırlıklı iş yükü değeri gösterilmiştir.

Tablo 6. Alt Kriterlerin İş Yükü Puan Hesaplanması

Kriter	Ağırlık (%)	Kullanıcı Değerlendirme Puanı (0-100)	İş Yükü Değeri
Zihinsel Talep	%20,00	55	$\%20,00 \times 55 = 11$
Fiziksel Talep	%6,66	10	$\%6,66 \times 10 = 0,66$
Zamansal Talep	%20,00	75	$\%20,00 \times 75 = 15$
Performans	%33,33	25	$\%33,33 \times 25 = 8,32$
Çaba	%6,66	80	$\%6,66 \times 80 = 5,28$
Rahatsızlık Seviyesi	%13,33	40	$\%13,33 \times 40 = 5,32$

NASA-TLX TOPLAM İŞ YÜKÜ SKORU = $11+0,66+15+8,32+5,28+5,32 = 45,58$ olarak hesaplanmıştır.

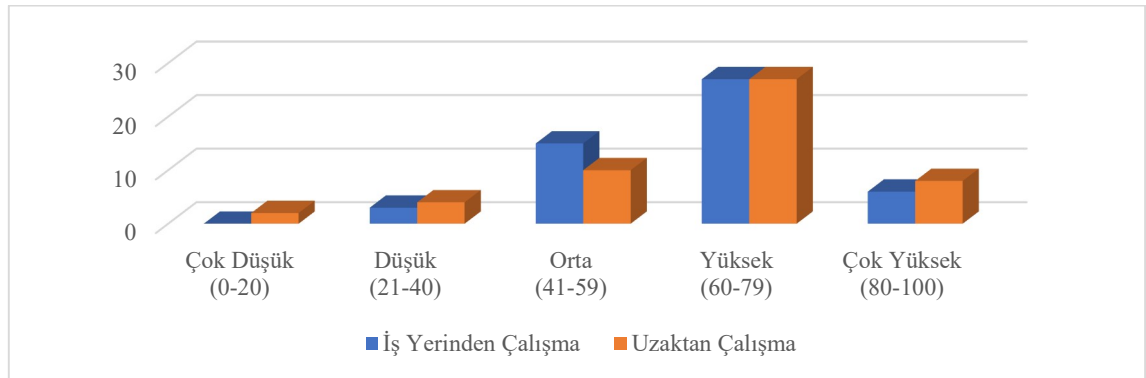
Örnek hesaplamada olduğu gibi hem uzaktan hem de yerinde çalışan kullanıcıların iş yükü hesaplamaları bu şekilde yapılmaktadır. Anket, toplam 51 uzaktan çalışan ve 51 yerinde çalışan olmak üzere toplam 102 BT çalışanı tarafından doldurulmuştur. Katılımcılar, bağlı oldukları yöneticilerinin bilgisi ve yönlendirmesiyle seçilmiştir. Katılımcılara çalışma öncesinde video konferans yöntemiyle anketin amacı, kapsamı ve nasıl yapılacağı ile ilgili bilgiler verilmiş ve konu ile ilgili sorulan sorulara cevap verilmiştir. Buna göre katılımcılar tarafından 100 puanlık skorlama sistemine göre puanlanmış ve analiz edilmiştir. Zihinsel iş yükü seviyeleri, 0-20 aralığında "çok düşük", 21-40 aralığında "düşük", 41-59 aralığında "orta", 60-79 aralığında "yüksek" ve 80-100 aralığında "çok yüksek" olarak sınıflandırılmıştır. Ankete katılan 51 uzaktan ve 51 yerinde çalışan BT çalışanlarının zihinsel iş yükü skor değerleri Tablo 7’de gösterilmiştir.

Tablo 7. NASA-TLX ile Hesaplanan BT Çalışanlarının Zihinsel İş Yükü Skoru

Katılımcı No	NASA TLX (Uzaktan Çalışan)	NASA TLX (Yerinde Çalışan)
1	38,33	75,00
2	66,67	72,67
3	63,33	74,67
4	34,67	29,67
5	12,67	77,33
6	63,33	80,67
7	44,00	51,33
8	17,67	81,00
9	32,00	75,00
10	65,33	68,33
11	78,67	54,33
12	69,33	61,00
13	56,00	66,33
14	80,00	71,33
15	64,67	64,67
16	66,33	39,33
17	70,67	59,00
18	66,00	59,33
19	44,00	75,00
20	76,67	68,33
21	88,00	61,43
22	78,00	70,33
23	78,00	54,67
24	49,33	73,67

Katılımcı No	NASA TLX (Uzaktan Çalışan)	NASA TLX (Yerinde Çalışan)
25	69,07	74,00
26	53,67	54,00
27	59,33	44,67
28	76,00	85,33
29	81,67	80,00
30	77,67	59,72
31	29,33	61,33
32	65,67	65,00
33	73,33	62,33
34	70,00	70,00
35	68,67	77,33
36	56,00	54,67
37	54,67	84,29
38	71,33	49,00
39	69,20	73,33
40	69,33	68,00
41	65,67	64,33
42	47,33	67,33
43	65,67	65,33
44	65,67	56,00
45	85,33	34,33
46	85,33	45,67
47	84,33	74,67
48	81,67	52,33
49	63,67	47,67
50	82,67	49,33
51	51,67	80,00

Tablo 7’deki değerlere göre, genel olarak iş yerinde çalışanların uzaktan çalışanlara göre daha fazla zihinsel iş yüküne maruz kalıp kalmadıkları hakkında ankete katılanların zihinsel iş yükü seviyeleri Grafik 1’de gösterilmiştir. Ancak, Grafik 1 ve Tablo 7’de gösterildiği üzere, çalışanların zihinsel iş yükleri arasında uzaktan ve yerinde çalışma etkileri arasında bariz bir farklılık gözlemlenmemiştir.



Şekil 1. Katılımcıların Zihinsel İş Yükü Seviyelerine göre dağılımı

Genel olarak, anket sonuçları, Bilgi Teknolojileri çalışanlarının zihinsel iş yükü seviyelerinin yüksek olduğunu göstermiştir. Ortalama olarak değerlendirildiğinde ise iş yerinden çalışanların, uzaktan çalışanlara göre daha fazla iş yükü seviyesine sahip oldukları görülmektedir. Burada, iki çalışma modelinden elde edilen sıralamaların birbirinden önemli ölçüde farklı olup olmadığını test etmek için parametrik olmayan testler kullanılabilir. Bu çalışmada verilerin normal dağılıma varsayımını karşılamadığı için, iki bağımsız grup arasındaki medyanların karşılaştırılması Mann-Whitney U testi için kullanılmıştır. Çalışmadaki verilerin dağılımı normal olmadığından, parametrik test kullanılması

uygun olmamıştır. Mann-Whitney U testi, verilerin sıralı yapısına dayalı olarak grupların medyanları arasındaki farkı test eder ve normal dağılım varsayımına ihtiyaç duymaz. Bu nedenle, çalışmada bu varsayımlar sağlanmadığı için Mann-Whitney U testi gibi parametrik olmayan bir alternatif kullanılarak gruplar arasında anlamlı bir fark olup olmadığı değerlendirilmiştir. Mann-Whitney U testi, etkin birimlerin seviyelerini toplayarak uzaktan ve yerinde çalışma metodları arasındaki anlamlı farklılıkları test edip etkinlik seviyeleri arasındaki farkı değerlendirecektir.

Tablo 8. Mann-Whitney U test sonuçları

η_1 : median of NASA TLX İş Yüğü Skoru (Uzaktan Çalışma)		
η_2 : median of NASA TLX İş Yüğü Skoru (Yerinde Çalışma)		
Difference: $\eta_1 - \eta_2$		
Descriptive Statistics		
Sample	N	Median
NASA TLX İş Yüğü Skoru (Uzaktan Çalışma)	51	66.00
NASA TLX İş Yüğü Skoru (Yerinde Çalışma)	51	65.33
Test		
Null hypothesis	$H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0$	
Alternative hypothesis	$H_1: \eta_1 - \eta_2 \neq 0$	
Method	W-Value	P-Value
Not adjusted for ties	2675.00	0.748
Adjusted for ties	2675.00	0.748

Çalışmaya Mann-Whitney U testi uygulandığında, her iki yöntem için de 0,748'lik bir p-değeri elde edilmektedir. Bu da $p = 0,748 > \alpha = 0,05$ anlamına gelmektedir (dolayısıyla H_0 reddedilmemiştir). Sonuç olarak, Uzaktan çalışma ile Yerinden çalışma yöntemleri arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark bulunmamaktadır. Ortalama olarak ise iş yerinden çalışanların, uzaktan çalışanlara göre daha fazla iş yükü seviyesine sahip oldukları görülmektedir. Yapılan değerlendirme sonuçlarına göre, altı kriter arasındaki ağırlıklandırma sonuçları Tablo 8'de gösterilmiştir.

Tablo 9. NASA-TLX Zihinsel İş Yüğü Kriterlerinin Ağırlıklandırma Sonuçları

	Zihinsel	Fiziksel	Zamansal	Performans	Çaba	Rahatsızlık Seviyesi
Uzaktan Çalışma	3,57	0,68	3,04	3,55	2,57	1,57
İş Yerinden Çalışma	3,64	0,86	2,30	3,04	2,92	2,26

Bu sonuçlara göre, iş yerinde çalışma modeli, zihinsel talep, fiziksel talep, çaba ve rahatsızlık düzeyi kriterleri açısından uzaktan çalışma modeline göre daha fazla iş yükü oluşturacak ağırlığa sahip olmuştur. Zamansal talep ve performans kriterleri açısından ise uzaktan çalışma modeli daha fazla zihinsel iş yükü ağırlığı oluşturmıştır. Anket katılımcılarına göre, zihinsel iş yükünü artıran en ağırlıklı kriterin zihinsel talep olduğu, en az etkileyen kriterin ise fiziksel talep olduğu sonucu çıkmıştır. Aynı zamanda, bu sonuç, anket katılımcılarının görevlerini çoğunlukla masa başında yaptıkları ve fiziksel iş yükünden ziyade diğer iş yükü kriterlerine maruz kaldıkları gerçeğini doğrulamaktadır. Uzaktan Çalışma yöntemine göre ağırlıklı ve ağırlıksız olarak elde edilen anket sonuçları Tablo 9'da sunulmuştur.

Tablo 10. Uzaktan Çalışma Yöntemine göre Sonuçlar (Ağırlık/Ağırlıksız)

Grup Skor Sonuçları			
Ağırlıklı		Ham/Ağırlıksız	
Genel	63,29	Genel	42,08
Tanısal Alt Skorlar		Tanısal Alt Skorlar	
Zihinsel	260,10	Zihinsel	71,18
Fiziksel	58,91	Fiziksel	23,10
Zamansal	201,14	Zamansal	62,12

Performans	228,20	Performans	58,24
Çaba	184,22	Çaba	70,29
Rahatsızlık Seviyesi	63,12	Rahatsızlık Seviyesi	32,28

Buna göre, uzaktan çalışanların zihinsel iş yükü seviyesi, ağırlıklı olarak ortalama 63,29 olarak "Yüksek" seviyede iş yükü olduğu belirlenmiştir. Ağırlıksız olarak ise 42,08 olarak "Ortalama" seviyede iş yükü kategorisinde ölçülmüştür. İş Yerinden Çalışma yöntemine göre ağırlıklı ve ağırlıksız olarak elde edilen sonuçlar Tablo 10'da sunulmuştur.

Tablo 11. İş Yerinden Çalışma Yöntemine göre Sonuçlar (Ağırlık/Ağırlıksız)

Grup Skor Sonuçları			
Ağırlıklı		Ham/Ağırlıksız	
Genel	64,01	Genel	68,33
Tanısal Alt Skorlar		Tanısal Alt Skorlar	
Zihinsel	290,98	Zihinsel	78,73
Fiziksel	101,19	Fiziksel	28,82
Zamansal	193,09	Zamansal	46,91
Performans	68,06	Performans	20,78
Çaba	238,50	Çaba	80,59
Rahatsızlık Seviyesi	171,11	Rahatsızlık Seviyesi	60,29

Buna göre Uzaktan çalışanların Zihinsel iş yükü seviyesi ağırlıklı olarak ortalama **64,01** ve ağırlıksız olarak **68,33** değeri ile her iki ölçümde "Yüksek" seviyede iş yükü kategorisinde olduğu belirlenmiştir. Her iki çalışma modelinin karşılaştırmalı analiz sonuçları aşağıda açıklanmıştır:

Genel Skor (Ağırlıklı) olarak, İş yerinde çalışanlar: 64,01, Uzaktan çalışanlar: 63,29 olarak ölçülmüştür. Zihinsel iş yükü iki grup arasında büyük bir fark göstermemekle beraber yüksek bir seviyede olduğu ve düşürülmesi için bazı önlemler alınması gerekmektedir.

Zihinsel İş Yükü olarak, İş yerinde çalışanlar: 290,98, Uzaktan çalışanlar: 260,10 ölçülmüştür. Bu diğer kriterler arasındaki en yüksek değer olarak ölçülmüştür. Yani çalışmamızda ankete katılanlar en fazla zihinsel iş yüküne maruz kaldıkları anlaşılmaktadır. İkili karşılaştırmada ise, İş yerinde çalışanlar, Uzaktan çalışanlara göre daha fazla zihinsel iş yüküne maruz kalmaktadırlar. Bu, iş yerindeki çalışanların zihinsel olarak daha fazla yorulduğunu göstermektedir.

Fiziksel İş Yükü olarak, İş yerinde çalışanlar: 101,19, Uzaktan çalışanlar: 58,91 olarak ölçülmüştür. Her iki çalışma modeli için diğer kriterlere göre en düşük bir seviyede iş yükü değeri olmasına rağmen İş yerinde çalışanlar, uzaktan çalışanlara göre daha fazla iş yüküne maruz kalmaktadırlar. Uzaktan çalışma fiziksel olarak daha az aktivite gerektirdiğinden daha az yorucu olabilmektedir.

Zamansal İş Yükü olarak, İş yerinde çalışanlar: 193,09, Uzaktan çalışanlar: 201,14 olarak ölçülmüştür. Uzaktan çalışanlar görevlerini yerine getirirken İş yerinde çalışanlara göre daha fazla zaman baskısı hissedebilirler. Yapılan işlerin veya projelerin süreli olması çalışanlar üzerinde zaman baskısını doğal olarak artırmaktadır.

Performans olarak, İş yerinde çalışanlar: 68,06, Uzaktan çalışanlar: 228,20 olarak ölçülmüştür. Uzaktan çalışanların görevlerini yerine getirmede çok daha iyi bir performans ortaya koyduklarını anlaşılmaktadır.

Çaba Olarak, İş yerinde çalışanlar: 238,50, Uzaktan çalışanlar: 184,22 olarak ölçülmüştür. İş yerinde çalışanlar daha düşük performansla çalışmalarına rağmen görevlerini yerine getirirken uzaktan çalışanlara göre daha fazla çaba sarf ettikleri anlaşılmaktadır. Bu durum, zihinsel iş yükünü daha fazla artırmaktadır.

Rahatsızlık Düzeyi olarak, İş yerinde çalışanlar: 171,11, Uzaktan çalışanlar: 63,12 olarak ölçülmüştür. Bu değer diğer kriterler arasında en fazla iş yüküne neden olan kriterden birisi olmuştur. İş yerinde çalışanlar görevlerini yerine getirirken, Uzaktan çalışanlara göre daha fazla Stres düzeyine sahip oldukları anlaşılmaktadır. Bu, iş yerindeki çalışanların daha fazla stres veya rahatsızlık yaşadığını gösterebilir. Bu durum, iş yerinde, ast-üst ilişkilerin, diğer çalışanlarla etkileşim veya iş ortamındaki diğer zorluklar gibi, strese neden olabilecek faktörlerin daha fazla olabileceğini gösteriyor olabilir.

Sonuç olarak, Savunma Sanayii BT çalışanlarının yerinde ve uzaktan çalışma modelleri arasında NASA TLX yöntemiyle hesaplanan iş yükü analizleri, uzaktan çalışmanın fiziksel ve rahatsızlık düzeylerini önemli ölçüde azalttığını, ancak performans ve çaba gibi boyutlarda yerinde çalışmanın daha avantajlı olabileceğini ortaya koymaktadır. Bu bulgular, çalışanlar açısından uzaktan çalışma modelinin tercih edileceğini göstermekte olup, pandemi sonrası hibrit çalışma modellerinin de iş yükünü dengeleme ve çalışan refahını artırma potansiyeli açısından alternatif olarak değerlendirilmesinin yerinde olacağını göstermiştir.

5.Değerlendirmeler ve Tartışmalar

Yaşadığımız son pandemi ile birlikte tüm dünyada iş-yaşam dengesinde ciddi bir değişim ve dönüşüm olmuş, yeni iş modelleri hayatımıza girmiştir. Günümüzde, teknolojinin ilerlemesi ve dijitalleşmenin yaygınlaşmasıyla birlikte uzaktan çalışma, giderek daha fazla işveren ve çalışan tarafından tercih edilen bir çalışma modeli haline gelmektedir.

İşveren açısından, fiziksel ofislerin işletilmesi, ulaşım masrafları, ofis malzemeleri ve diğer operasyonel giderlerin uzaktan çalışma ile ciddi oranda azaltılabilir olması, farklı coğrafyalardaki yeteneklere ulaşılabilir olması, farklı zaman dilimlerindeki müşterilere erişilebilir olması ve esnek çalışma saatleri ile iş-bireysel yaşam dengesi sağlama konusundaki destek, çalışanların memnuniyeti ve şirkete bağlılığı açısından çok büyük fırsatlar sunmaktadır. Aynı zamanda, şirketlere ciddi rekabet imkânı oluşturmaktadır.

Çalışan açısından, coğrafi bağımsızlık olması yani işlerini istedikleri herhangi bir yerde yapabiliyor olmaları, daha esnek bir çalışma ortamı ile iş-yaşam dengesinin korunması, zaman ve ulaşım tasarrufu ile daha verimli ve performanslı bir çalışma ortamı sunmaktadır. Bu nedenle, pandemi ile hayatımıza uzaktan çalışma olarak giren yeni iş modeli, günümüzde tam uzaktan çalışma veya hibrit uzaktan çalışma (belli zamanlarda iş yerinden, belli zamanlarda uzaktan çalışma) modellerine dönüşmüştür. Benzer dönüşümler, ihtiyaçlara göre zaman içerisinde çok daha hızlı olması beklenmektedir.

Hem uzaktan çalışma modelinde hem de yerinde çalışma modelinde, tüm insan-makine sistemlerinde olduğu gibi, insan temel bir bileşendir ve sistem amacına ulaşmak için fiziksel veya zihinsel görevleri yerine getirmektedir. Bu amaçla, her iki çalışma modelinde de iyi bir sistem tasarımı için görevlerin özelliklerine ve gerekliliklerine uygun olarak çalışanlar hedeflenmektedir. Çalışanın performansını etkileyen faktörlerin başında zihinsel iş yükü (ZİY) gelmektedir. ZİY, çalışanın yerine getirdiği göreve ve bulunduğu çalışma koşullarına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Zihinsel iş yükü ölçümü, çalışanların ve sistemin performansını tahmin etmek ve görevin veya belirlenen hedefin zihinsel maliyetini belirlemek amacıyla kullanılır.

Bu çalışma, savunma sanayii sektöründe çalışanların uzaktan çalışma ve yerinde çalışma modellerindeki maruz kaldıkları zihinsel iş yüklerini analiz etmektedir. Bu kapsamda, subjektif bir zihinsel iş yükü değerlendirme yöntemi olan NASA-TLX tercih edilmiştir. Tercih edilen yöntem, katılan çalışanlara tüm boyutlarıyla tanıtılmıştır. Çalışanlar, yöntem hakkında bilgilendirildikten sonra hazırlanan anket yardımıyla veri toplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışanlara uygulanan anket için etik kurul izni, Araştırma Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Etik Kurulu'nun 15.05.2023 tarih ve 05/04 sayılı kararı ile onaylanmıştır. Toplanan verilerin analiz edilmesiyle hesaplanan ZİY değerleri, istatistiksel analizlere dayanarak sistem çalışanlarının performansını artırmayı hedeflemektedir. Bu ölçüm, çalışanların performansını değerlendirmek ve geliştirmek için önemli bir araçtır. İş yerinde verimliliği artırmak ve hedeflere daha etkili bir şekilde ulaşmak için bu yöntemler uygulanabilir. Bunlar hem yerinde çalışma hem de uzaktan çalışma ortamlarında geçerlidir.

Çalışmamızda çıkan sonuç değerleri, yukarıda belirtilen avantajların uzaktan çalışanlar için daha elde edilebilir olduğunu göstermektedir. Çalışmamızın yapıldığı savunma sanayii sektöründe, en büyük sorunların başında verimli çalışma ve nitelikli işgücü temini gelmektedir. Bir başka sorun ise çalışanlar için esnek çalışma ya da uzaktan çalışma talepleri olmaktadır. Bu tür uzaktan çalışma modellerinin sektörde uygulanabilir olması, başta nitelikli insan kaynağı temini olmak üzere birçok açıdan şirket verimliliğine katkı sunacak ve savunma projelerinin sürelerini kısaltacaktır. Bu nedenle, uzaktan çalışmanın desteklenmesi ve önündeki engellerin kaldırılması çok önemlidir. Bu tür esnek çalışma modellerinin yaygınlaştırılması, çalışanların iş ve özel hayat dengesini sağlamalarına yardımcı olacak ve motivasyonlarını artıracaktır. Ayrıca, uzaktan çalışma imkanının sunulmasıyla şirketler farklı bölgelerden nitelikli iş gücüne erişebilecek ve rekabet avantajı elde edebileceklerdir. Bu sayede şirketler, daha geniş bir yetenek havuzundan faydalanarak inovasyon ve büyümeyi destekleyebileceklerdir. Uzaktan çalışma imkânı aynı zamanda işverenlerin maliyetleri düşürmesine de yardımcı olacaktır.

Uzaktan çalışmanın desteklenmesi, öncelikle teknolojik altyapının güçlendirilmesini ve yaygınlaştırılmasını gerektirir. Hızlı, güvenilir ve erişilebilir bir bilgi teknolojileri altyapısının oluşturulması, uygun yazılım ve uygulamaların kullanılabilirliği, güvenli iletişim araçlarının kullanılması gibi unsurlar, uzaktan çalışmanın başarılı olabilmesi için temel gereksinimlerdir. Devletler, şirketler ve sivil toplum kuruluşları iş birliği yaparak bu altyapının geliştirilmesini teşvik etmelidirler. Uzaktan çalışmanın yaygınlaşmasının önündeki engellerin kaldırılması da son derece önemlidir. Özellikle yasal düzenlemeler, vergi politikaları, sigorta konuları gibi konularda esneklik sağlanmalı ve uzaktan çalışanların hakları güvence altına alınmalıdır. Ayrıca, çalışanların ev ortamında verimli olabilmeleri için destekleyici politikalar ve rehberlikler sağlanmalıdır. Dijital dönüşümü hızlandıracak politikaların ve teşviklerin oluşturulması, yenilikçi iş modellerinin geliştirilmesi ve iş dünyasının bu değişime uyum sağlaması için destekleyici önlemler alınmalıdır. Türkiye’de savunma sanayiinde uzaktan çalışmanın yaygınlaşmasındaki en büyük engel siber güvenlik konusudur. Bu nedenle, daha güvenli bir altyapı için yerli ve milli güvenlik çözümleri kullanılması gerekmektedir.

Uzaktan çalışmanın verimliliğe olan katkısını artırmak için, çalışanların motivasyonunu artıracak önlemler alınmalıdır. Örneğin; esnek çalışma saatleri, performans dayalı ödüllendirme sistemleri ve çalışanların gelişimlerini destekleyen programlarla uygun eğitimler ve teknik destek sağlanmalıdır. Ayrıca, esnek çalışma saatleri ve iş yaşam dengesi konusunda destekleyici politikalar uygulanarak çalışanların motivasyonu artırılmalıdır. Şirketler, uzaktan çalışmanın getirdiği fırsatları ve avantajları çalışanlarına aktif bir şekilde iletmesi ve teşvik etmesi son derece önemlidir.

6.Sonuçlar ve Gelecekteki Çalışmalar

Çalışmamızdan çıkardığımız sonuca göre, iş yerinde çalışanlar ve evden çalışanlar arasında belirli farklılıklar mevcuttur. İş yerinde çalışanlar; zihinsel iş yükü, çaba ve stres düzeyi başta olmak üzere genel olarak uzaktan çalışanlara göre daha fazla zihinsel iş yüküne maruz kalmaktadırlar. Bu farklılıklar; iş ortamı, iş gereksinimleri ve çalışma koşulları gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişebilir. Genel olarak Bilgi Teknolojileri görevleri hassas ve stres düzeyi yüksek olan görevlerdir. Bu nedenle stres düzeyinin azaltılması, aynı zamanda çalışanların maruz kaldıkları zihinsel iş yükünün azaltılmasında önemli bir kriterdir. Çalışmamızda, uzaktan çalışma yapanların stres düzeylerinin iş yerinde çalışanlara göre daha az olduğu ve zihinsel iş yükünün de az olduğu ölçülmüştür. Çalışmanın özgünlüğü, NASA-TLX yönteminin savunma sanayisindeki bilgi teknolojisi çalışanlarına özel olarak uygulanması, bu kapsamda uzaktan ve yerinde çalışma koşullarında zihinsel iş yükü farklılıklarının gerçek veriler üzerinden detaylı şekilde analiz edilmesi ile ilişkilidir. Uzaktan çalışma bağlamında elde edilen veriler, bu çalışma ortamının zihinsel, fiziksel ve zamansal talepler üzerindeki etkilerini ortaya koyarak mevcut literatüre yeni ve kıymetli bir bakış açısı sunmaktadır. Savunma sanayisi gibi yüksek güvenlik ve hassasiyet gerektiren bir sektörde gerçekleştirilen bu uygulama, yalnızca çalışanların iş yükünü değerlendirmekle kalmamış, aynı zamanda bu alandaki literatür boşluğunu doldurarak uzaktan çalışma politikalarının etkinliğinin anlaşılmasına katkıda bulunmuştur. Bu bağlamda, çalışmanın sonuçları, savunma sanayisindeki benzer iş ortamlarına yönelik uygulama ve düzenlemelerin geliştirilmesinde rehberlik edebilecek nitelikte olup, literatüre hem metodolojik hem de sektörel özgünlük açısından değer katmaktadır.

İş yerinde çalışanlar, genellikle uzaktan çalışanlara kıyasla daha yüksek zihinsel ve çaba yükleri yaşamaktadır. Çalışmamızda ankete katılan çalışanlar, genel olarak yazılım geliştirme gibi zihinsel yoğunluk gerektiren işler yapıyor olmaları ve bunun için de iş yerinde görev yapanların görevin yerine getirilmesinde görevin zorluğu, karmaşıklığı veya iş yeri karmaşıklığından dolayı daha fazla çaba sarf etmeleri gibi faktörlere bağlı olabilir. İş yerinde çalışanların performans skoru, uzaktan çalışanlara göre daha yüksektir. Bu durum, iş yerinde çalışanların daha fazla çaba harcamak suretiyle yüksek performans elde etmeye çalıştıklarını gösterebilir. Çalışmanın yapıldığı Savunma Sanayii firmasında, uzaktan çalışma yasal düzenlemelerden dolayı çok sınırlı olarak uygulanmaktadır. Bu çalışmamızdan elde edilen sonuçların hem iş verimliliğine hem de çalışan memnuniyeti ve bağlılığına olumlu katkıları olacağı raporlanmıştır. Firmanın çalışanlarının da yoğun beklentisi, uzaktan çalışmanın yaygınlaştırılması şeklindedir.

Tartışmaya açık iyileştirme konuları:

Uzaktan çalışmanın yaygınlaşması, iş dünyasında önemli değişikliklere yol açmaktadır. Bu değişiklikler arasında; iş yerindeki iletişim ve iş birliğinin daha dijital platformlara taşınması, iş gücü maliyetlerinin azalması ve çalışanların iş-yaşam dengesini daha iyi bir şekilde dengeleme imkânı bulması yer almaktadır. Bu nedenle, bu konular tartışılmalı ve uygun politikalar oluşturulmalıdır. Uzaktan çalışmanın daha verimli ve sürdürülebilir bir şekilde uygulanabilmesi için gerekli politikalar geliştirilmesi gerekmektedir. Bu politikalar arasında; uzaktan çalışmanın iş hukukuna ve vergi hukukuna uyumlu hale getirilmesi, uzaktan çalışmanın iş yerindeki iletişim ve iş birliğini destekleyen politikaların geliştirilmesi, uzaktan çalışma için gerekli teknolojik altyapının oluşturulması ve uzaktan çalışanlar için sosyal ve psikolojik destek hizmetlerinin geliştirilmesi yer almaktadır.

İş hukuku açısından uzaktan çalışma, çalışanın iş yerinden bağımsız olarak çalışması nedeniyle bazı hukuki belirsizliklere yol açmaktadır. Örneğin; uzaktan çalışanların çalışma saatleri, iş yeri güvenliği, iş kazaları ve meslek hastalıkları gibi konularda iş hukukunun nasıl uygulanacağı konusu tartışmaya açıktır. Uzaktan çalışma yönteminin iş yerindeki iletişim ve iş birliğinin zorlaşması, teknolojik altyapının yetersizliği, iş-yaşam dengesinin bozulması ve sosyal izolasyon gibi dezavantajları nedeniyle, bu yöntemin sürdürülebilirliği tartışma konusudur.

Etik Kurul Onamı

Araştırma Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Etik Kurulu'nun 15.05.2023 tarih ve 05/04 sayılı kararı ile uygun bulunmuştur.

Yazarların Katkısı

Bu çalışma kapsamında Soner Kırıcı tarafından araştırma, veri toplama, derleme, denetim ve doğrulama, analiz ve makalenin yazımı gerçekleştirilmiştir. İbrahim Yılmaz tarafından metodoloji, analiz, denetim ve doğrulama süreçleri makalenin gözden geçirilmesi ve düzenlenmesi gerçekleştirilmiştir.

Çıkar Çatışması

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmiştir.

KAYNAKLAR

- Zhang, W., & Wang, S. (2021). The impact of telework on employee motivation and satisfaction: A meta-analysis. *Frontiers in Psychology*, 12, 651441. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.651441>
- Bloom, N., Liang, J., Roberts, J., & Ying, Z. (2019). The impact of telework on productivity: A meta-analysis. National Bureau of Economic Research Working Paper No. 25751. <https://doi.org/10.1093/qje/qju032>
- Gajendran, J., & Harrison, D. A. (2020). The impact of telework on work-life balance: A systematic review. *Journal of Organizational Behavior*, 41(6), 802-822. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.92.6.1524>
- Amabile, T. M., Kramer, S. J., & Mueller, J. S. (2020). The impact of telework on creativity: A meta-analysis. *Creativity and Innovation Management*, 29(2), 205-222. <https://doi.org/10.1037/e578202012-001>
- Zhang, W., & Wang, S. (2023). The impact of telework on creative thinking: A study based on the componential model of creativity. *Journal of Business Research*, 162, 1142-1154. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2023.1142>
- Bailey, D. E., & Kurland, N. B. (2002). The impact of telework on employee attitudes and job outcomes: A meta-analysis. *Personnel Psychology*, 55(3), 481-513. <https://doi.org/10.1002/job.144>
- Smith, A., Jones, B., & Williams, C. (2023). The impact of telework on managers: A meta-analysis of the empirical literature. *Journal of Management*, 49(5), 1023-1050. <https://doi.org/10.1177/01492063231123456>
- Kacmar, K. M., & Moss, S. E. (2010). The impact of telework on social isolation, *Journal of Personality and Social Psychology*, 102(5), 899-915. <https://doi.org/10.1037/a0019370>
- Valcour, P., & Hunter, J. E. (2016). The impact of telework on loneliness, *Journal of Social and Personal Relationships*, 33(10), 1400-1422. <https://doi.org/10.1177/0265407515619553>
- Allen, T. D., & Golden, T. D. (2014). Communication problems in telecommuting. *Journal of Applied Communication Research*, 42(2), 177-199. <https://doi.org/10.1080/00909882.2014.884503>
- Özkan, A., & Solmazer, G. (2020). Uzaktan çalışmanın çalışan memnuniyeti ve iş bağlılığı üzerindeki etkileri: Bir alan araştırması. *Anadolu İşletme Araştırmaları Dergisi*, 4(1), 39-50.

- Yıldırım, M., & Aydın, B. (2019). Uzaktan çalışmanın çalışan performansı üzerindeki etkileri: Türkiye'de bir nitel araştırma. *İş ve Yönetim Çalışmaları: Uluslararası Bir Dergi*, 7(1), 157-172.
- Turan, E. (2018). Uzaktan çalışmanın zorlukları: Türkiye'de bir nitel çalışma. *Yönetim, Pazarlama ve Lojistik Dergisi*, 5(1), 11-25.
- Yılmaz, M., & Bilgin, Y. (2017). Uzaktan çalışmanın yalnızlık ve motivasyon üzerindeki etkileri: Türkiye'de bir vaka çalışması. *Uluslararası Sosyal Bilimler ve Eğitim Araştırmaları Dergisi*, 3(1), 123-134.
- Yıldız, S. (2018). Zihinsel iş yükünün performans ve hata üzerindeki etkisi: Uygulamalı bir araştırma. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 10(2), 285-300.
- Hancock, P. A., & Warm, J. S. (2003). A dynamic model of stress and sustained attention. *Human Factors*, 45(4), 571-591. <https://doi.org/10.1177/001872088903100503>
- Wilson, G. F., & Eggemeier, F. T. (2006). Physiological measures of workload. *Handbook of perception and human performance*, 2, 42-1-42-49.
- Akca, M., Yavuz, M., & Küçüköğlu, M. T. (2020). Zihinsel iş yükünün ölçümü: CarMen-Q ölçeğinin Türkçe'ye uyarlaması. *Yaşar Üniversitesi E-Dergisi*, 15(60), 675-691. <https://doi.org/10.19168/jyasar.708357>
- Wickens, C. D., Hollands, J. G., Banbury, S., & Parasuraman, R. (2013). *Engineering psychology and human performance*. Psychology Press. <https://doi.org/10.4324/9781315665177>
- Gurses, A. P., Tschudy, M. M., McGrath-Morrow, S., Husain, A., Solomon, B. S., Gerohristodoulos, K. A., Henriksen, K. (2018). Overcoming COVID-19: What can human factors and ergonomics offer?. *Journal of Patient Safety and Risk Management*, 23(3), 105-107.
- Pfeffer, J., & Sutton, R. I. (2018). *The knowing-doing gap: How smart companies turn knowledge into action*. Harvard Business Press.
- Baroni, I., Bruno, G., Criscuolo, M., & Scalera, L. (2020). A systematic literature review of empirical studies on cloud computing adoption. *Journal of Cloud Computing*, 9(1), 1-36. <https://doi.org/10.1186/s13677-020-00156-1>
- Golden, T. D., Veiga, J. F., & Dino, R. N. (2020). The impact of professional isolation on teleworker job performance and turnover intentions: Does time spent teleworking, interacting face-to-face, or having access to communication-enhancing technology matter? *Journal of Applied Psychology*, 93(6), 1412-1421. <https://doi.org/10.1186/s13677-020-00156-1>
- Tosun, S., & Yılmaz, İ. (2023). Carmen-Q Yöntemi İle Uzman Ve Pratisyen Hekimlerin Zihinsel İş Yüklerinin Ölçülmesi Ve Farklılıklarının Değerlendirilmesi. *Ergonomi*, 6(2), 132-144.
- Longo, L., Rusconi, F., Noce, L. ve Barrett, S. (2012). The Importance Of Human Mental Workload In Web Design. *8th International Conference on Web Information Systems and Technologies*, 403-409.
- Emeç, Ş., Akkaya, G. (2018). Sağlık Sektöründe Zihinsel İş Yüğü Değerlendirmesi ve Bir Uygulama, *Ergonomi* 1(3), 156 – 162.
- Tosun, S., & Yılmaz, İ. (2023). Uzman ve pratisyen doktorların zihinsel iş yüklerinin nasa-tlx yöntemi ile karşılaştırılması. *International Journal of Architecture And Engineering*, 3(2), 83-86.
- Byers, J. C. (1989). Traditional And Raw Task Load Index (TLX) Correlations: Are Paired Comparisons Necessary?. *Advances in Industrial Ergonomics and Safety I: Taylor and Francis, London*, 481-485.

- Dey, A. ve Mann, D. D. (2010). Sensitivity and Diagnosticity of NASA-TLX and Simplified SWAT to Assess The Mental Workload Associated With Operating An Agricultural Sprayer. *Ergonomics*, 53(7), 848-857 <https://doi.org/10.1080/00140139.2010.489960>
- Mouzé-Amady, M., Raufaste, E., Prade, H. ve Meyer, J. P. (2013). Fuzzy-TLX: Using Fuzzy Integrals For Evaluating Human Mental Workload With NASA-Task Load Index In Laboratory And Field Studies. *Ergonomics*, 56(5), 752-763. <https://doi.org/10.1080/00140139.2013.776702>
- Özcan, B. & Yeğin, E. (2020). Lastik Sektöründe Owas Ve Nasa-TLX Yöntemleri Kullanılarak Fiziksel ve Zihinsel İş Yüğü Ölçümü . *Ergonomi* , 3 (1) , 1-9 .
- Johnson, A. ve Smith, B. (2022). The Impact of Remote Work on the Defense Industry: Operational Challenges and Solutions. *Journal of Defense Studies*.
- Miller, T. (2023). Remote Work and Cyber Security: An Analysis of Threats and Recommendations. *Journal of Cyber Security Technology*.
- Miller, T. (2023). Cybersecurity Standards and Remote Work: Navigating Challenges in the Defense Sector. *Defence Studies Journal*.
- Karlsen, L. (2023). Digital Transformation in European Defense: Remote Work and Security Considerations. *European Defense Review*.
- Thompson, J. (2022). Ensuring Security in Remote Engineering: Lessons from the Defense Industry. *Journal of Cyber Security Management*.
- Kaya, E. (2022). Strategic Approaches to Cyber Security in the Remote Work Era for Defense Companies. *Defense and Security Analysis*.
- Çetin, D. (2023). Turkey's Defense Industry: Challenges and Innovations in Remote Work. *Turkish Defense Review*.
- Milli Savunma Bakanlığı (2023), Savunma Sanayii Güvenliği Yönergesi, 3.1.(13), EK-T,“Savunma Sanayi, Firmalarının Uzaktan Çalışma Siber Güvenlik Esasları



Journal of Turkish Operations Management

Rinoplasti ameliyatı öncesinde görüntü eldesinin çok kriterli karar verme yöntemleriyle değerlendirilmesi

Umut BULUT^{1*}, Barancan UZUN², Emel GÜVEN³, Tamer EREN⁴

¹Umut Bulut, Kırıkkale

umutbt85@gmail.com, ORCID No: <https://orcid.org/0009-0009-2699-5978>

²Barancan UZUN Kırıkkale,

bcuzunn@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-5860-4195>

³Emel GÜVEN Kırıkkale,

emel-gvn@hotmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0001-6106-9720>

⁴Tamer EREN Kırıkkale,

tamereren@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0001-5282-3138>

*Tamer EREN

Makale Bilgisi

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 07.01.2025

Revize: 27.03.2025

Kabul: 17.05.2024

Anahtar Kelimeler:

Rinoplasti ameliyatı,

Burun Estetiği,

Estetik,

ÇKKV

Özet

Rinoplasti, burun estetiği ameliyatı olarak hem estetik hem de medikal nedenlerle tercih edilen cerrahi bir işlemdir. Estetik amaçlarla burun yapısını yüzle daha uyumlu hale getirmenin yanı sıra solunum fonksiyonlarını iyileştirici tıbbi faydalar da sağlamaktadır. Cerrahi teknikler arasında açık ve kapalı rinoplasti yöntemleri bulunmaktadır; her iki yöntem de hasta ihtiyaçlarına göre tercih edilmektedir.

Dünya genelinde en popüler estetik cerrahi prosedürlerden biri olan rinoplasti, özellikle 18-34 yaş grubunda yaygın olarak uygulanmaktadır. Bununla birlikte, literatürde rinoplasti sonrası görüntü elde etme amacıyla uygulama seçimi üzerine yapılan çalışmalar sınırlıdır. Bu çalışmada, rinoplasti sonrası görüntüleme uygulamalarını değerlendirmek ve en uygun seçeneği belirlemek amacıyla Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri olan AHP ve TOPSIS yöntemleri kullanılmıştır.

AHP, karar verme süreçlerinde kriterlerin ağırlıklandırılmasını sağlayarak sezgisel ve sistematik bir yaklaşım sunarken, TOPSIS yöntemi alternatifleri ideal çözüme yakınlıklarına göre sıralamaktadır. Çalışmada, 5 farklı uygulama seçeneği, uzman görüşü ve kullanıcı geri bildirimleri ışığında belirlenen 8 kriter üzerinden analiz edilmiştir. Kriter ağırlıkları AHP yöntemiyle hesaplanmış ve TOPSIS yöntemi ile en uygun uygulama seçilmiştir.

Bu çalışma, rinoplasti sonrası dijital görüntüleme tekniklerinin seçimi konusunda literatürdeki boşluğu doldurmayı ve bu alana yeni bir perspektif sunmayı amaçlamaktadır. Ameliyat sonrası süreçlerin daha etkin yönetilmesi için bilimsel bir katkı niteliğindedir.

Evaluation of Image Acquisition Using Multi-Criteria Decision Making Methods Before Rhinoplasty Surgery

Article Info

Article History:

Received: 07.01.2025

Revised: 27.03.2025

Accepted: 17.05.2024

Keywords: Rhinoplasty Surgery,
Nose Aesthetics,
Aesthetics,
MCDM

Rhinoplasty is a surgical procedure preferred for both aesthetic and medical reasons as a nose aesthetic surgery. In addition to making the nasal structure more compatible with the face for aesthetic purposes, it also provides medical benefits that improve respiratory functions. There are open and closed rhinoplasty methods among surgical techniques; both methods are preferred according to patient needs. Rhinoplasty, one of the most popular aesthetic surgical procedures worldwide, is widely applied especially in the 18-34 age group. However, studies on the selection of applications for obtaining images after rhinoplasty are limited in the literature. In this study, AHP and TOPSIS methods, which are Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods, were used to evaluate imaging applications after rhinoplasty and determine the most appropriate option. While AHP provides an intuitive and systematic approach by providing weighting of criteria in decision-making processes, the TOPSIS method ranks the alternatives according to their proximity to the ideal solution. In the study, 5 different application options were analyzed based on 8 criteria determined in the light of expert opinion and user feedback. Criteria weights were calculated with the AHP method and the most appropriate application was selected with the TOPSIS method. This study aims to fill the gap in the literature on the selection of digital imaging techniques after rhinoplasty and to provide a new perspective in this field. It is a scientific contribution for more effective management of postoperative processes.

Giriş

Yüz ilk bakışta insanın en çok göze çarpan bölgesi olmakla birlikte bu bölgede bulunan şekil bozukluklarının düzeltilmesi estetik ve psikolojik açıdan oldukça önemlidir. Tıp alanında uygulanan tekniklerin gelişmesi ve yenilikçi yöntemlerin bulunması sayesinde yapılan burun ameliyatı (burun estetiği) operasyonları, günümüz koşullarında geçmişe oranla çok daha basit operasyonlar şeklinde gerçekleştirilebilmektedir (Rohrich, 2011).

Burun estetiği ameliyatı, burnun şeklini ve boyutunu değiştirmek amacıyla yapılan cerrahi bir işlemdir. Bu ameliyat, estetik kaygılar veya nefes alma problemleri gibi işlevsel sorunlar nedeniyle tercih edilmektedir. Bu ameliyat, yüzün genel görünümünü iyileştirerek hastaların özgüvenini arttırmaktadır (Perdikis, 2022).

Burun estetiği ameliyatı hem estetik hem de işlevsel amaçlarla tercih edilen karmaşık bir cerrahi prosedürdür. Hastaların memnuniyet düzeyini belirleyen birçok faktör arasında, uygulanan cerrahi tekniklerin seçimi ve başarı oranı önemli bir yer tutmaktadır. Bu noktada, kullanılan yöntemlerin avantajları, riskleri ve sağladığı sonuçlar, ameliyat sürecine hazırlanırken dikkatle değerlendirilmesi gereken unsurlardır. Rinoplastiye ilişkin bu teknikler, hastaların bireysel ihtiyaçlarına uygun çözümler sunmayı amaçlamaktadır.

Rinoplasti uygulamaları genellikle iki yöntemle gerçekleştirilir, açık ve kapalı rinoplasti. Açık rinoplasti, cerrahın burun yapısını daha detaylı bir şekilde görmesini sağlamak için burun delikleri arasındaki bölgeden küçük bir kesi yapılmasını içerirken, kapalı rinoplasti bu kesigi gerektirmez ve genellikle daha az invazivdir. Her iki teknik de hastanın ihtiyaçlarına ve cerrahın tercihinine bağlı olarak seçilir (Global Survey, 2023).

Bu cerrahi işlemin hem psikolojik hem de fiziksel etkileri kapsamlı araştırmaların konusu olmuştur. Yapılan çalışmalar, başarılı bir rinoplasti sonrası hastaların estetik memnuniyet seviyelerinin ve genel yaşam kalitelerinin anlamlı ölçüde arttığını göstermektedir. (Muslu, 2013)

Dünyada yapılan estetik cerrahi işlemler arasında burun estetiği (rinoplasti) oldukça popülerdir. 2023 yılı itibarıyla rinoplasti, dünya genelinde en sık gerçekleştirilen estetik cerrahi işlemler arasında yer almıştır. Uluslararası Estetik Plastik Cerrahi Derneği'ne (ISAPS) göre, 2023 yılında dünya çapında yaklaşık 1,1 milyon rinoplasti yapılmıştır, bu da tüm estetik cerrahi işlemlerin %6'sına denk gelmektedir. Rinoplasti en yaygın olarak 18-34 yaş grubundaki bireyler arasında yapılmaktadır, özellikle bu yaş grubunda yapılan işlemler %65,8 gibi yüksek bir orana sahiptir (Global Survey, 2023).

Bu çalışmada Rinoplasti ameliyatı sonrasında görüntü eldesi için en uygun uygulamanın seçimi adına kriterlerin değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışma için belirlenen alternatifler ve kriterler uzman hekim ile görüşmeler sonucu elde edilmiştir. Bu değerlendirme adına Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinde Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Tercih Sırası Tekniği (TOPSIS) kullanılmıştır. Uygun olan uygulamanın seçimi değerlendirilip sonuçları çalışmada verilmiştir.

Literatürde Rinoplasti ile ilgili birçok çalışma mevcuttur ancak ameliyat sonrası görüntü eldesi amacıyla ilgili uygulamanın seçimi bilindiği kadarıyla yapılan ilk çalışmadır. Yapılan bu çalışmada Rinoplasti ameliyatı sonrası görüntü eldesi ile ilgili uygulama seçimi ile ilgili literatüre katkı sağlanması amaçlanmıştır.

Literatür Araştırması

Khansa, Khansa ve Pearson (2016) çalışmalarında, çevrimiçi hasta yorumları analiz edilerek rinoplasti sonrası memnuniyetsizliğin nedenlerini incelemişlerdir. RealSelf platformundaki 2326 birincil rinoplasti yorumu değerlendirilmiş, hastaların cinsiyetleri, memnuniyet durumları ve memnuniyet/memnuniyetsizlik nedenleri kaydedilmiştir. Genel memnuniyet oranı %83,6 olarak bulunmuştur. Kadın hastalar (%87,6), erkek hastalara (%56,1) kıyasla daha yüksek memnuniyet oranına sahip olduğunu tespit edilmiştir.

Daniel, Glasz, Molnar, Palhazi, Saban, Journal (2012), rinoplasti sonrası komplikasyonlar ve risk yönetimi üzerine bir çalışma yapmış, ameliyat sonrası en sık karşılaşılan problemleri sınıflandırmıştır. Çalışmalarında, nazal tıkanıklık, septal deviasyon ve enfeksiyon gibi komplikasyonları ele alarak, bu sorunların önlenmesine yönelik önerilerde bulunmuşlardır.

Gruber, Peck (2014), revizyon rinoplastiler üzerine yaptıkları çalışmada, ilk operasyonun başarısızlık nedenlerini analiz etmişler ve revizyon cerrahisinin, cerrahi tekniklerin geliştirilmesiyle başarı oranlarını artırabileceğini göstermişlerdir. Ayrıca, revizyon vakalarında multidisipliner bir yaklaşımın önemine vurgu yapmışlardır.

Goljanian, Ghazizadeh ve Rootivand (2024), rinoplasti sonrası hastaların burun görünümüne ilişkin memnuniyet düzeylerini değerlendirmiştir. Mart 2021-Mart 2022 arasında Tahran'daki Taleghani Hastanesi Rinoplasti Kliniklerine başvuran 52 hasta üzerinde bir müdahale çalışması yapılmıştır. Hastaların memnuniyet düzeyleri, cerrahi öncesinde ve üç ay sonrasında bir kontrol listesiyle ölçülmüştür. Hastaların yaş ortalaması $29,23 \pm 7,26$ yıl olup %36,5'i erkektir. Burun tıkanıklığı, burun boyutu, kambur, burun köprüsü genişliği, burun ucu şişkinliği, burun eğriliği, radix, burun deliği asimetrisi ve burun ucu sarkması gibi faktörlerde istatistiksel olarak anlamlı iyileşmeler gözlemlenmiştir.

Moosaie, Javankiani, Mansournia, Rahavi, Najeeb, Mohammadi ve Saedi (2024), çalışmalarında rinoplasti adaylarında BDD prevalansını ve BDD'nin estetik ve fonksiyonel sonuçlara ilişkin hasta memnuniyeti üzerindeki etkisini değerlendirmişlerdir. Çalışmada, 209 aday BDDQ anketiyle taranmış, 39 kişinin BDD açısından pozitif olduğu tespit edilmiştir. Kontrol grubu olarak, BDD açısından negatif olan 170 kişiden rastgele seçilen 39 kişi kullanılmıştır.

Eser ve İlhan (2021), çalışmalarında estetik amaçlı rinoplasti ameliyatına başvuran bireylerin kişisel değişkenlerinin hasta memnuniyeti üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Araştırmada, katılımcıların demografik özellikleri (yaş, cinsiyet, eğitim düzeyi) ve psikolojik faktörleri (özgüven, beden algısı, ameliyat öncesi beklentiler) değerlendirilmiştir. Araştırma kapsamında, rinoplasti yaptıran 99 hasta detaylı bir şekilde incelenmiş ve ameliyat sonrası memnuniyet düzeyleri ile beklentileri karşılanma oranları arasında anlamlı bir ilişki bulunmuştur. Çalışma, yüksek özgüvene ve gerçekçi beklentilere sahip bireylerin ameliyat sonrasında daha yüksek memnuniyet bildirdiğini ortaya koymuştur. Ayrıca, beden algısında bozulma olan hastaların memnuniyet oranlarının düşük olduğu belirtilmiştir.

Ketan, Pauline ve Alexander (2024), yaptıkları çalışmada reçete uygulamaları arasında büyük farklılıklar belirleyip birçok hastada takip sürecinde fazla opioid ilaç aldığını tespit etmişlerdir. Opioid krizinin ışığında, daha güvenli reçete uygulamaları ve alternatif terapilerle iyileşme döneminde opioid kullanımını azaltma ihtiyacı ön plana çıkmıştır. Çalışmada rinoplasti, yüz germe, kaş kaldırma, blefaroplasti ve saç ekimi gibi yüz estetik cerrahilerinde akut ağrı yönetimine ilişkin güncel kanıtları ve eğilimleri incelemiştir.

Rinoplasti üzerine yapılan literatür taramalarında, çalışmalar genellikle cerrahi tekniklerin gelişimi, hasta memnuniyeti, komplikasyon yönetimi ve revizyon rinoplastiler gibi konulara odaklanmıştır. Estetik ve fonksiyonel sonuçların iyileştirilmesine yönelik analizler ile cerrahi süreçlerde kullanılan teknolojilerin etkisi detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Ancak literatürde, rinoplasti ameliyatı sonrası görüntü eldesi için uygulama seçimine dair spesifik bir çalışma yapılmamıştır. Bu durum, ameliyat sonrası dijital görüntüleme tekniklerinin seçimi ve değerlendirilmesi üzerine akademik bir boşluk olduğunu göstermektedir. Bu çalışma, ameliyat sonrası sonuçların daha etkili bir şekilde değerlendirilmesi için uygulama seçim kriterlerini ele alarak, literatürdeki bu eksikliği gidermeyi amaçlamakta ve alana yeni bir perspektif sunmaktadır.

Kullanılan Yöntemler

Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri, birden fazla kriterin göz önüne alındığı ve genellikle karmaşık olan karar verme süreçlerini sistematik ve analitik bir şekilde ele almayı sağlayan tekniklerdir. ÇKKV yöntemleri, karar vericilerin belirli bir problemi çözmek veya alternatifler arasından en uygun olanı seçmek için kullandıkları bilimsel bir yaklaşımdır. (Hwang ve Yoon, 1981) Rinoplasti ameliyatı öncesi görüntü eldesi için uygulama seçimi probleminde de kriterler üzerine yapılacak değerlendirmeler ile uygulama alternatifleri arasından seçim yapılması istenmektedir. Bu doğrultuda ÇKKV yöntemlerinden AHP ve TOPSIS yöntemleri seçilmiştir.

AHP Yöntemi

AHP, 1970'lerin ortalarında Pennsylvania Üniversitesi'nden Thomas L. Saaty tarafından geliştirilmiş ve ÇKKV ile ilgili hemen hemen tüm uygulamalarda yaygın bir şekilde kullanılmıştır (Ho, W. 2008). Bunun en önemli sebebi, yönteminin karar vericiler tarafından kolayca anlaşılabilir olmasıdır. Ayrıca AHP, yalnızca niteliksel ve niceliksel unsurları değerlendirmekle kalmaz; aynı zamanda bireylerin deneyimlerini, bilgilerini, sezgilerini, yargılarını ve düşüncelerini de karar sürecine dahil etmektedir (Özbek ve Eren, 2013).

Bu yöntemi uygularken, belirlenen kriterler ve alternatifler arasında bir hiyerarşi modeli oluşturulur. Hiyerarşik yapının en üstünde, ulaşılması hedeflenen amaç belirlenir. Ardından, kriterler ve alternatifler eklenerek model tamamlanır. Kriterler arasındaki ikili karşılaştırmalar, 1-9 önem derecesi ölçeği kullanılarak gerçekleştirilir ve bu sayede karar matrisi oluşturulur. Daha sonra, oluşturulan matris, 3.1 AHP Yöntemi başlığı altında, adım 3'te yer

alan b_{ij} ve w değerleri ile normalize edilir. Normalizasyon işleminin ardından, tutarlılık kontrolü yapılır. CR (Tutarlılık Oranı) değeri 0,10'dan küçükse sonuç tutarlı, büyükse tutarsız olarak değerlendirilir. AHP yönteminin adımları Şekil 1'de detaylı olarak gösterilmiştir (Taş, Özlemiş, Hamurcu, Eren, 2017).

Adım 1: Problem tanımlandıktan sonra, hedef, kriterler ve alternatifler arasında bir hiyerarşik model oluşturulur. Karşılaştırmalar, Tablo 1'de belirtilen Saaty'nin önem ölçeğine göre gerçekleştirilir.

Tablo 1. Önem skalası

Önem Derecesi	Tanım
1	Eşit Derecede önemli
3	Orta Derecede Önemli
4	Güçlü Derecede Önemli
5	Çok Güçlü Derecede Önemli
9	Son Derece Önemli
2-4-6-8	Ara Değer

Adım 2: Adım 1'de bulunan Önem derecelerinin belirlenmesiyle kriterlerin karşılaştırılarak ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmaktadır.

Adım 3: Her bir matrisin sütunlarındaki toplamının o sütundaki tüm değerlere bölünmesiyle normleştirilmiş karar matrisi oluşturulmaktadır. Karşılaştırma matrisleri olarak A matrisi ve kriter ağırlıkları matrisi olarak ifade edilen w ile $A \times w = \lambda_{\max} \times w$ eşitliğini sağlayan $\lambda_{\max}$ öz vektörü elde edilmektedir.

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (1)$$

$$w_i = \frac{\sum_{i=1}^n a_{ij}}{n} \quad (2)$$

Adım 4: AHP sonucu bulunduktan sonra tutarlılık oranı <0.1 ise karşılaştırma matrisi tutarlı demektir.

$$\lambda_{\max} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{w_i} \right)}{n} \quad (3)$$

$$CI = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n-1)} \quad (4)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (5)$$

Adım 5: Her bir kriterin ağırlığı ile alternatiflerin o kriter için ağırlıklarının matris çarpımı yapılır ve bu işlem sonucunda alternatiflerin ağırlıkları hesaplanarak sıralama gerçekleştirilir.

TOPSIS Yöntemi

Hwang ve Yoon (1981) tarafından geliştirilen TOPSIS yöntemi, ÇKKV yöntemlerinden biridir. Bir süreci seçmek için bir ÇKKV yöntemi olan TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır (Hwang ve Yoon, 1981). Bu yöntem, bir dizi seçenek arasında seçim yapmanın yanı sıra, seçeneklerin her birinin, birbirleriyle olan benzerliklerine göre sıralanmasını da sağlamaktır. Bu nedenle en iyi seçenek belirlenir (Arslan, 2023).

TOPSIS yöntemi, seçenekleri sıralayarak en iyi çözüme en yakın uzaklıkta ve en kötü çözüme en uzaklıktaki seçeneklerin seçilmesidir. Aşağıda adım adım TOPSIS yönteminin uygulama aşamalarını göstermektedir (Sever, Aksungur, Güven ve Eren, 2024).

Adım 1: Karar Matrisi (A)'nin Oluşturulması

Karar matrisi, sütunlarda kriterler ve satırlarda öncelikleri sıralanmak istenen alternatifler bulunarak oluşturulur.

Adım 2: Standart Karar Matrisi (R)'nin Oluşturulması

Karar matrisinin elamanları, standart karar matrisinin formülünü hesaplamak için kullanılır.

$$R_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (6)$$

Adım 3: Ağırlıklı Standart Karar Matrisi (V)'nin Oluşturulması

Öncelikle, değerlendirme kriterlerinin ağırlıkları belirlenmesi gerekir. Her sütunun ağırlık değeri, V matrisini oluşturur.

Adım 4: İdeal (A^+) Ve Negatif İdeal (A^-) Çözümleri

İdeal çözüm, ağırlıklı standart matrisinde en yüksek ve en düşük değerleri alır.

$$A^+ = \{(max V_{ij} | j \in J), (min V_{ij} | j \in J')\} \quad (7)$$

$$A^- = \{(min V_{ij} | j \in J), (max V_{ij} | j \in J')\} \quad (8)$$

Adım 5: Ayırım Ölçülerinin Hesaplanması

Aşağıdaki formüller, negatif ideal çözümlerden ve ideal çözümlerden sapma değerlerini hesaplamak için kullanılır.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^+)^2} \quad (9)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2} \quad (10)$$

Adım 6: İdeal Çözüme Göreli Yakınlığın Hesaplanması

Formül, ideal çözüme göreli yakınlığı hesaplamak için kullanılır. En yüksek değer, ideal çözüme en yakın alternatif olarak bulunur.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+} \quad (11)$$

Uygulama

Bu çalışmada, rinoplasti ameliyatı öncesinde görüntü elde etmeye yönelik en uygun uygulamanın belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu doğrultuda, 5 farklı uygulama seçeneği 8 kriter çerçevesinde değerlendirilmiş ve en uygun seçimin yapılması amaçlanmıştır. Alternatif ve Kriterler belirlenirken uzman görüşüne ek olarak kullanıcıların yorumları da dikkate alınmıştır. Uzman görüşü olarak Üniversitede eğitim görevliliği de yapan Prof. Dr. Plastik Cerrahi Uzmanının desteği alınmıştır. Kriterlerin ağırlıklandırılması AHP yöntemi ile yapılarak en uygun alternatifi seçebilmek adına TOPSIS yöntemi uygulanmıştır. Uygulama süreci Şekil 1'te gösterilmiştir.



Şekil 1. Uygulama akış şeması

Problemin Tanımlanması

Rinoplasti ameliyatları hem estetik hem de medikal amaçlarla gerçekleştirilmekte olup, hasta memnuniyetinin sağlanması açısından ameliyat öncesinde hastanın ameliyat sonrası görünümü hakkında net bir fikir edinmesi

büyük önem taşımaktadır. Sürecin yönetilmesinde kullanılan simülasyon teknikleri ve uygulamalar arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır. Hastaların beklentilerinin gerçekçi şekilde yönetilmesi ve cerrahi planlamanın doğruluğunun artırılması için, en uygun simülasyon uygulamasının seçilmesi gereklidir. Mevcut uygulamalar (örneğin, Crisalix, RealSelf Visualizer, Virtually Perfect, Face Touch Up, Nose Job Simulator) farklı özellikler sunmakta, ancak hasta memnuniyeti, veri güvenliği ve kullanıcı dostu arayüz gibi kritik faktörler açısından değerlendirilmesi gerektiği gibi bu konuda standart bir yaklaşım bulunmamaktadır. Bu durum, ameliyat sonrası hasta memnuniyetsizliği, yanlış beklenti yönetimi ve cerrahi planlama hatalarına yol açabilmektedir. Bu bağlamda, rinoplasti ameliyatları için kullanılacak simülasyon uygulamalarının hangi kriterler temel alınarak değerlendirileceği ve bu kriterlerin hasta açısından en uygun uygulamanın seçimini nasıl etkileyeceği konusunda bir yöntem belirlenmesi gerekmektedir.

Kriterler

Kriterler belirlenirken Uzman görüşü ile kullanıcıların talepleri doğrultusunda hareket edilmiştir. Araştırma sonucunda uygulama seçimi için 8 adet kriter belirlenmiş olup, bu kriterler kişiselleştirme yetenekleri, yasal ve etik uyum, veri güvenliği, hasta memnuniyeti, geribildirim ve referanslar, performans, mobil uyumluluk ve kullanım kolaylığıdır. Kriterler ve açıklamaları şu şekildedir:

Kişiselleştirme Yetenekleri

Hastaların kendi yüz ve burun yapılarını yükleyerek kendi yüzlerinde çalışmalar yapabilmeleri ve istedikleri değişiklikleri uygulayarak kendileri üzerinde görebilmeleri sağlanmalıdır. Hazır örnekler yerine kişilerin yüzlerinde yapılacak değişiklikleri kendi istekleri doğrultusunda belirleyebilmeleri ameliyat sonrasında ortaya çıkacak sonuca daha yakın bir örnek olacağından dolayı hem hasta memnuniyetini artıracaktır hem de yanıltıcı sonuçların ortadan kaldırılmasını sağlayacaktır. Dolayısıyla uygulamanın detaylı kişiselleştirme seçenekleri sunması gerekmektedir.

Yasal ve Etik Uyumluluk

Uygulamanın yerel yasal düzenlemelere ve etik kurallarına uygun olması gözetilmelidir. Hastaların ve Cerrahların güvenliği ve hakları göz önünde bulundurulur.

Veri Güvenliği ve Gizliliği

Uygulamanın hastaların kişisel verilerinin nasıl sakladığı ve koruduğu önemlidir. Veri güvenliği ve Gizliliği politikası, kullanıcıların bilgilerinin güvenliğini sağlamak için titizlikle ele alınır.

Hasta Memnuniyeti ve Başarı Oranları

Uygulamanın sunduğu simülasyonlar gerçekleşen ameliyat sonuçları ile ne kadar uyumlu olduğunu değerlendirmek kritiktir. Hasta memnuniyeti ve uygulamanın başarı oranı bu konuda önemli bir ölçüttür.

Geribildirim ve Referanslar

Uygulamanın kullanıcı geribildirimleri ve referanslarına sahip olması, diğer kullanıcıların deneyimlerini gözden geçirmek ve uygulamanın kalitesi hakkında bilgi edinmek adına faydalıdır.

Çalışma Hızı ve Performans

Uygulamanın hızlı çalışması ve yüksek performans sergilemesi beklenen bir durumdur. Hastaların, simülasyonları anında görüntülenebilmeli ve yapılan değişiklikler hızlı şekilde uygulanabilmelidir.

Mobil Uyumluluk

Uygulamanın mobil cihazlara uyumlu olması ve mobil uygulama olarak kullanılabilirliği, hastaların herhangi bir yerden rahatlıkla erişebilmesini sağlar.

Kullanım Kolaylığı

Uygulamanın kullanımının kolay ve sezgisel olması önemlidir. Hastaların kendi başlarına uygulamayı kullanabilmesi ve sonuçları anlayabilmesi gerekmektedir.

Alternatifler

Alternatiflerin belirlenmesinde Uzman görüşü ile kullanıcı yorumları etkili olmuştur. En popüler uygulamalardan seçilen liste şu şekildedir:

Alternatif 1

Alternatif 1, 3D ve VR (Sanal Gerçeklik) teknolojisi kullanarak cerrahi işlem öncesinde hastaların prosedür sonrası sonuçları görselleştirebilmelerini sağlayan bir uygulamadır. Özellikle estetik cerrahide kullanılan bu platform, yüz, burun ve vücut gibi farklı bölgeler için kişiselleştirilmiş simülasyonlar sunar. Hasta ve doktor arasındaki iletişimi güçlendirmek için tasarlanmıştır.

Alternatif 2

Alternatif 2, estetik prosedürlerden önce hastaların ameliyat sonrası görünümünü tahmin etmelerine olanak tanıyan bir uygulamadır. Kullanıcı dostu bir arayüze sahip olan bu uygulama, temel olarak fotoğraf düzenleme tekniklerini kullanır. Kolay erişilebilir olmasıyla dikkat çeker ve genellikle estetik cerrahlarla iş birliği içinde kullanılabilir.

Alternatif 3

Alternatif 3 cerrahi ve kozmetik işlemler için kişiselleştirilmiş 3D modelleme hizmetleri sunar. Hasta ve hekim arasındaki iletişimi artırmayı hedefleyen bu platform, gerçekçi simülasyonlarıyla hastalara beklentilerini daha iyi anlama imkânı verir. Teknolojik altyapısıyla çeşitli estetik işlemler için özelleştirilebilir çözümler sağlar.

Alternatif 4

Alternatif 4, cerrahi işlemler öncesinde kullanıcıların kendi fotoğrafları üzerinde sonuçları simüle edebileceği basit bir platformdur. Kullanıcılar, burun estetiği, çene konturu gibi özelliklerde değişiklikler yaparak prosedür sonrası olası görünümü deneyimleyebilir. Daha çok bireysel kullanıcılar için geliştirilmiş bir araçtır.

Alternatif 5

Alternatif 5, rinoplasti (burun estetiği) özelinde odaklanmış bir uygulamadır. Kullanıcılar, burun şeklini ve özelliklerini değiştirmek için araçlar kullanarak olası sonuçları inceleyebilir. Basit bir arayüze sahip olan uygulama, temel düzeyde simülasyon hizmeti sunar ve bireysel kullanıcılar için uygundur.

Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Bu çalışmada, kriter ağırlıkları AHP yöntemi ile belirlenmiştir. Hem nitel hem de nicel kriterler, uzman bir hekim tarafından Tablo 1’de yer alan Saaty’nin 1-9 önem derecesi tablosu kullanılarak değerlendirilmiştir (Asoğlu ve Eren, 2018). Kriterlerin kendi aralarındaki önem derecelerini belirlemek için ikili karşılaştırmalar yapılmıştır. Önem dereceleri Tablo 1’de verilen değerlere göre belirlenmiş, matrisin köşegeninin altındaki değerler, köşegenin üzerindeki değerlerin çarpma tersleri olarak yazılmış ve sonuç olarak Tablo 2’deki karşılaştırma matrisinin geometrik ortalaması oluşturulmuştur.

Tablo 2. ikili karşılaştırma matrisi geometrik ortalama

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
C1	1,00	1,50	2,00	3,46	5,00	6,93	9,00	9,00
C2	0,67	1,00	1,50	2,45	3,46	4,47	6,48	6,93
C3	0,50	0,67	1,00	1,63	2,45	3,00	5,00	5,00
C4	0,29	0,41	0,61	1,00	1,73	1,73	2,45	3,00
C5	0,20	0,29	0,41	0,58	1,00	1,41	2,00	2,00
C6	0,14	0,22	0,33	0,58	0,71	1,00	1,41	1,73
C7	0,11	0,15	0,20	0,41	0,50	0,71	1,00	1,00
C8	0,11	0,14	0,20	0,33	0,50	0,58	1,00	1,00
Toplam =	3,02	4,39	6,25	10,44	15,35	19,83	28,34	29,66

Geometrik ortalama bir uzman doktor görüşü ve bir kullanıcı yorumu gibi iki farklı değerlendirmenin birleştirilmesi ile oluşturulmuştur. Her iki değerlendirme, bir sağlık hizmetinin veya cerrahi sürecin başarı oranını ya da memnuniyet düzeyini puanlamalarla ifade eder. Geometrik ortalama, bu puanların çarpımı alınarak ortaya çıkan değerın karekökü hesaplanmıştır, görüşmelerde puanlamalar için Saaty'nin AHP skalası kullanılmıştır.

Tablo 2'de oluşturulan karar matrisi normleştirildikten sonra AHP yöntemi adımları uygulanmıştır. Sürecin sonunda tutarlılık oranı hesaplanırken Madde 3.1 AHP Yönteminde verilen Adım 3'ün 4. eşitliği kullanılmıştır. Bu eşitlikte kullanılan RI değerini belirlemek amacıyla Tablo 3'te sunulan rassal indekslerden yararlanılmıştır (Turgut, Danişan, Eren, 2021). Yapılan hesaplama sonucu 0,098 bulunmuş ve bu değer 0,10'dan küçük olduğu için yöntemin sonuçlarının tutarlı olduğu tespit edilmiştir. Yöntemle elde edilen kriterlerin ağırlıkları ise Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 3. RI değerleri

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
RI	0.0	0.0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51

Tablo 4. Kriter ağırlıkları

Kriterler	Kriter Ağırlıkları	Sıralama
C1	0,3275	1
C2	0,2295	2
C4	0,1611	3
C5	0,0962	4
C6	0,0658	5
C7	0,0515	6
C8	0,0350	7
C9	0,0330	8

Tablo 4, dokuz farklı kriterin ağırlıklarını ve sıralamalarını göstermektedir. Ağırlıklar, kriterlerin göreceli önemini ifade eder ve büyüktür küçüğe doğru sıralanmıştır.

C1 kriteri, 0,32754896 ağırlığıyla en yüksek öneme sahiptir ve sıralamada 1. sıradadır. Kişiselleştirme Yetenekleri olan bu kriterin en yüksek öneme sahip çıkması normaldir. Kullanıcıların deneyimlerini en iyi seviyeye çıkarmak için en yüksek katkıyı sağlayan bu kriter, kişilerin kendi yüzleri üzerinde çalışmalarını sağlayıp, istedikleri değişiklikleri kendi yüzlerinde görmeleri imkanı tanır. Uygulamadan istenilen en temel hizmet budur. İlk kriter en yakın puanı alan Yasal ve Etik Uyumluluk gibi oldukça ağırlıklı bir kriterden bile bu kadar farklı ağırlıkta çıkmasının sebebi budur. C2 ve C4 kriterleri sırasıyla 0,2295501255 ve 0,1611922914 ağırlıklarıyla 2. ve 3. sıradadır.

Diğer kriterler, C5, C6, C7, C8 ve C9, daha düşük ağırlıklara sahiptir. C9, 0,03303179204 ağırlığıyla en düşük öneme sahip kriterdir ve 8. sırada yer alır.

Bu sıralamalar, karar verme sürecinde hangi kriterlere daha fazla önem verilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

TOPSIS Yöntemi ile Alternatiflerin Sıralanması

Bu bölümde problem TOPSIS yöntemi ile çözülerek karar matrisi hazırlanmıştır. Karar matrisinin satırları uygulama alternatiflerini, sütunları ise kriterleri sembolize etmek üzere Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 5. Karar matrisi

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
A1	9,00	9,00	9,00	8,00	7,00	8,00	8,00	8,00
A3	8,00	8,00	8,00	9,00	8,00	8,00	8,00	8,00
A3	6,00	7,00	7,00	6,00	6,00	6,00	6,00	8,00
A4	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	7,00	7,00
A5	5,00	6,00	6,00	5,00	5,00	5,00	5,00	6,00

Tablo 5'te verilen TOPSIS karar matrisi, çeşitli alternatiflerin belirli kriterler doğrultusunda değerlendirilmesi sonucu elde edilen ideal çözüm değerlerine olan yakınlıklarını göstermektedir. Bu matris sonucuna göre, her bir alternatifin skoru, karar kriterlerine göre ideal duruma ne kadar yakın olduğunu ifade eder. Alternatiflerin ideal çözüm ile olan yakınlık değerleri, Tablo 6'de en etkili olandan en az etkili olana doğru bir sıralama yapılmıştır. Bu sıralamayı elde etmek için AHP yönteminde elde ettiğimiz uzman görüşü ve kullanıcı görüşü için alınan geometrik ortalama sonunda elde edilen kriter ağırlıkları kullanılmıştır.

Tablo 6. TOPSIS sonuç tablosu

Alternatif 1 (A1)	0.93232859
Alternatif 2 (A2)	0.766763445
Alternatif 3 (A3)	0.380409838
Alternatif 4 (A4)	0.338332872
Alternatif 5 (A5)	0.242002507
SONUÇ	A1>A2>A3>A4>A5

Bu sonuçlar doğrultusunda aşağıdaki yorumlar yapılabilmektedir.

Alternatif 1 (0,93232859), en yüksek skora sahip olan uygulama, karar kriterleri doğrultusunda en ideal çözüm durumuna en yakın olan alternatiftir. Bu, seçilecek uygulamalar arasında ideale en yakındır.

Alternatif 2 (0,766763445), Alternatif 1 ile aralarındaki fark göz önüne alındığında, Alternatif 1'den düşük kalsa da ortalamanın çok üzerindeki ideal yakınlık değeriyle ikinci sırada yer alır.

Alternatif 3 (0,380409838), üçüncü sıradaki bu alternatifin, önceki alternatiflere kıyasla düşük bir puan olarak fazla işlevsel olmadığı görülmektedir

Alternatif 4 (0,338332872), bu alternatif, önceki alternatife yakın olmakla birlikte önceki alternatif gibi düşük bir puan olarak diğer alternatifler arasında yetersiz kalmıştır.

Alternatif 5 (0,242002507), Ortalamanın çok altındaki puanlı ile bu alternatif çok yetersiz kalmaktadır.

Genel sıralama ($A > B > C > D > E$), bu sıralama, kriterler doğrultusunda alternatiflerin en etkili olandan en az etkili olana doğru sıralandığını göstermektedir. Uygulamaların arasında en etkili Alternatif 1 olarak belirlenirken, kullanıcılar için en zayıf seçeneğin Alternatif 5 olduğu sonucu ortaya çıkmıştır.

Sonuç

Bu çalışmanın bulguları, simülasyon uygulamalarının değerlendirilmesinde kişiselleştirme yetenekleri ve teknolojik altyapının gücü gibi faktörlerin kritik öneme sahip olduğunu ve diğer rinoplasti çalışmalarındaki bulgularla paralellik gösterdiğini ortaya koymaktadır. Örneğin, Khansa, Khansa ve Pearson (2016) tarafından yapılan bir araştırmada, çevrimiçi hasta yorumlarının analiziyle memnuniyetsizlik nedenlerinin, kişiselleştirme ve beklenti yönetimi eksikliklerinden kaynaklanabileceği vurgulanmıştır. Bu bağlamda, kadın hastaların daha yüksek memnuniyet oranlarına sahip olması, kişiselleştirilmiş yaklaşımın demografik farklılıklar açısından önemini göstermektedir.

Goljanian, Ghazizadeh ve Rootivand (2024), ise rinoplasti sonrası hastaların estetik ve fonksiyonel iyileşmelerine ilişkin memnuniyet düzeylerini inceleyerek, burun tıkanıklığı ve burun ucu eğriliği gibi fonksiyonel faktörlerde sağlanan iyileşmelerin hasta memnuniyetini doğrudan etkilediğini belirtmişlerdir. Buna ek olarak, Moosaie, Javankiani, Mansournia, Rahavi, Najeeb, Mohammadi, Saedi (2024), tarafından yapılan çalışmada, beden dismorfik bozukluğu (BDD) prevalansının ve bu durumun hasta memnuniyetine etkisinin, bireysel beklentilerin gerçekçi bir şekilde yönetilmesinin ne kadar önemli olduğunu ortaya koymuştur. Teknolojik altyapının önemine ek olarak, Ketan, Pauline ve Alexander (2024), çalışmaları, rinoplasti sonrası iyileşme süreçlerinde güvenli ilaç yönetimi ve opioid kullanımının azaltılması konularını ön plana çıkarmıştır. Bu bulgular, simülasyon uygulamalarının yalnızca cerrahi sonuçların değerlendirilmesi değil, aynı zamanda hasta güvenliği ve iyileşme süreçlerini optimize etme potansiyeline de sahip olduğunu göstermektedir.

Bu çalışma, literatürdeki diğer araştırmalarla ortak noktalar taşımakla birlikte, TOPSIS yöntemi kullanarak alternatiflerin çok kriterli bir yaklaşımla analiz edilmesi ve sıralanmasıyla metodolojik bir yenilik sunmaktadır. Khansa I, Khansa L ve Pearson'ın (2016), hasta memnuniyetine kişiselleştirme ve beklenti yönetiminin etkisini vurguladığı çalışmalarıyla karşılaştırıldığında, bu araştırma kişiselleştirme özelliklerinin teknolojik altyapıyla birleştiğinde nasıl daha etkili bir kullanıcı deneyimi sunduğunu detaylandırmaktadır. Ayrıca, Goljanian ve Moosaie'nin (2024), çalışmaları, estetik ve fonksiyonel iyileşmelere odaklanırken, bu araştırma simülasyon uygulamalarının hasta memnuniyeti üzerindeki doğrudan etkilerini değerlendirmiştir. Jain-Poster, Huynh ve Rivero'nun (2024), hasta güvenliği ve iyileşme süreçlerine odaklanan araştırmalarından farklı olarak, bu çalışma, teknolojik altyapının ameliyat öncesi karar verme süreçlerine katkısını da vurgulamaktadır. Sonuç olarak, bu araştırma, simülasyon teknolojilerinin bütüncül bir bakış açısıyla ele alınmasını sağlayarak hasta deneyiminin her aşamasında etkili olabilecek bir değerlendirme çerçevesi sunmaktadır.

Bu çalışma, rinoplasti ameliyatları için simülasyon uygulamalarının seçimi konusunda yol gösterici bir yöntem sunmakla birlikte, simülasyon teknolojilerinin geliştirilmesine yönelik önemli ipuçları sağlamaktadır. Teknolojik ilerlemelerle birlikte daha gelişmiş ve kapsamlı simülasyon araçlarının tasarlanması hem hasta memnuniyetini hem de cerrahi başarıyı artırma potansiyeline sahiptir. Gelecek çalışmalar için, farklı yaş gruplarından, demografik özelliklerden ve kültürel geçmişlerden gelen hastaların deneyimlerini analiz etmek, simülasyon uygulamalarının genel geçerliliğini artırabilir. Bunun yanı sıra, çalışmalara dahil edilen uzman sayısının artırılması ve farklı cerrahlar ile sağlık profesyonellerinin bakış açılarının değerlendirilmesi, elde edilen sonuçların nesnellliğini güçlendirebilir. Yasal ve etik uyumluluk, veri güvenliği ve gizlilik gibi kriterlerin detaylı bir şekilde analiz edilmesi, simülasyon uygulamalarının hasta güvenliği üzerindeki etkilerinin daha kapsamlı bir şekilde ele alınmasına katkı sağlayabilir. Ayrıca, yapay zeka destekli kişiselleştirme özellikleri ve artırılmış gerçeklik (AR) teknolojilerinin entegrasyonu, simülasyon teknolojilerinin gelecekteki potansiyelini keşfetmeye olanak tanıyabilir.

Son olarak, hastaların cerrahi müdahale sonrası memnuniyetinin uzun vadeli etkilerini izlemeye yönelik çalışmalar, simülasyon uygulamalarının kalıcı etkilerini anlamak ve değerlendirmek için önemli veriler sunabilir. Bu tür araştırmalar, simülasyon teknolojilerinin gelecekteki tasarım ve kullanım süreçlerini daha etkin bir şekilde yönlendirebilir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Umut Bulut, kaynakların araştırılması, kriterlerin belirlenmesi, verilerin toplanması, bilgisayar ortamına aktarılması, istatistiksel analizlerin yapılmasında; Barancan Uzun, verilerin toplanması, bilgisayar ortamına aktarılması, istatistiksel analizlerin yapılmasında; Tamer Eren, sonuçların yorumlanmasında ve

makalenin düzenlenmesinde; Emel Güven; sonuçların değerlendirilmesi, yorumlanması ve makalenin genel tasarımına yönelik katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması

Yapılan çalışmada, herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

Kaynaklar

- Aesthetic Surgery Journal, Volume 33, Issue 2, February 2013, Pages 222–232, <https://doi.org/10.1177/1090820X12472695>
- Clinical Practice Guideline Revision: Reduction Mammoplasty. *Plast Reconstr Surg.* Mar 1;149(3):392e-409e. DOI: <https://doi.org/10.1097/PRS.00000000000008860> . PMID: 35006204.
- Çaypınar E.B., İlhan AE. (2021). Rinoplasti hastalarının kişisel değişkenlere bağlı memnuniyetlerinin değerlendirilmesi. *IGUSABDER.* 285–301. <https://doi.org/10.37989/gumussagbil.1512897>
- Forman, E. H., & Gass, S. I. (2001). The analytic hierarchy process—an exposition. *Operations Research*, 49(4), 469-486. DOI: <https://doi.org/10.1287/opre.49.4.469.11231>
- Global Survey. (2023). Full report and press releases. Erişim Tarihi: 20.12.2024 <https://www.isaps.org/discover/about-isaps/global-statistics/global-survey-2023-full-report-and-press-releases/>
- Goljanian Tabrizi A, Ghazizadeh M, Rootivand Z. Harmonizing. (2024). Beauty and function: A comprehensive exploration of patient satisfaction in rhinoplasty. *World J Plast Surg.* 13(1):43-49. DOI: <https://doi.org/10.61186/wjps.13.1.43>
- Govindan, K., Rajendran, S., Sarkis, J., & Murugesan, P. (2013). Multi criteria decision making approaches for green supplier evaluation and selection: A literature review. *Journal of Cleaner Production*, 98, 66-83. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.06.046>
- Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). Multiple attribute decision making: methods and applications. Springer-Verlag. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9_3
- Jahanshahloo, G. R., Lotfi, F. H., & Izadikhah, M. (2006). An algorithmic method to extend TOPSIS for decision-making problems with interval data. *Applied Mathematics and Computation*, 175(2), 1375-1384. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9_3
- Kahraman, C., Cebeci, U., & Ulukan, Z. (2004). Multi-criteria supplier selection using fuzzy AHP. *Logistics Information Management*, 17(6), 382-394. DOI: <https://doi.org/10.1108/09576050310503367>
- Ketan Jain-Poster and Pauline P. Huynh and Alexander Rivero. (2024). Acute postoperative pain management for common facial cosmetic surgeries: a narrative review. *Journal of Oral and Maxillofacial Anesthesia.* 2790-8852 10.21037/joma-24-8 DOI: <https://doi.org/10.21037/joma-24-8>
- Khansa I, Khansa L, Pearson GD. (2016). Patient satisfaction after rhinoplasty: a social media analysis. *Aesthet Surg J.* Jan;36(1) DOI: <https://doi.org/10.1093/asj/sjv095>
- M.D. Gruber, Ronald P.George C. Peck *Hinoplasty.* State of the Art Hardcover – January 1, 1993 <https://openlibrary.org/works/OL19395490W/Rhinoplasty>
- Muslu Ü., Demir E. (2019). Development of rhinoplasty. Yesterday and Today. *Medical Science*, 23(97), 294-301 ISSN 2321–7359 EISSN 2321–7367 https://www.discoveryjournals.org/medicalscience/current_issue/v23/n97/A6.pdf
- Moosaie F, Javankiani S, Mansournia MA, Rahavi S, Najeeb ZJ, Mohammadi S, Saedi B. (2024). Comparison of aesthetic and functional rhinoplasty outcomes between patients with body dysmorphic disorder and normal individuals. *Aesthetic Plast Surg.* 2024 Oct;48(20):4121-4129. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00266-024-03961-y>
- Op. Dr. Dağdelen F. (2024). <https://dr-fatihdagdelen.com/rinoplastide-3d-modelleme-ameliyat-oncesi-ve-sonrasi-simulasyonlar/>. Erişim Tarihi: 20.12.2024. <https://dr-fatihdagdelen.com/rinoplastide-3d-modelleme-ameliyat-oncesi-ve-sonrasi-simulasyonlar/>

- Op. Dr. Karataş H. (2023). Medicalpark. <https://www.medicalpark.com.tr/burun-estetigi-rinoplasti/hg-1746>
Erişim Tarihi: 20.12.2024. <https://www.medicalpark.com.tr/burun-estetigi-rinoplasti/hg-1746>
- Özcan, T., Gencer, C., & Aydın, S. (2017). TOPSIS yöntemi kullanılarak tedarikçi seçimi: mobilya sektöründe bir uygulama. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 18, 21-39.
<https://doi.org/10.16984/saufenbilder.40265>
- Perdikis G, Dillingham C, Boukovalas S, Ogunleye AA, Casambre F, Dal Cin A, Davidson C, Davies CC, Donnelly KC, Fischer JP, Johnson DJ, Labow BI, Maasarani S, Mullen K, Reiland J, Rohde C, Slezak S, Taylor A, Visvabharathy V, Yoon-Schwartz D. (2022). American Society of Plastic Surgeons Evidence-Based
<https://doi.org/10.1097/prs.00000000000008860>
- Rohrich, Rod J. M.D. Ahmad, Jamil M.D. (2011). Plastic and Reconstructive Surgery 128(2):p 49e-73e, August. DOI: <https://doi.org/10.1097/PRS.0b013e31821e7191>
- Rollin K. Daniel, Tibor Glasz, Gyongyver Molnar, Peter Palhazi, Yves Saban, Bertrand Journal (2013) Aesthetic Surgery Journal, Volume 33, Issue 2, February 2013, Pages 222–232, <https://doi.org/10.1177/1090820X12472695>
- Saaty, T. L. (1980). The analytic hierarchy process. mcgraw-hill international book company.
https://books.google.com/books/about/The_Analytic_Hierarchy_Process.html?id=Xxi7AAAAIAAJ
- Sever H, Aksungur BN, Güven E, Eren T. (2024). Evaluation of unmanned aerial vehicles in disasters with multi-criteria decision making methods. *Emerg Aid Disaster Science*.4(1):15-22.
<https://dergipark.org.tr/tr/pub/eadsjrn/issue/83697/1429957>
- Shih, H. S., Shyr, H. J., & Lee, E. S. (2007). An extension of TOPSIS for group decision making. *Mathematical and Computer Modelling*, 45(7-8), 801-813. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2006.03.023>
- Shyjith, K., Ilankumaran, M., & Kumanan, S. (2008). Multi-criteria decision-making approach to evaluate the performance of an engineering department. *Production Planning & Control*, 19(6), 586-595.
DOI: <https://doi.org/10.1108/13552510810909975>
- Vaidya, O. S., & Kumar, S. (2006). Analytic hierarchy process: An overview of applications. *European Journal of Operational Research*, 169(1), 1-29. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.04.028>
- Taş, M., Özlemiş, Ş. N., Hamurcu, M. ve Eren, T. (2017). Ankara’da AHP ve PROMETHEE yaklaşımıyla Monoray hat tipinin belirlenmesi. *Ekonomi İşletme Siyaset ve Uluslararası İlişkiler Dergisi*, 3(1), 65-89.
<https://dergipark.org.tr/tr/pub/kkujebpir/issue/33328/372128>
- Turgut, Z. N., Danişan, T., & Eren, T. (2021). Spor ve moda dünyasında giyilebilir teknolojilerin çkkv yöntemleriyle değerlendirilmesi ve seçimi. *Herkes için Spor ve Rekreasyon Dergisi*, 3(1), 1-11.
<https://dergipark.org.tr/tr/pub/jsar/issue/63301/903211>
- Yoon, K. P., & Hwang, C. L. (1995). Multiple attribute decision making: an introduction. Sage Publications.
DOI: <https://doi.org/10.4135/9781412985161>



Journal of Turkish Operations Management

Cell switching in 6G networks for improved sustainability and handover management

Metin Öztürk^{1*},

¹Ankara Yıldırım Beyazıt University, Ankara, Türkiye

metin.ozturk@aybu.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0001-8665-5291>

*Corresponding Author

Article Info

Article History:

Received: 28.04.2025

Revised: 15.05.2025

Accepted: 03.06.2025

Keywords

Telecommunications,
6G Networks,
Cell switching,
Handover,
Optimization

Abstract

Sustainability and latency are two critical parameters for future generations of cellular communication networks, such as the sixth generation (6G). To this end, this work targets both sustainability and latency by strategically switching off idle or lightly loaded base stations to maximize network energy savings while minimizing the number of handovers, which are considered a source of latency in this study. In order to perform this optimization, a mixed-integer programming (MIP) problem is modeled, and a heuristic-based solution algorithm is developed. Moreover, high-altitude platform stations (HAPS), a non-terrestrial network (NTN) component, are integrated into the network architecture to provide additional coverage—with their large footprints—and capacity for cell switching and traffic offloading purposes. Therefore, the key components of this study are energy efficiency and latency optimization through strategic cell switching operations, as well as the inclusion of HAPS as an offloading entity. Additionally, the developed MIP problem and heuristic-based solutions are also primary components of this work. The efficacy of the developed optimization problem and heuristic-based solution is validated through simulation studies, and the results confirm that the proposed methodology effectively reduces both energy consumption and the number of handovers, with performance strongly influenced by the handover penalty and the number of users in the network. Overall, the findings suggest that the outcomes of this research can enable more efficient and sustainable industrial operations and management through minimized energy consumption and handovers, along with the extensive coverage provided by HIBSs.

1. Introduction

1.1. Evolution of Cellular Networks

Wireless cellular communication networks have been evolving in a positive direction quite rapidly, and such improvement can be attributed to their generation-based structure. For example, the first generation of cellular communication technology (1G), introduced in the 1980s, was voice-only and analog, whereas in the 1990s, the second generation (2G) introduced digital technology and messaging services alongside voice communications. Data communication became widely available in the 2000s with the third generation (3G), along with full roaming capabilities due to global standardization through the 3rd Generation Partnership Project (3GPP). Furthermore, broadband communication, all-IP systems, and the early stages of Internet of things (IoT) technology emerged with the fourth generation (4G) starting in the 2010s (Goldsmith, 2005). The beginning of the 2020s saw the rollout

of the fifth generation (5G) with hard-hitting promises, including remote surgery, augmented/virtual reality, smart concepts (cities, agriculture, infrastructure, ports, etc.), and key enabling technologies such as millimeter-wave communication, massive multiple-input multiple-output (mMIMO) systems, and pervasive IoT (Gupta & Jha, 2015; Chettri & Bera, 2020). Additionally, 5G introduced novel scenarios, namely enhanced mobile broadband (eMBB), ultra-reliable low-latency communications (URLLC), and massive machine-type communications (mMTC), all of which target distinctive and numerous use cases. eMBB, for example, is aimed at enhancing data rates for bandwidth-hungry applications such as high-definition (HD) video streaming, online gaming, augmented/virtual reality, smart healthcare (e.g., real-time transmission of large files), and remote work and collaboration, to name a few, while URLLC supports critical applications, including remote surgery, autonomous vehicles, remote control of drones, and manufacturing and process control in industrial operations. Asset tracking, environmental monitoring, fleet management, and industrial IoT (IIoT) are among the use cases falling within the scope of the mMTC scenario. Therefore, 5G has been popularized with its verticals — that is, its support for a diverse set of fields — which are directly related to operational research and management. Among all, use cases such as remote work and collaboration, industrial operations, smart cities, and asset tracking are directly within the scope of operational research. Put another way, wireless communication technologies are among the key enablers of operational management, making it more autonomous, intelligent, and efficient (Banchs et al., 2019).

From this perspective, work related to shaping the sixth generation of cellular communication technology (6G) has already begun, and 6G is expected to be more efficient and powerful compared to legacy networks. The International Telecommunication Union (ITU) has published its vision for 6G networks, introducing novel components never seen in previous generations of cellular communication technology, along with multiple improvements to 5G networks (International Telecommunication Union [ITU], 2023). Starting with the enhancements to 5G: eMBB, URLLC, and mMTC are being transformed into immersive communication, hyper-reliable and low-latency communication, and massive communication, respectively, elevating the promising offerings of 5G networks to an even higher level. This can be interpreted as more efficient and powerful support for the aforementioned verticals, enabling industrial operations and management in a more effective and intelligent manner. Transforming eMBB into immersive communication is expected to significantly boost the data rates perceived by users, enabling technologies that require ultra-fast connectivity, while applications that are highly sensitive to reliability and latency issues will benefit from the shift from URLLC to its "hyper" version. Lastly, still within the context of 5G enhancements, massive communication will connect an even greater number of devices to the Internet, making operational management more widely available and accessible.

1.2. Sustainability in 6G Networks

When it comes to the new attributes in 6G networks (i.e., the components that have never been addressed in previous generations), the story becomes even more interesting and catchy. First of all, four different design principles (or overarching aspects) are introduced for 6G networks by the ITU: namely, sustainability, connecting the unconnected, ubiquitous intelligence, and security and resilience. These are crucial and highly challenging components, as they are very prone to conflict with other components. For example, sustainability — which has been defined for the first time in the history of wireless cellular communication technology — is challenging to achieve while improving the data rate of users through immersive communications. In order to increase the data rate, the use of more antennas (e.g., through ultra-massive MIMO), more base station (BS) deployments due to the shorter link ranges of millimeter waves and terahertz frequencies (which are discussed for use in 6G networks), and increasing the transmit power are among the potential solutions, and they all conflict with sustainability goals because of the increased network energy consumption. In addition, the design principles also conflict with each other, such that the connecting the unconnected principle again conflicts with sustainability due to greater infrastructure requirements, which, in turn, increase network energy consumption. Therefore, sustainability indeed necessitates special attention, not only to achieve the full potential of 6G networks, as it conflicts with various other 6G components, but also for environmental reasons. Additionally, there is an economic pillar of sustainability, and the increased energy consumption of cellular communication networks is reflected as energy costs for mobile network operators (MNOs), putting their business at risk. To this end, network energy consumption should be minimized while maintaining the other objectives of 6G networks, which is a challenging task and poses a non-trivial problem for the operation of wireless cellular communication networks.

In providing sustainability to cellular communication networks in the form of minimized network energy consumption, cell switching techniques are regarded as one of the primary solutions. Cell switching, in its most fundamental definition, is a set of techniques aimed at switching off BSs that are idle (i.e., unused) or lightly used (i.e., with minimal traffic load) in order to reduce the overall network power consumption. In this concept, when a BS is switched off, if there are users associated with it, they are offloaded to other BSs in the network. It has already been proven in the literature that cell switching is a successful approach for reducing network energy consumption, since the overall energy consumption of cellular communication networks is dominated by the radio access network (RAN) part, in which BSs are the main contributors. Therefore, the cell switching approach

hypothesises that if the energy consumption of BSs can be reduced by putting them into a sleep mode (i.e., switching them off), it can have a considerable impact on decreasing the total energy consumption of a cellular network. However, switching off BSs is not a “free lunch” concept, as it can adversely affect the quality of service (QoS), since users are removed from their original BSs, which can subsequently reduce their achieved data rates. That is, a user is usually associated with a BS that provides the best signal strength, and once the user is offloaded from that BS, the signal strength is expected to degrade. Hence, a proper and efficient switching-off solution is required to avoid such adverse impacts.

The offloading destination, in this regard, plays a vital role in orchestrating the cell switching operations. In the literature, a control-data separation architecture (CDSA) is usually considered, where small BSs (SBSs) are responsible for high data provision, while the macro BS (MBS) is mainly responsible for control signaling. In this architecture, the traffic load of SBSs that are switched off is typically offloaded to the MBS. However, the capacity of the MBS is crucial in being able to accommodate the offloaded users. In other words, in maximizing energy savings through cell switching, capacity becomes the primary constraint. Nonetheless, capacity is often fully exploited in dense and ultra-dense urban network conditions, meaning that there is no room for additional traffic to be offloaded, and hence no room for cell switching. Moreover, this scenario is highly reliant on the availability of MBSs, which is not always the case, particularly in rural and remote environments.

1.3. The Role of Non-Terrestrial Networks

Therefore, at this point in the story, non-terrestrial networks (NTN) come onto the stage and act as a helping hand in enhancing network capacity and offloading destination availability, regardless of the scenario (i.e., urban, rural, or remote) (Iqbal et al., 2023). The integration of NTN into terrestrial networks is no longer just a vision, as standardization efforts related to such integration have already started from 3GPP Release 17, meaning that NTN is a player even in 5G networks and will be a key component in 6G networks, especially when considering the “connecting the unconnected” principle, which is impossible to achieve without NTN components in the loop (Saad et al., 2024). Among various NTN components, including uncrewed aerial vehicles (UAVs), high-altitude platform stations (HAPS), and satellite networks, HAPS has a special place due to its promising characteristics. Positioned at around 20 km above the Earth's surface, they provide a huge footprint when equipped with super macro base stations (SMBS) (Gunes et al., 2021). Compared to UAVs, they offer significantly more service time and coverage, and compared to satellites, they result in lower latency (Omid et al., 2024). This is the reason why the ITU has already considered the inclusion of HAPS in cellular communication networks in a harmonized manner and assigned frequency bands to it at the 2023 World Radiocommunication Conference (WRC-23). In the ITU's terminology, HAPS SMBS is regarded as HAPS as an IMT base station (HIBS), to indicate that they will be a part of cellular network operations.

1.4. Contributions of This Work

In this work, a cell switching approach is considered with the presence of HIBS as an offloading destination. Moreover, handover, which is defined as the change of BSs for a user equipment (UE) while being in an active mode (e.g., during ongoing data transmission or a voice call), is also included in the problem formulation, because the cell switching and handover concepts are highly correlated. In particular, users originally connected to BSs that are switched off are offloaded to HIBS, which can be regarded as a handover for users in active mode. Minimizing the number of handovers is one of the objectives for cellular communication networks, as each handover incurs additional latency due to the required signaling between network entities (i.e., UE, BSs, core network), thereby undermining the low-latency goals of 6G networks. On the other hand, the minimization of energy consumption through cell switching and the minimization of handover events become conflicting objectives in this setup, because whenever a BS is switched off (energy saved), its users are offloaded to HIBS (increased number of handovers). Hence, in this work, a multi-objective optimization problem is modelled, aiming to minimize both network energy consumption and the total number of handover events. The optimization variable is considered to be the combinations of cell switching operations (i.e., which BSs should be active/inactive), and therefore, the formulated problem is a combinatorial optimization problem. This is an important approach, as considering energy minimization alone is not an appropriate solution for users that are highly intolerant to latency (as in the hyper-reliable and low-latency communication usage scenario of 6G networks), and handover must therefore be included in the formulation.

The ON and OFF status of BSs is captured as a binary variable, where ON and OFF are represented by binary 1 and 0, respectively. Thus, the optimization problem is formulated as a mixed-integer programming (MIP) problem. In order to solve this multi-objective problem, a genetic algorithm-based solution is developed with an objective function that captures both the energy and handover costs, i.e., minimizing both. The contributions of this work are summarized as:

- A multi-objective optimization model is developed for the minimization of both energy and handover costs, in order to achieve the sustainability and latency goals of 6G networks.
- A greedy heuristic algorithm-based solution is designed for the optimization problem, with both the energy and handover costs included in the objective function.
- The impacts of the optimization outcomes are discussed from the perspectives of vertical industries, i.e., the support of 6G networks for operational research and optimization.
- A simulation environment is developed, incorporating cellular communication network components such as UEs, BSs, and HIBSs, to test the efficiency of the developed optimization model and genetic algorithm-based solution.

The rest of this paper is organized as follows: The related work is identified and thoroughly discussed in Section 2, and the detailed system modeling is introduced in Section 3. The problem formulation and methodology are presented in Section 4, followed by performance evaluations with the results and discussion in Section 5. Lastly, Section 6 concludes the paper. The list of key acronyms used throughout the paper is given in Table 1.

Table 1: List of Acronyms for the Key Terminology.

Acronym	Definition
3GPP	3rd Generation Partnership Project
BS	Base station
CDSA	Control-data separation architecture
eMBB	Enhanced mobile broadband
HAPS	High-altitude platform stations
HIBS	HAPS as an IMT base station
IIoT	Industrial Internet of things
IoT	Internet of things
ITU	International Telecommunication Union
MBS	Macro base station
MIP	Mixed-integer programming
mMIMO	Massive multiple-input multiple-output
mMTC	Massive machine-type communications
MNO	Mobile network operator
NTN	Non-terrestrial networks
RAN	Radio access network
SBS	Small base station
SMBS	Super macro base stations
UAV	Uncrewed aerial vehicle
UE	User equipment
URLLC	Ultra-reliable low-latency communications

2. Literature Review

The literature on cell switching can be categorized into two areas within the scope of this work: terrestrial cell switching and cell switching involving NTN components. The former refers to cases where only terrestrial BSs are considered in the network architecture, while the latter involves NTN components, specifically HAPS, in their cell switching implementations.

Starting with terrestrial cell switching, in (Han et al., 2024), the authors employed a deep reinforcement learning framework to determine the optimum set of BSs to be switched off. However, since the action space increases exponentially with the number of BSs included in the network, optimization of the action space was also considered. Their results reveal significant energy savings compared to off-the-shelf benchmark algorithms. The combination of deep reinforcement learning and federated learning was utilized in (Movahedkor & Shahbazian, 2024), wherein a reinforcement learning framework is used to learn the optimal cell switching strategy, while federated learning is primarily adopted to share data between agents to improve learning performance. Federated learning offers a secure way of data transmission between network entities, as only model parameters are shared rather than raw and sensitive data; thus, privacy is also maintained in their model. A more comprehensive and

detailed cell switching study was conducted in (Tan et al., 2023), wherein the authors sought to optimize not only the operational status of BSs, but also beamforming vectors and user-BS connections. To achieve this, the transmit power constraint of BSs was taken into consideration along with the QoS requirements from users and the profit objectives for MNOs. The authors developed two different algorithms: to optimize the BS ON/OFF status and UE-BS connection state, they developed a roaming-cost-based BS switching-off algorithm (EE-BSOA), while to optimize the beamforming vector, an energy efficiency maximization beamforming algorithm (EE-BFA) was employed. Additionally, in (Lin et al., 2024), a joint problem modelling of long-term cell switching control and short-term beamforming control was presented. The idea in their work is that by controlling the ON/OFF status of BSs over the long term, stable UE-BS connectivity is maintained, and the energy cost of frequent cell switching is minimized. Simultaneously, the beamforming vectors are updated rapidly to minimise transmit power consumption, resulting in a holistic energy-efficient framework. The work in (Yahya & Stanica, 2024) investigates the impact of cell switching implementation in an urban area using a real-life dataset collected from Lyon, France. A heuristic cell switching approach was employed, and their results confirmed that cell switching has significant potential in reducing network energy consumption. The authors in (Abubakar et al., 2025) proposed a secure cell switching approach with the help of federated learning. A real-life dataset collected from Milan, Italy, was used, and the traffic loads of BSs were predicted to achieve a proactive cell switching mechanism. For the traffic prediction phase, a bi-directional long short-term memory (LSTM) algorithm was developed, followed by optimization of the ON/OFF status of BSs in the network using a modified version of the actor-critic deep reinforcement learning method. In summary, the literature on cell switching applied in terrestrial networks is quite rich, with a diverse set of studies addressing the cell switching problem from various perspectives.

On the other hand, this is not the case for cell switching implementations using NTN components, especially considering HAPS technology as one of the main focuses of this current work. The authors in (Salamatmoghadas et al., 2024) considered a HAPS-SMBS in their network architecture, serving as an offloading destination for the traffic of switched-off terrestrial BSs. In this regard, a sorting-based cell switching algorithm was developed, wherein the terrestrial BSs are sorted based on their traffic loads in ascending order, followed by switching them off until the capacity of the HAPS-SMBS is fully utilized. Through this approach, significant energy savings are achieved in the network. Although not directly focused on cell switching, the study in (Kement et al., 2023) investigates the impacts of deploying HAPS-SMBSs in networks where additional capacity is required. Such deployment was compared to terrestrial BS deployments (i.e., network densification), and it was observed that deploying a HAPS-SMBS is equivalent to the deployment of multiple terrestrial BSs. HAPS-SMBS is also used in (Song et al., 2024) to switch off terrestrial BSs and offload their traffic. The authors utilized a real-life dataset collected from Milan, Italy, and processed it to reflect the current scale of data traffic using another real-life dataset collected from China. Similar to (Salamatmoghadas et al., 2024), a sorting-based least-traffic offloading algorithm was developed to facilitate the cell switching and traffic offloading framework. The cell traffic load estimation problem of sleeping BSs was considered in (Ciloglu et al., 2024), where the impact of errors during the estimation of cell traffic loads was investigated in a HIBS-enabled cell switching scheme. Moreover, two different Q-learning models were designed: one full-scale model to prioritize cell switching performance, and one lightweight model to balance computation cost. The study by Mbarek et al. (2024) follows a predictive cell switching framework, wherein the future traffic loads of BSs are predicted in advance to enable timely cell switching decisions. Overloaded BSs were identified to determine which ones required traffic offloading, and a Q-learning algorithm was employed for this purpose. The authors incorporated HAPS into their network architecture, using it as an offloading entity for the traffic of switched-off BSs. HAPS-based system architecture was also considered in (Nauman et al., 2024), where a three-layer resource optimization approach was developed. The authors considered a non-orthogonal multiple access (NOMA)-based vehicular-aided heterogeneous network. User associations, bandwidth allocation, and transmit power are optimized to maximize the network utilization while respecting the QoS constraints. An access point switching was considered as a second-layer solution to further enhance the network resource utilization. A very comprehensive and novel multi-layer cell switching framework was proposed in (Ozturk et al., 2025). In their work, in addition to terrestrial MBSs, UAV-BSs, HIBS, and satellites were considered as offloading destinations for the traffic of switched off BSs. Since latency is a key consideration when it comes to satellite networks, a latency-aware cell switching approach was also developed in addition to conventional energy-focused cell switching. Their results reveal the potential of multi-tier cell switching when all the components of NTN are included.

The literature on HIBS/HAPS-supported cell switching is still in its infancy, and this work is an important attempt to fill a gap, as, to the best of the authors' knowledge, there is no existing study that jointly optimizes energy and handover costs in a HIBS-assisted terrestrial network architecture. Since NTN, sustainability, and latency are three crucial factors shaping 6G networks, this work, positioned at the intersection of these domains, is expected to pave the way for more efficient network management, making operational management in vertical industries more effective, accessible, and intelligent.

3. System Modeling

In this section, the network, user mobility, user-BS association, energy consumption, and handover models are presented in detail.

3.1. Network Model

As seen in Figure 1, an $S \times S$ m² area is considered as an environment, wherein users, denoted by u_k for $k = 1, 2, \dots, K$, are initially (at $t = 0$, where $t = 1, 2, \dots, T$ denotes the time slot) distributed around the environment following a uniform distribution, such that $x_k(0) \sim \mathcal{U}(0, S)$ and $y_k(0) \sim \mathcal{U}(0, S)$, where x_k and y_k are the x and y coordinates of user k , and S is the lengths of the square-shaped simulation area. $\mathcal{U}(a, b)$ denotes a uniform distribution over the interval $([a, b])$, and $x_k(t)$ and $y_k(t)$ are independent variables, such that their distributions are not correlated to each other. The set of K mobile users is defined as $U = \{u_1, u_2, \dots, u_K\}$.

Additionally, there are terrestrial BSs, denoted by λ_i for $i = 1, 2, \dots, \Lambda$, distributed around the environment following a uniform distribution, such that $x_\lambda \sim \mathcal{U}(0, S)$ and $y_\lambda \sim \mathcal{U}(0, S)$, where x_λ and y_λ are the x and y coordinates of the terrestrial BS λ . The set of Λ terrestrial BSs is defined as $B = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_\Lambda\}$. Similarly, there are HIBSs, denoted by h_j for $j = 1, 2, \dots, M$, distributed around the two-dimensional (2D) environment following a uniform distribution, such that $x_h \sim \mathcal{U}(0, S)$ and $y_h \sim \mathcal{U}(0, S)$, where x_h and y_h are the x and y coordinates of HIBS h . The set of M HIBSs is given as $H = \{h_1, h_2, \dots, h_M\}$, and the third dimension (i.e., altitude) of all the HIBSs is assumed to be fixed and set to 20 km.

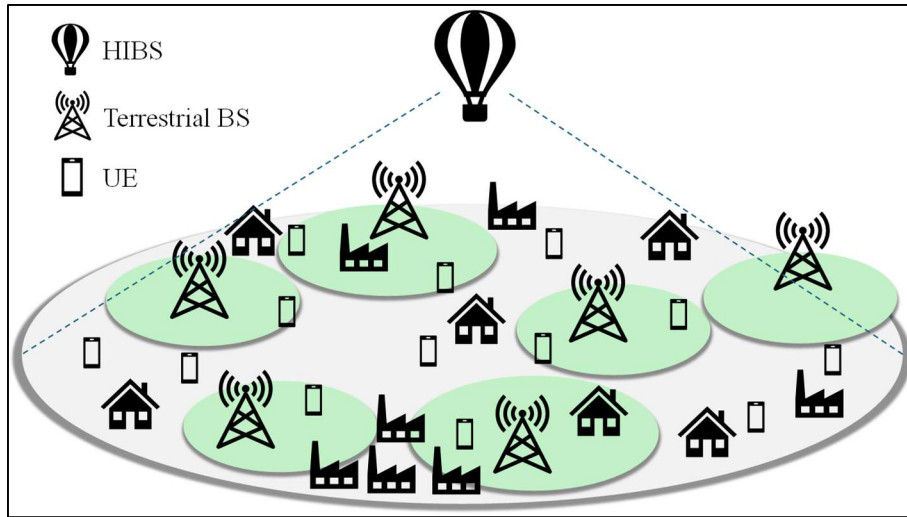


Figure 1: The network model consisting of UEs, terrestrial BSs, and HIBSs.

3.2. User Mobility Model

After the initial distribution at $t = 0$, all the users move following a Gaussian random walk, such that

$$\mathbf{p}_k(t) = \mathbf{p}_k(t-1) + \Delta \mathbf{p}_k(t), \quad (1)$$

where $\mathbf{p}_k(t) = (x_k(t), y_k(t))$ is the position of user k at time t , and $\Delta \mathbf{p}_k(t) = (\Delta x_k(t), \Delta y_k(t))$ is the displacement vector at time t . The displacement components (i.e., $\Delta x_k(t)$ and $\Delta y_k(t)$) are independently and normal distributed as $\Delta x_k(t) \sim \mathcal{N}(0, \sigma^2)$ and $\Delta y_k(t) \sim \mathcal{N}(0, \sigma^2)$, where $\mathcal{N}(\mu, \sigma^2)$ denotes the Gaussian/normal distribution with mean μ and standard distribution σ . In order to keep the users within the environment considered, the updated user positions are clamped as

$$\mathbf{p}_k(t) = (\max(0, \min(x_k(t), S)), \max(0, \min(y_k(t), S))). \quad (2)$$

Note that the terrestrial BSs and HIBSs are assumed to be static, i.e., stay at their fixed location during the entire simulation.

3.3. User Association Model

In this work, users are associated with a BS or HIBS based on the Euclidian distance between the users and BSs or HIBS (i.e., proximity) and availability of BSs, such that the association function a_k for user u_k at time t is defined as

$$a_k(t) = \begin{cases} \underset{\lambda_i \in B, \beta_{\lambda_i}(t)=1}{\operatorname{argmin}} d(u_k(t), \lambda_i) & \text{if } \exists \lambda_i \in B \text{ s.t. } \beta_{\lambda_i}(t) = 1, \\ \underset{h_j \in H, \beta_{h_j}(t)=1}{\operatorname{argmin}} d(u_k(t), h_j) & \text{if } \nexists \lambda_i \in B \text{ s.t. } \beta_{\lambda_i}(t) = 1 \text{ and } \exists h_j \in H \text{ s.t. } \beta_{h_j}(t) = 1 \\ \underset{\lambda_i \in B}{\operatorname{argmin}} d(u_k(t), \lambda_i) & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (3)$$

where $d(u_k(t), \lambda_i)$ and $d(u_k(t), h_j)$ denote the Euclidian distance between user u_k and terrestrial BS λ_i , and between user u_k and HIBS h_j , respectively. Here, let $N = B \cup H = \{b_1, b_2, \dots, b_{\Lambda+M}\}$ denote the set of all types of BSs (terrestrial and HIBS), where b_n denotes any BS n that is either a terrestrial BS or a HIBS. Then, let $\beta_{b_n}(t)$ is the ON/OFF status of a BS n such that

$$\beta_{b_n}(t) = \begin{cases} 1 & \text{if } b_n \text{ is ON} \\ 0 & \text{if } b_n \text{ is OFF.} \end{cases} \quad (4)$$

Here, $\boldsymbol{\beta}(t) = [\beta_{b_1}, \beta_{b_2}, \dots, \beta_{b_{\Lambda+M}}] \in \{0, 1\}^{\Lambda+M}$ is a decision variable, defining the ON/OFF status of the all the BSs included in the network model.

3.4. Energy Model

The energy consumption of all the BSs (terrestrial and HIBS) are considered to be constant in case being active and zero otherwise. In this regard, the total energy consumption model accounting for all the BSs are

$$E_t(t) = \sum_{n=1}^{\Lambda+M} \beta_{b_n}(t) E_o, \quad (5)$$

where E_o is the operational energy consumptions. The overall network energy consumption during the simulation time frame is calculated as

$$E_T = \sum_{t=1}^T E_t(t). \quad (6)$$

3.5. Handover Model

In this work, the handover event is triggered when a UE changes its serving BS, such that handover is modeled as a binary variable for each UE at time t

$$q_k(t) = \begin{cases} 1 & \text{if } a_k(t) \neq a_k(t-1) \\ 0 & \text{if } a_k(t) = a_k(t-1), \end{cases} \quad (7)$$

and the total number of handovers at time t is obtained as

$$\rho(t) = \sum_{u_k \in U} q_k(t), \quad (8)$$

which makes the overall handover count during the simulation time frame as

$$\rho_T = \sum_{t=1}^T \rho(t). \quad (9)$$

3.6. The Overview of Assumptions

The assumptions considered in this work are given as follows:

- The simulation environment is a square area of size $S \times S$ m², with users, terrestrial BSs, and HIBSs initially distributed uniformly.
- HIBSs are positioned at a fixed altitude of 20 km.
- Users move according to a Gaussian random walk with normally distributed displacements, and their positions are clamped within the simulation area.
- Terrestrial BSs and HIBSs are static, remaining at fixed locations throughout the simulation.
- Users associate with the nearest active BS or HIBS based on Euclidean distance; if no BSs are active, users are not associated.
- All BSs (terrestrial and HIBSs) consume a constant energy (E_o) when ON and zero energy when OFF.

- A handover occurs when a user's serving BS changes between time slots, modeled as a binary variable.
- The optimization problem is solved independently at each time step.
- At least one BS must be active at all times.
- Inactive BSs have a fixed probability (p_r) of reactivation at each time step.
- Energy and handover costs are non-negative.

4. Problem Formulation and Methodology

In this section, the problem is presented and formulized as an optimization problem, followed by introducing the methodology employed in this work,

4.1. Problem Formulation

In this work, network energy consumption and the total number of handovers are jointly minimized by modeling a multi-objective optimization problem. In this regard, the optimization problem is considered to be a minimization problem and run at each time step t independently, such that

$$\underset{\alpha(t)}{\text{minimize}} E_t(t) + \gamma\rho(t) \quad (10)$$

$$\text{subject to} \quad (10a)$$

$$\beta_{b_n}(t) \in \{0, 1\} \quad \forall b_n \in N, \forall t \quad (10b)$$

$$a_k(t) \in \{b_n \in N: \beta_{b_n} = 1\} \cup \{0\} \quad \forall u_k \in U, \forall t \quad (10c)$$

$$\sum_{b_n \in N} \beta_{b_n}(t) \geq 1, \quad \forall t \quad (10d)$$

$$P(\beta_{b_n} = 1 | \beta_{b_n} = 0) = p_r \quad (10e)$$

$$0 \leq x_k(t), y_k(t) \leq S, \quad \forall u_k \in U, \forall t \quad (10f)$$

$$E_t(t) \geq 0, \rho(t) \geq 0. \quad (10g)$$

Here, p_r indicates a fixed reactivation probability for all the BSs in the network. This problem is a combinatorial and MIP problem, and the solution time increases exponentially with the number of BSs in the network: i.e., the search space equals to $2^{\Lambda+M}$. In the optimization, the variable α is strategically selected, as it impacts both total energy consumption, E_t , and the number of handovers, ρ . First, Equation (5) indicates that network energy consumption is a function of the number of active BSs in the network. When the number of active BSs is reduced through cell switching (via α), the network's energy consumption can be minimized, satisfying the objective function in Equation (10). Second, a handover occurs when a user moves from one BS to another, as described in Equation (7). When the BS density in the network—defined as the number of active BSs per unit area—increases, the probability that a user requires a handover also increases, as it becomes more likely for the user to enter the footprint of another BS. With this in mind, switching off some BSs in the network reduces BS density, and thus lowers the probability of handovers.

4.2. Methodology

In this work, a greedy heuristic algorithm is employed, and the algorithmic details are given in Algorithm 1.

Algorithm 1: Greedy Heuristic Algorithm for BS ON/OFF Status Optimization

Inputs:
 Positions of UEs: $\mathbf{p}_k, \forall u_k \in U$
 Parameters: $\Lambda, M, K, \gamma, p_r$, and E_o
 BS ON/OFF status: $\beta(t-1)$
Outputs:
 BS ON/OFF status: $\beta(t)$
 UE-BS associations: $a_k(t), \forall u_k \in U$
 Energy cost: $E_t(t)$
 Handover cost: $\rho(t)$
 1. *% Initialize*
 $\beta(t) = \beta(t-1)$
 $a_k(t) = 0, \forall u_k \in U$
 2. *% User mobility*
for each u_k in U
 $\mathbf{p}_k(t) = \mathbf{p}_k(t-1) + \Delta p_k(t)$
 3. *% User-BS association*
for each u_k in U

```

 $d_n = \|\mathbf{p}_k(t) - \mathbf{q}_m\|, \forall b_n \in N$ 
if  $\sum_{b_n \in N} \beta_{b_n}(t) \geq 1, \quad \forall t$  % active BS exists
     $a_k(t) = \underset{b_n \in N, \beta_{b_n}(t)=1}{\operatorname{argmin}} d(u_k(t), b_n)$ 

    else  $a_k(t) = 0$ 
    if  $a_k(t) \neq a_k(t-1)$  % handover is triggered
         $q_k(t) = q_k(t) + 1$  % increase the handover count

4. % Switch off BSs
for each  $b_n$  in  $N$ 
     $\eta_n(t) = |\{u_k: a_k(t) = b_n\}|$  % compute the user count
    if  $\beta_{b_n}(t) = 1$  and  $\eta_n(t) < \frac{1}{\gamma}$ 
        Set  $\beta_{b_n}(t) = 0$ 
        for each  $u_k$  in  $\{a_k(t) = b_n\}$ 
            Recompute  $a_k(t) = \underset{b'_n \in N, \beta_{b'_n}(t)=1}{\operatorname{argmin}} d(u_k(t), b'_n)$ 
            if  $a_k(t) \neq a_k(t-1)$  % handover is triggered
                 $q_k(t) = q_k(t) + 1$  % increase the handover count

5. % Reactivate BSs
for each  $b_n$  in  $N$ 
    if  $\beta_{b_n}(t) = 0$  and  $\text{rand}() < p_r$ 
        Set  $\beta_{b_n}(t) = 1$ 
        for each  $u_k$  in  $\{a_k(t) = b_n\}$ 
            Recompute  $a_k(t) = \underset{b'_n \in N, \beta_{b'_n}(t)=1}{\operatorname{argmin}} d(u_k(t), b'_n)$ 
            if  $a_k(t) \neq a_k(t-1)$  % handover is triggered
                 $q_k(t) = q_k(t) + 1$  % increase the handover count

6. % Compute energy cost and handover cost
 $E_t(t) = \sum_{n=1}^{\Lambda+M} \beta_{b_n}(t) E_o$ 
 $\rho(t) = \sum_{u_k \in U} q_k(t),$ 

7. Return:
 $\boldsymbol{\beta}(t), \{a_k(t)\}_{u_k \in U}, E_t(t), \text{ and } \rho(t)$ 

```

5. Performance Evaluation

In order to measure the performance of the proposed methodology in the developed problem formulation, a set of simulation campaigns are conducted. The simulation parameters are given in Table 1.

Table 2: Simulation Parameters

Parameter	Description	Value
K	Number of UEs considered in the network	{50, 100, 150, 200}
Λ	Number of terrestrial BSs	3
M	Number of HIBSs	2
S	Dimension of the simulation area	1000 m
T	Number of time slots	100
E_o	Operational energy consumption	1 unit
γ	Handover penalty	{0.01, 0.1, 1, 10, 100}
p_r	Probability of reactivating an inactive BS per time step	{0.01, 0.05, 0.1}
R	Number of simulation runs for averaging purposes	10
σ	Standard deviation of Gaussian displacement in UE mobility model	10 (units per time step)

5.1. Results and Discussions

The average energy cost for various values of handover penalty (γ) is illustrated in Figure 2 for the scenario where $\Lambda = 3$, $M = 2$, and $p_r = 0.01$. The results in Figure 2 demonstrate that the average energy cost increases with growing values of handover penalty, because when the handover penalty is higher, the algorithm attempts fewer handovers, which, in turn, increases the energy cost. In other words, at lower handover penalty values, there are more opportunities to switch off BSs. Another takeaway from Figure 2 is that the average energy cost saturates at some point, such that it does not increase further beyond a certain value of handover penalty (mainly after $\gamma = 10$). This behavior can be attributed to the fact that when the handover penalty is set to a high value, no BSs in the network are switched off, which acts as a saturation point. Additionally, the results confirm that the average energy cost scales with the number of UEs considered in the network, as more UEs result in fewer switching opportunities, considering the cell switching criteria in Algorithm 1.

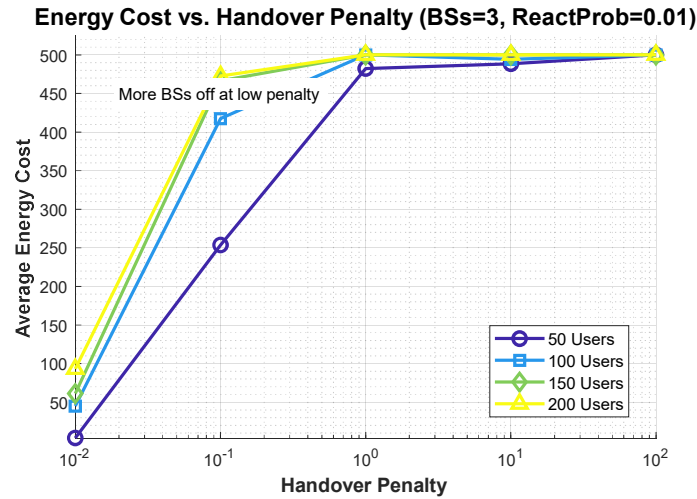


Figure 2: Average energy cost for sweeping values of handover penalty ($\Lambda = 3$, $M = 2$, $p_r = 0.01$).

For the same setup (i.e., ($\Lambda = 3$, $M = 2$, and $p_r = 0.01$), the handover cost is depicted in Figure 3 across varying values of handover penalty. The results in Figure 3 show that the average handover cost (i.e., the total number of handovers) is highly dependent on both the handover penalty and the number of UEs in the network. First, the average handover cost decreases with increasing values of handover penalty. This is because a higher penalty is incurred for each handover, which subsequently impacts the objective function given in Equation (10). Put another way, Equation (10) includes γ as a multiplier of the number of handovers; therefore, when γ is high, the heuristic algorithm tries to reduce the number of handovers (ρ) in order to comply with the minimization objective. Second, the average number of handovers increases with the number of UEs in the network (K), as a higher number of users raises the probability of handovers, given that the environment area is fixed. In other words, when there are more users in the network, it becomes more likely for handovers to occur due to the increasing network density.

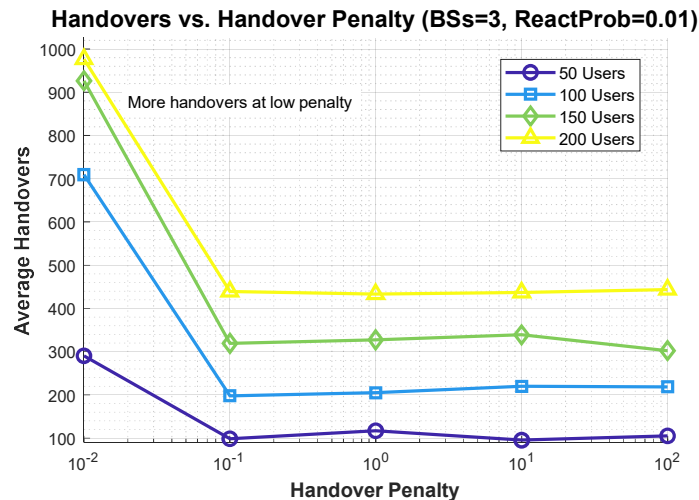


Figure 3: Average handovers for sweeping values of handover penalty ($\Lambda = 3$, $M = 2$, $p_r = 0.01$).

In Figure 4, the energy cost results are presented for an increased number of terrestrial BSs, i.e., $\Lambda = 7$, in order to observe the system behaviour as the network size grows. This set of results reveals that the energy cost follows

the same trend as in Figure 2, such that the energy cost increases with increasing handover costs because the switching-off opportunities narrow with growing handover penalties. However, unlike the results in Figure 2, the magnitude of the energy cost is higher in Figure 4. This is attributed to the energy model given in Equation (5), where the network energy consumption increases with the number of BSs included in the model. Additionally, the average energy cost does not saturate when the number of users is low, i.e., $K = 50$. This is because when the number of users is low, the number of users per BS is also low, leading to more switching-off opportunities even with increased handover penalty values.

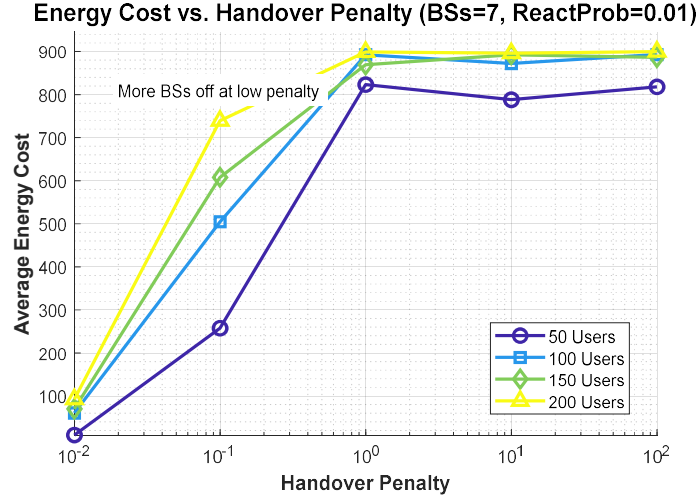


Figure 4: Average energy cost for sweeping values of handover penalty ($\Lambda = 7$, $M = 2$, $p_r = 0.01$).

Figure 5 illustrates the average number of handovers when the network size increases with more terrestrial BSs ($\Lambda = 7$). Unlike the difference observed between Figures 2 and 4, no significant change is observed in the average number of handovers as the network size grows. The major difference lies in the scale of the number of handovers, which significantly increases when the number of terrestrial BSs increases from 3 to 7. This is because a higher number of BSs leads to increased BS density, while the dimensions of the environment remain the same. The increased BS density raises the probability of a user encountering a BS during movement, which in turn increases the total handover count. Additionally, the number of handovers stabilizes at higher handover penalty values when the number of users is 50. Similar to the results in Figure 4, this behavior is attributed to the increased number of switching-off opportunities when the user density is lower, which subsequently reduces the number of handovers as there are fewer active BSs in the network.

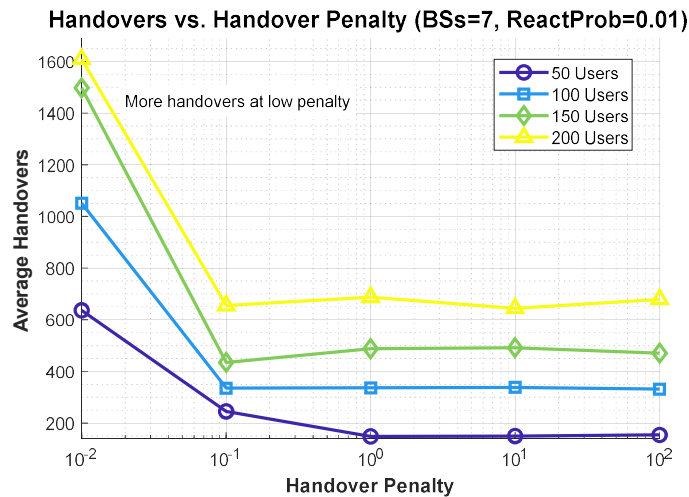


Figure 5: Average handovers for sweeping values of handover penalty ($\Lambda = 7$, $M = 2$, $p_r = 0.01$).

With the results presented in Figures 2, 3, 4, and 5, scalability is a real concern. Since cell switching is a binary problem, it usually has $O(2^{(\Lambda+M)})$ complexity, as the number of switching options increases exponentially with the number of BSs in the network. The heuristic algorithm developed in this paper, on the other hand, has a near-linear complexity ($O(TK(\Lambda + M))$), meaning that it remains scalable up to medium-sized networks. For comparison, exhaustive search, the optimum solution for cell switching, is not scalable at all because its complexity

is also exponential. Having said that, for ultra-dense deployments, more scalable and effective solutions will be needed.

Through this work, 6G networks are made more efficient and feasible, enhancing their suitability for the operations of vertical industries. First, sustainability in 6G networks is promoted through the problem formulation and heuristic-based solution proposed in this work. This, in turn, leads to environmentally positive outcomes, as network energy consumption is minimized. Additionally, economic sustainability is also addressed, as reduced energy consumption translates into lower energy costs for MNOs, making their businesses more sustainable. Second, by emphasizing the minimization of the number of handovers, this work enables more feasible cellular network operations and helps meet latency-related requirements, given that each handover incurs additional time during the process. Furthermore, since latency is minimized, various industrial applications—including IIoT, industrial automation, and extended reality use cases—can be supported. Third, incorporating HIBS not only provides additional capacity and flexibility to 6G networks but also maximizes network coverage, enabling ubiquitous connectivity. This, in turn, supports various operations such as asset management and environmental monitoring, to name a few. Therefore, through the outcomes of this research study:

- 6G networks are made more efficient and manageable;
- standardization requirements for 6G can be achieved; and
- industrial operations and management for vertical industries are made more effective, feasible, and accessible.

6. Conclusion

In this research, cell switching was employed to jointly optimize energy efficiency (i.e., sustainability) and latency in 6G networks. In contrast to existing literature, where cell switching is primarily utilized for energy-saving purposes, this work considers cell switching as an enabler for latency minimization through strategic handover management. The underlying idea is that by reducing the number of base stations (BSs) in the network via cell switching, the BS density decreases, thereby reducing the likelihood of handover events per user movement. In this work, handovers are considered a source of latency. To simultaneously optimize energy efficiency and handover management, a MIP and combinatorial optimization problem was modelled, and a greedy heuristic-based solution algorithm was developed. The proposed framework minimizes the energy consumption of 6G networks while also reducing the number of handovers, achieved through the strategic design of the objective function. This function incorporates both the total energy cost and the product of the handover penalty and the number of handovers. Additionally, HIBS were considered as NTN components to provide additional capacity. This enables more extensive cell switching operations, thereby increasing energy savings and further reducing handovers. The inclusion of HIBSs also enhances network coverage and supports the “connecting the unconnected” vision of 6G networks. Simulation studies were conducted for a specific set of parameters by sweeping the handover penalty and the number of users in the network. The results revealed that both the energy cost and the number of handovers are functions of these parameters, and an increasing handover penalty leads to higher energy costs but fewer handovers, while a higher number of UEs results in increases in both energy cost and handover events. In summary, this work enables more sustainable operation of 6G networks and supports more efficient orchestration with a reduced number of handovers. Furthermore, the outcomes of this work can enable a set of use cases, significantly impacting operations and management across various sectors. Future work will focus on optimizing additional handover parameters such as hysteresis, time-to-trigger, and handover margin, within the cell switching framework. Moreover, the integration of additional NTN components, including UAVs and satellites, is also planned for future studies.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the author.

References

- Abubakar, A. I., Mollel, M. S., Ozturk, M., & Ramzan, N. (2025). A secured energy saving with federated assisted modified actor-critic framework for 6G networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. <https://doi.org/10.1109/TVT.2025.3540641>
- Abbasi, O., Yadav, A., Yanikomeroglu, H., Đào, N. -D., Senarath, G., & Zhu, P. (2024). HAPS for 6G networks: Potential use cases, open challenges, and possible solutions. *IEEE Wireless Communications*, 31(3), 324–331. <https://doi.org/10.1109/MWC.012.2200365>

- Banchs, A., Gutierrez-Estevez, D. M., Fuentes, M., Boldi, M., & Provvedi, S. (2019). A 5G mobile network architecture to support vertical industries. *IEEE Communications Magazine*, 57(12), 38–44. <https://doi.org/10.1109/MCOM.001.1900258>
- Çiloğlu, B., Koç, G. B., Ozturk, M., & Yanikomeroglu, H. (2024). Cell switching in HAPS-aided networking: How the obscurity of traffic loads affects the decision. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 73(11), 17782–17787. <https://doi.org/10.1109/TVT.2024.3420245>
- Chettri, L., & Bera, R. (2020). A comprehensive survey on Internet of Things (IoT) toward 5G wireless systems. *IEEE Internet of Things Journal*, 7(1), 16–32. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2019.2948888>
- Goldsmith, A. (2005). *Wireless communications*. Cambridge University Press. <https://www.cambridge.org/core/books/wireless-communications/800BA8A8211FBECB133A7BB77CD2E2BD>
- Gupta, A., & Jha, R. K. (2015). A survey of 5G network: Architecture and emerging technologies. *IEEE Access*, 3, 1206–1232. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2015.2461602>
- Han, Z., et al. (2024). Energy consumption optimization for 5G base stations based on deep reinforcement learning. In *2024 10th International Conference on Computer and Communications (ICCC)* (pp. 1625–1629). <https://doi.org/10.1109/ICCC62609.2024.10942221>
- Iqbal, A., et al. (2023). Empowering non-terrestrial networks with artificial intelligence: A survey. *IEEE Access*, 11, 100986–101006. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3314732>
- Kement, C. E., et al. (2023). Sustaining dynamic traffic in dense urban areas with high altitude platform stations (HAPS). *IEEE Communications Magazine*, 61(7), 150–156. <https://doi.org/10.1109/MCOM.001.2200584>
- Lin, J., Ma, M., & Wang, X. (2024). Joint design of long-term base station activation and short-term beamforming for green wireless networks. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 23(1), 185–200. <https://doi.org/10.1109/TWC.2023.3276639>
- Mbarek, M. A., Meo, M., Renga, D., & Vallero, G. (2024, October). Adaptive HAPS Offloading: A Strategy for Supporting RAN During High Traffic Load. In *2024 20th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)* (pp. 1–6). <https://doi.org/10.1109/WiMob61911.2024.10770387>
- Movahedkor, N., & Shahbazian, R. (2024). Decentralized federated deep reinforcement learning framework for energy-efficient base station switching control. In *2024 11th International Symposium on Telecommunications (IST)* (pp. 455–460). <https://doi.org/10.1109/IST64061.2024.10843518>
- Nauman, A., Maashi, M., Alkahtani, H. K., Al-Wesabi, F. N., Aljehane, N. O., Assiri, M., ... & Khan, W. U. (2024). Efficient resource allocation and user association in NOMA-enabled vehicular-aided HetNets with high altitude platforms. *Computer Communications*, 216, 374–386. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2024.01.021>
- Omid, O., Yadav, A., Yanikomeroglu, H., Đào, N. -D., Senarath, G., & Zhu, P. (2024). HAPS for 6G networks: Potential use cases, open challenges, and possible solutions. *IEEE Wireless Communications*, 31(3), 324–331. <https://doi.org/10.1109/MWC.012.2200365>
- Ozturk, M., Salamatmoghadasi, M., & Yanikomeroglu, H. (2025). Integrating Terrestrial and Non-Terrestrial Networks for Sustainable 6G Operations: A Latency-Aware Multi-Tier Cell-Switching Approach. *IEEE Network*. <https://doi.org/10.1109/MNET.2025.3554393>
- Saad, M. M., Tariq, M. A., Khan, M. T. R., & Kim, D. (2024). Non-terrestrial networks: An overview of 3GPP release 17 & 18. *IEEE Internet of Things Magazine*, 7(1), 20–26. <https://doi.org/10.1109/IOTM.001.2300154>

Salamatmoghadasi, M., Mehrabian, A., & Yanikomeroglu, H. (2024). Energy sustainability in dense radio access networks via high altitude platform stations. *IEEE Networking Letters*, 6(1), 21–25. <https://doi.org/10.1109/LNET.2023.3328918>

Song, T., Lopez, D., Meo, M., Piovesan, N., & Renga, D. (2024). High altitude platform stations: The new network energy efficiency enabler in the 6G era. In *2024 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)* (pp. 1–6). <https://doi.org/10.1109/WCNC57260.2024.10571153>

Yahya, S., & Stanica, R. (2024). Assessing the energy impact of cell switch off at an urban scale. In *2024 20th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)* (pp. 36–41). <https://doi.org/10.1109/WiMob61911.2024.10770444>



Journal of Turkish Operations Management

A new approach for determining weight coefficients of criteria within the scope of multi-criteria decision making: Logarithmic effect-based measurement (LEBM)

Furkan Fahri Altıntaş^{1*}

Aydın Provincial Gendarmerie Command, Aydın,

furkanfahrialtintas@yahoo.com, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-0161-5862>

*Furkan Fahri Altıntaş

Article Info

Article History:

Received: 14.07.2023

Revised: 22.12.2023

Accepted: 06.12.2023

Keywords:

Logarithmic function

Logarithmic

Effect value

Weight coefficients

LEBM

MCDM

Abstract

In the literature of multi-criteria decision making (MCDM), there are many methods related to the measurement of weight coefficients of criteria. In this study, a mathematical model based on the logarithmic effect among criteria (Logarithmic Effect-Based Measurement, LEBM) is proposed to contribute to the MCDM literature and to calculate the weight coefficients of criteria. The dataset used in the study consists of criterion values belonging to the Logistics Performance Index (LPI) of 18 countries in the G20 group. According to the analysis results, the proposed method is considered successful in calculating the objective weight coefficients of criteria for countries. Additionally, the proposed method is compared with other objective weighting methods (ENTROPY, CRITIC, SD, SVP, LOPCOW, and MEREC) within the scope of sensitivity analysis. The findings indicate that the rankings of LPI weight coefficients measured using the proposed method are similar to those measured using the MEREC method, and the relationship between the LPI weight coefficients determined using the proposed method and the MEREC method is positive, significant, and strong. Therefore, it is believed that the proposed method will contribute both to the logarithmic function and the MCDM literature

1. Introduction

Multi-criteria decision making is a method used in complex decision processes and mathematical modelling, where many factors are taken into account. In this process, the evaluation and ranking of alternatives based on decision-makers' preferences and priorities are targeted. For this purpose, the weighting of the criteria that are the subject of decision-makers' preferences needs to be determined.

When examining the MCDM literature, it is possible to come across many methods for determining weight coefficients. In addition to these methods, in this research, a method is developed to determine the objective weight coefficients of variables based on the logarithmic function, which allows the analysis and modelling of variables in terms of their logarithmic relationships. Therefore, the research focuses on the analysis and modelling potential of logarithmic functions because it is known that logarithmic functions are used in different fields and are effective in solving various problems. In this context, the first aim of the research is to present a new method for calculating the weight coefficients of criteria according to decision alternatives within the scope of MCDM. The second aim is to popularize the use of logarithmic functions and increase awareness of their potentials, as logarithmic functions play an important role in solving and analyzing complex problems.

Objective weighting methods and logarithmic functions are explained in the literature of the research. The method section describes the analysis of the proposed method with the dataset. In the conclusion section, the

findings of the proposed method are evaluated, and a comparison is made with other objective weight determination techniques.

2. Literature

The selection of decision alternatives is a fundamental part of many decision-making processes. However, when choosing among different alternatives, situations arise where each alternative performs differently on different criteria. Therefore, it is important to accurately determine the weights of criteria in order to compare the performance of decision alternatives and select the most suitable one (Saaty, 2008). This is because traditionally, in multi-criteria decision-making problems, the importance of criteria is determined using weight coefficients (Ecer, 2020).

In the literature of Multi-Criteria Decision Making (MCDM), methods for determining weight coefficients are generally divided into subjective and objective approaches. This distinction is based on the sources of information used in determining the weight coefficients and the subjective or objective nature of the decision process (Ecer, 2020).

The fundamental characteristic of subjective weight coefficients is that they are based on decision-makers' experiences and evaluations made through their personal opinions. Therefore, since decision-makers create values based on their subjective thoughts, these values vary among individuals (Baş, 2021). These weight coefficients are usually obtained based on expert opinions. However, subjective evaluations by experts can lead to errors and biases in the decision process. On the other hand, objective approaches do not consider decision-makers' inconsistencies and uncertainties. Naturally, using mathematical models based on the information in the decision matrix, the weights of criteria can be calculated. In other words, objective weighting methods take into account the structure of the available data in the evaluation process (Ecer, 2020).

When examining the literature on Multi-Criteria Decision Making (MCDM), one can come across several objective weighting methods. These methods can be referred to as ENTROPY, CRITIC, CILOS, IDOCRIW, SD, SVP, MEREC, and LOPCOW. The ENTROPY method is based on the concept of ENTROPY. In this sense, the more disorder a criterion has, the more distinct it will be from others and become the most important criterion. Therefore, the ENTROPY method can be effectively used in the decision-making process. After preparing the decision matrix in this method, the standard values of the decision matrix and the ENTROPY measurement of the criteria are used to determine the ENTROPY weights of the criteria (Ayçin, 2019).

On the other hand, the CRITIC method is based on the relationships between criteria. By analyzing the relationships between criteria, contradictions among them can be identified. Subsequently, the contradictions associated with the criteria are weighted using standard deviation, enabling the determination of the weight coefficient values of the criteria. In the method, first, a decision matrix is created. Then, the normalized values of the decision matrix are calculated. By analyzing the relationships between criteria based on the normalized values, the weights of the criteria can be measured (Diakoulaki et al., 1995).

In the CILOS method, the relative importance of criteria is based on the extent of the impact deviation of other criteria from their ideal maximum and minimum values. Accordingly, if a criterion has a lower impact deviation, its weight coefficient increases. The method involves calculating the decision matrix, normalization, square matrix, and weight system matrix values in sequence, followed by solving a system of linear equations to determine the weight coefficients of the criteria (Zavadskas and Podvezko, 2016).

The IDOCRIW method is composed of the combination of the ENTROPY and CILOS methods. The method is based on determining the relative impact of a missing index. Initially, the weight coefficients of the criteria are determined based on the ENTROPY and CILOS methods using the values of the decision matrix. Then, the ENTROPY and CILOS weights are merged to obtain the IDOCRIW weights (Ecer, 2020).

The LOPCOW method relies on aggregating data from different dimensions to obtain appropriate or ideal weights. Additionally, this method aims to minimize the gaps between the most important and least important criteria. Furthermore, LOPCOW considers the interrelationships between criteria. In this method, the decision matrix is first prepared, and then the values of the decision matrix are normalized. Subsequently, the average square value as a percentage of the standard deviation of the criterion is calculated to eliminate the difference (gap) caused by the size of the data, and the weight coefficients of the criteria are measured (Ecer and Pamucar, 2022).

In the MEREC method, similar to other weighting methods, the decision matrix and the normalized decision matrix are first obtained. Then, the total performance values of the decision alternatives are calculated based on a natural logarithm-based structure. Subsequently, considering each decision alternative's value, the changes in the performance values of the other decision alternatives are determined again based on natural logarithm. At the end of the method, the weight values of the criteria are determined based on the calculation of the subtraction

effect on the criterion (sum of absolute deviations). Additionally, in the method, as the influence of criteria on decision alternatives increases, the weight coefficients of the criteria also increase (Keshavarz-Ghorabae et al., 2021).

The SD method is based on the distance of criteria values from the arithmetic mean of the criteria. In this method, first, the normalization of the decision matrix is achieved based on the decision matrix values. Then, the standard deviation values for each criterion are determined to determine the weights of the criteria (Uludağ and Doğan, 2021). In the SVP method, the weights of the criteria are measured by calculating the variances of the criteria based on the decision matrix values (Demir et al., 2021).

The SECA method allows for the determination of both the performance of decision alternatives and the weight coefficients of criteria relative to decision alternatives. In this method, the decision matrix values are standardized, and subsequently, disagreement degrees and standardization values are calculated using standard deviation. Based on this, the weights of the criteria can be calculated by solving a multi-objective linear model through the optimization of the model (Keshavarz-Ghorabae et al., 2018).

The DEMATEL method is a subjective weight determination method based on the relationship between criteria. For this purpose, the effects of criteria on each other are determined based on subjective evaluations, where 0 represents no effect, 1 represents low effect, 2 represents moderate effect, 3 represents high effect, and 4 represents very high effect. This information is used to create a direct relationship matrix. Subsequently, the standard relationship matrix, total relationship matrix, relationship diagram, threshold value, and finally, the weight coefficients of the criteria are determined (Gobus and Fontela, 1972). Altıntaş (2021) emphasized that instead of subjective evaluations in the direct relationship matrix, the effects of criteria on each other can be determined using the Somers' d correlation coefficient, allowing for the objective calculation of the weight coefficients of the criteria.

In the MCDA literature, the objective weights of criteria reveal two fundamental characteristics. The first one can be defined as the intensity of contrast in performance of decision alternatives on each criterion or the difference between maximum and minimum values among criteria. The second one is the distinctiveness or conflict among criteria. By revealing and utilizing these two characteristics, which are stored as inherent information in the data defining the multi-criteria problem, decision-makers can benefit in the decision-making process (Ecer, 2020).

In addition to these, another characteristic can be attributed to the potential of criteria to influence each other based on quantitative outcomes. If one criterion has a low-level positive influence on another criterion, activities can be developed concerning the influencing criterion for the improvement of the influenced criterion. Conversely, if the positive influence of one criterion on another leads to a decrease in the development of the influenced criterion, initiatives can be established to reduce or minimize the influence of the influencing criterion on the influenced criterion. Therefore, based on this logic, strategies, policies, and recommendations for the development of criteria can be provided concerning the interrelationships among criteria belonging to any concept. In this regard, logarithmic functions can be used for measuring the weight coefficients of criteria. Because based on logarithmic functions, the values of criteria influencing each other can be determined as dependent and independent variables (Karagöz, 2017).

Logarithmic functions were introduced by John Napier in the late 16th century. Furthermore, logarithmic functions played a crucial role in accurately calculating the orbits and motions of planets. Logarithm, in mathematical terms, represents a power that needs to be raised to a base to obtain a given number, as it is an exponentiation in reverse (Önal, 2010). For a given $b \in \mathbb{R}^+$ and $b \neq 1$, the logarithmic function ($f(x) = \log_b x$), denoted as $f(x) = b^x$, is the inverse of the exponential function $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}^+$, that is one-to-one and onto, where the base b is used. The domain of the function consists of positive real numbers, and the range consists of the set of real numbers (Kartal et al., 2014; Balaban, 2015; Kuruüzüm and Çetin, 2015; Eroğlu, 2017; Barnett et al., 2015).

Logarithmic functions offer several benefits in capturing the interactions between variables. Firstly, logarithmic functions are useful for transforming and smoothing data sets. Particularly in cases where data varies widely across a range, applying logarithmic transformation can make the data more homogeneous and amenable to analysis or normalization (Cleveland, 1994; Johnson and Wichern, 2007; Tabachnick and Fidell, 2013). Secondly, logarithmic scaling emphasizes proportional magnitudes. When the y-axis of a graph is scaled logarithmically, it enhances the visibility of proportional magnitudes (Tufte, 2001). Thirdly, logarithmic functions simplify certain mathematical operations. Specifically, multiplication and division operations can be transformed into addition and subtraction through logarithmic conversion, simplifying calculations in certain scenarios (Kutner, 2004).

In the literature, numerous studies can be found on the applications of logarithmic functions. Olefir and Lastovsky (2021) analyzed mathematical methods for forecasting under market conditions using logarithmic functions. Guo et al. (2020) utilized logarithmic functions to maximize the weighted sum rate (WSR) for all users by jointly designing the beamforming and phase vector of RIS elements. Verma et al. (2020) employed logarithmic functions to identify consumer food waste in an internationally comparable manner, based on food supply, energy deficiency, and consumer welfare. Zeng et al. (2021) proposed a weighted induced logarithmic distance-based method to address multi-attribute decision-making (MADM) problems using q-ROFS information. Choi et al. (2019) used logarithmic functions to model the bounding boxes (bbox) of YOLOv3, one of the most representative one-stage detectors, with Gaussian parameters and redesigned the loss function to improve detection accuracy while supporting real-time operation.

3. Method

3.1. Data Set and Analysis of the Study

The data set of the study consists of the LPI (Logistics Performance Index) component data for 18 countries in the G20 group for the year 2023. In the study, the proposed method was used to calculate the weight coefficients of the LPI components. For convenience, the abbreviations of the LPI components are shown in Table 1.

Table 1. LPI Components and Component Abbreviations

LPI Components	Component Abbreviations
Customs	LPI1
Infrastructure	LPI2
International Shipments	LPI3
Logistics Competence and Quality	LPI4
Timeliness Score	LPI5
Tracking and Tracing	LPI6

3.1. Data Set and Analysis of the Study

The data set of the study consists of the LPI (Logistics Performance Index) component data for 18 countries in the G20 group for the year 2023. In the study, the proposed method was used to calculate the weight coefficients of the LPI components. For convenience, the abbreviations of the LPI components are shown in Table 1.

3.2. Proposed Method: Logarithmic Effect Based Measurement (LEBM)

The relationship between two variables can be explained using various modeling approaches and functions. These functions can include linear, quadratic, compound, growth, logarithmic, cubic, S-shaped, exponential, inverse, power, and logistic functions. Depending on the roles of the variables as dependent and independent variables, their relationships can be represented by equations using the SPSS program (Karagöz, 2020).

In the proposed method, the relationships between the criteria are established based on logarithmic functions. Logarithmic functions are effective tools in data transformation and smoothing. Particularly, in cases where data vary widely, logarithmic transformation can make the data more homogeneous and enable analysis without losing information (Johnson and Wichern, 2007). Therefore, within the scope of the LEBM method, logarithmic functions are utilized to examine the relationships between two variables.

When the logarithmic function between two variables is determined using the SPSS program, the extent to which the independent variable's variation, between its maximum and minimum values in the dataset, affects the dependent variable can be calculated through definite integration. This calculation reveals the overall change induced by the independent variable on the dependent variable or the extent of its influence.

$f'(x)$ Is called the antiderivative or indefinite integral of the function $f(x)$. Since $f'(x) = \frac{df(x)}{dx}$, it can be written as $f'(x)dx = df(x)$. This expression is represented using the infinite and continuous summation symbol $\int$, as $\int f'(x)dx = \int df(x)$. From this equation, the equation $\int f'(x)dx = f(x)$ can be obtained. Therefore, the function to be integrated is $f'(x)$. Furthermore, $\int f(x)dx = F(x) + C$ where $\int_a^b f(x)dx = F(b) - F(a)$ represents the definite integral. Here, "a" represents the lower limit of the integral, and "b" represents the upper limit (Kartal, 2014). Thus, after determining the logarithmic relationships between the criteria using the logarithm function ($y = kx + t * \log(x)$), the extent to which the variation of the independent variable x between the limits "a" and "b" affects or changes the dependent variable "y" can be measured using definite integration. Based on this, the implementation steps of the proposed method are explained below.

Step 1: Obtaining the Decision Matrix

i: 1, 2, 3...n, where n represents the number of decision alternatives

j: 1, 2, 3,...m, where m represents the number of criteria

D: Decision matrix

C: Criterion

d_{ij} : The decision matrix is constructed according to Equation 1, where " i_j " represents the i-th decision alternative on the j-th criterion.

$$D = [d_{ij}]_{n \times m} = \begin{bmatrix} C_1 & C_2 & \dots & C_m \\ x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Step 2: Generation of Logarithmic Functions

Based on the number of criteria, m, logarithmic functions ($y = kx + t * \log(x)$) are generated for the variables up to a quantity of $\left\{2, C(m, 2) = 2 \cdot \frac{m!}{2!(m-2)!}\right\}$ using SPSS assistance (CURVE ESTIMATION), considering the logarithmic relationship between them.

$$(1) f(C_1) = C_2, f(C_1) = C_3, \dots f(C_1) = C_m \quad (2)$$

$$(2) f(C_2) = C_1, f(C_2) = C_3, \dots f(C_2) = C_m \quad (3)$$

$$(3) f(C_3) = C_1, f(C_3) = C_2, \dots f(C_3) = C_m \quad (4)$$

$$\begin{matrix} \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{matrix}$$

$$(m) f(C_m) = C_1, f(C_m) = C_2, \dots f(C_m) = C_{m-1} \quad (5)$$

Third Step: Calculation of Logarithmic Impact Value between Criteria

In this step, the extent to which an independent variable (one criterion) influences or changes a dependent variable (another criterion) is determined by evaluating the independent variable's effect within the range of its maximum and minimum values using definite integral calculation. Here, k represents the logarithmic impact value of one criterion on the other. It is important to ensure the absolute value of the impact values after the integral calculation.

$$(1) f(C_1) = C_2, \int_{C_{1min.}}^{C_{1maks.}} (f'(C_1)) dx = |k_{C_1 \rightarrow C_2}| \quad (6)$$

$$(2) f(C_1) = C_3, \int_{C_{1min.}}^{C_{1maks.}} (f'(C_1)) dx = |k_{C_1 \rightarrow C_3}| \quad (7)$$

$$(3) f(C_1) = C_4, \int_{C_{1min.}}^{C_{1maks.}} (f'(C_1)) dx = |k_{C_1 \rightarrow C_4}| \quad (8)$$

$$\begin{matrix} \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{matrix}$$

$$\left(\frac{m!}{(m-2)!}\right) f(C_m) = C_{m-1}, \int_{C_{mmin.}}^{C_{mmaks.}} (f'(C_m)) dx = |k_{C_m \rightarrow C_{m-1}}| \quad (9)$$

The absolute value of the impact value of one criterion on another criterion is emphasized above. This is because in this method, what matters is not the direction of the influence between criteria, but rather the magnitude of the influence.

Fourth Step: Calculation of the Total Logarithmic Impact Values of Each Criterion (T_c)

In this step, the logarithmic impact values of a criterion on other criteria are summed to measure the overall logarithmic impact value of a criterion on the other criteria.

$$(1) \text{ for } C_1 |k_{C_1 \rightarrow C_2}| + |k_{C_1 \rightarrow C_3}| + |k_{C_1 \rightarrow C_4}| \dots + |k_{C_1 \rightarrow C_m}| = \sum_{j=1}^{m-1} |k_{C_1 \rightarrow C_{j+1}}| = T_{C_1} \quad (10)$$

$$(2) \text{ for } C_2 \text{ için } |k_{C_2 \rightarrow C_1}| + |k_{C_2 \rightarrow C_3}| + |k_{C_2 \rightarrow C_4}| \dots \dots + |k_{C_2 \rightarrow C_m}| = \left(\sum_{j=2}^{m-1} |k_{C_2 \rightarrow C_{j+1}}| \right) - |k_{C_1 \rightarrow C_2}|$$

$$= T_{C_2} \quad (11)$$

$$(3) \text{ for } C_3 \left| k_{C_3 \rightarrow C_1} \right| + \left| k_{C_3 \rightarrow C_2} \right| + \left| k_{C_3 \rightarrow C_4} \right| \dots \dots + \left| k_{C_3 \rightarrow C_m} \right| = \left(\sum_{j=3}^{m-1} \left| k_{C_3 \rightarrow C_{j+1}} \right| \right) - \left| k_{C_3 \rightarrow C_1} \right| - \left| k_{C_3 \rightarrow C_2} \right|$$

$$= T_{C_3} \quad (12)$$

•	•	•		•	•	•		•	•	•
•	•	•		•	•	•		•	•	•
•	•	•		•	•	•		•	•	•
•	•	•		•	•	•		•	•	•
•	•	•		•	•	•		•	•	•

$$(m) \text{ for } C_m \left| k_{C_m \rightarrow c_1} \right| + \left| k_{C_m \rightarrow c_2} \right| + \left| k_{C_m \rightarrow c_3} \right| \dots \dots + \left| k_{C_m \rightarrow c_{m-1}} \right| = \left(\sum_{j=1}^{m-1} \left| k_{C_m \rightarrow c_j} \right| \right) - \left| k_{c_1 \rightarrow C_m} \right| - \left| k_{c_2 \rightarrow C_m} \right| - \dots - \left| k_{C_{m-1} \rightarrow C_m} \right| = T_{C_m} \quad (13)$$

Fifth Step: Determination of Criterion Weight Values (w_j)

In this step, the total logarithmic impact value of each criterion on the other criteria is divided by the sum of the total logarithmic impact values of all criteria. This allows for the calculation of the weight coefficient of each criterion.

$$w_j = \frac{T_{c_j}}{\sum_{i=1}^m T_{c_i}} \quad (14)$$

The advantages of the LEBM method can be classified into two categories: quantity and quality. These advantages are explained below in bullet points:

Quantity-Based Advantages of the LEBM Method:

One of the key features of the method is that it does not require data normalization or standardization. In the second step, by using logarithmic functions, the data is already normalized, allowing for more homogeneous representation of data with wide-ranging variations. This enhances the analyzability of the data. The impact values between criteria in the second and third steps of the method are within the range of $[-1, 0, 1]$ for each criterion. Additionally, when the data set is normalized, there is a difference between the impact values derived from the logarithmic functions between the criteria before and after normalization. Consequently, the impact values between the criteria, calculated using logarithmic functions based on the data set after normalization, diminish. As a result, when data normalization is performed, the logarithmic impact values between the criteria, determined based on the logarithmic functions, suffer from data loss.

Another significant advantage of the method is its flexible nature, which allows for easy reflection of complex interactions and transformations among the criteria.

The third advantage of the method is that logarithmic transformations reduce the influence of large values in the data set while making small values more pronounced. This process creates a more symmetrical distribution of the data set, thus establishing a more suitable structure for analysis and modeling.

The fourth advantage of the method is that it prevents variables with large values from dominating variables with small values. This enables a fair evaluation among variables in decision-making processes.

The fifth advantage of the method, the method reduces the impact of outliers and enhances the reliability of the analysis results.

Lastly, one of the important features of the method is that it focuses on determining the extent of the influence between criteria, rather than the direction of influence. This allows for a comprehensive understanding of the quantitative impact of criteria on each other.

Qualitative-Based Advantages of the LEBM Method:

Identification of Improvement Opportunities: Criteria with higher weights exert a greater influence on other criteria, making them suitable targets for identifying improvement opportunities. Understanding the relationships between criteria and determining their impact values indicate where improvement efforts should be concentrated. In other words, it allows for investigating the theoretical cause-and-effect relationships between criteria and determining the direction of their influence. Consequently, it becomes easier to identify which criteria should be prioritized or improved based on the decision alternatives.

Prioritization: Determining the weights allows for prioritization among the criteria. Criteria with higher weights are considered more important compared to other criteria. This enables the identification of which criteria should receive greater focus in strategic planning and decision-making processes.

Performance Evaluation: The weight coefficients can be utilized in the performance evaluation of the criteria. Criteria with higher weights are regarded as having a greater impact on the organization's or system's performance. This facilitates more effective performance evaluation and improvement efforts by concentrating on the most critical criteria.

Strategic Planning: The weight coefficients contribute to the appropriate allocation of resources and efforts in the strategic planning process. By focusing on criteria with higher weights, more suitable strategies and actions can be identified to align with strategic objectives. This aids in the development of strategic plans aimed at enhancing the overall performance of the organization or system.

The LEBM method has both advantages and disadvantages. One of the disadvantages is that, compared to many objective weighting methods in the literature, this method requires complex calculations for determining the weight coefficients of the criteria. Particularly as the number of criteria increases, the calculations can become more complicated due to the multitude of interaction values between criteria. Another disadvantage is the reliance on SPSS or other statistical software programs for identifying the logarithmic relationships between criteria. Without the SPSS program, the calculation of weight coefficients according to the method becomes more complex and time-consuming. A third disadvantage is that if there is no theoretical cause-and-effect relationship between the criteria, there may be limited opportunities for improving the criteria. Lastly, the fourth disadvantage is the need for transformation using Z-scores when values in the decision matrix are negative or 0 to ensure that the values are positive and different from zero. This disadvantage is also present in the ENTROPY and MEREC methods, as both methods rely on logarithmic measurements.

The LEBM method shares some similarities with the MEREC method in terms of the applied mathematical approaches. Firstly, both methods consider logarithmic effects. Another similarity is the identification of criteria with significant logarithmic effects as the most important criteria. The differences between the two methods are evident in their computational logic and equations. In the MEREC method, the logarithmic effects of criteria on decision alternatives are taken into account, rather than the effects of criteria on each other. In the LEBM method, on the other hand, the logarithmic effects of criteria on each other are evaluated. Additionally, in the MEREC method, the values of all criteria are taken into account when determining their effects on decision alternatives. In the LEBM method, however, only the logarithmic relationships between two criteria are determined.

4. The Case Study (Conclusion)

The application involved the utilization of the six component values that constitute the 2023 LPI for the 18 countries in the G20 group. These respective component values are represented by equation 1 and are presented in Table 2.

Table 2. Decision Matrix (LPI Component Values of Countries)

Economies	LPI1	LPI2	LPI3	LPI4	LPI5	LPI6
Argentina	2,7	2,8	2,7	2,7	3,1	2,9
Australia	3,7	4,1	3,1	3,9	3,6	4,1
Canada	4,0	4,3	3,6	4,2	4,1	4,1
China	3,3	4,0	3,6	3,8	3,7	3,8
France	3,7	3,8	3,7	3,8	4,1	4,0
Germany	3,9	4,3	3,7	4,2	4,1	4,2

India	3,0	3,2	3,5	3,5	3,6	3,4
Indonesia	2,8	2,9	3,0	2,9	3,3	3,0
Italy	3,4	3,8	3,4	3,8	3,9	3,9
Japan	3,9	4,2	3,3	4,1	4,0	4,0
Korea, Rep.	3,9	4,1	3,4	3,8	3,8	3,8
Mexico	2,5	2,8	2,8	3,0	3,5	3,1
Russia Fed.	2,4	2,7	2,3	2,6	2,9	2,5
Saudi Arabia	3,0	3,6	3,3	3,3	3,6	3,5
South Africa	3,3	3,6	3,6	3,8	3,8	3,8
Türkiye	3,0	3,4	3,4	3,5	3,6	3,5
United King.	3,5	3,7	3,5	3,7	3,7	4,0
USA	3,7	3,9	3,4	3,9	3,8	4,2

In the second step of the model, considering the presence of 6 components, the functional equation denoted by $\left\{2. C(m, 2) = 2. \frac{m!}{2!.(m-2)!}\right\}$ is used to illustrate the logarithmic relationships among the components, resulting in Equation 2. Therefore, in order to capture the interplay among the components, 30 logarithmic function equations (Equations 2, 3, 4, and 5) were established based on CURVE analysis using SPSS. These respective functions are indicated in Table 3.

Table 3. Logarithmic Functions Derived Based on the Interrelationships between Components

Independent Components	Dependent Components	Logarithmic Functions	Independent Components	Dependent Components	Logarithmic Functions
LPI1→	LPI2	$y = -0,201 + 3,22 * \log(x)$	LPI4→	LPI1	$y = -0,739 + 3,202 * \log(x)$
	LPI3	$y = 1,151 + 1,805 * \log(x)$		LPI2	$y = -0,777 + 3,474 * \log(x)$
	LPI4	$y = 0,151 + 2,892 * \log(x)$		LPI3	$y = 0,482 + 2,221 * \log(x)$
	LPI5	$y = 1,544 + 1,797 * \log(x)$		LPI5	$y = 1,018 + 2,100 * \log(x)$
	LPI6	$y = 0,191 + 2,918 * \log(x)$		LPI6	$y = -0,498 + 3,280 * \log(x)$
LPI2→	LPI1	$y = -0,630 + 3,093 * \log(x)$	LPI5→	LPI1	$y = -2,692 + 4,628 * \log(x)$
	LPI3	$y = 0,902 + 1,875 * \log(x)$		LPI2	$y = -2,714 + 4,880 * \log(x)$
	LPI4	$y = -0,259 + 3,011 * \log(x)$		LPI3	$y = -1,358 + 3,583 * \log(x)$
	LPI5	$y = 1,348 + 1,826 * \log(x)$		LPI4	$y = 2,715 + 4,851 * \log(x)$
	LPI6	$y = 0,160 + 2,991 * \log(x)$		LPI6	$y = -2,579 + 4,802 * \log(x)$
LPI3→	LPI1	$y = 0,193 + 2,961 * \log(x)$	LPI6→	LPI1	$y = -0,740 + 3,154 * \log(x)$
	LPI2	$y = -0,176 + 3,205 * \log(x)$		LPI2	$y = -0,711 + 3,368 * \log(x)$
	LPI4	$y = -0,308 + 3,284 * \log(x)$		LPI3	$y = 0,476 + 2,191 * \log(x)$
	LPI5	$y = 0,937 + 2,312 * \log(x)$		LPI4	$y = -0,539 + 3,204 * \log(x)$
	LPI6	$y = -0,266 + 3,309 * \log(x)$		LPI5	$y = 1,050 + 2,042 * \log(x)$

In the third stage of the method, logarithmic impact values between criteria were calculated using equations 6, 7, 8, and 9. The calculations of the impact values of LPI1 criterion on other criteria are explained below. The measurement of impact values for other LPI components is shown in Appendix A.

$$\bullet \quad f(LPI1)=LPI2$$

$$f(x) = y = -0,201 + 3,22 \log(x)$$

$$f'(x) = 161. \log(e)/(50x)$$

$$\int_{2.4}^4 \frac{161 \log(e)}{50x} dx = \log(e) \left(\frac{161 \ln(2)}{25} - \frac{161 \ln(2.4)}{50} \right) = 0,714$$

$$\bullet \quad f(LPI1)=LPI3$$

$$f(x) = y = 1.151 + 1.805 \log(x)$$

$$f'(x) = \frac{361 \log(e)}{200x}$$

$$\int_{2.4}^4 \frac{361 \log(e)}{200x} dx = \log(e) \left(\frac{361 \ln(2)}{100} - \frac{361 \ln(2.4)}{200} \right) = 0,400$$

$$\bullet \quad f(LPI1)=LPI4$$

$$f(x) = y = 0.151 + 2.892 \log(x)$$

$$f'(x) = \frac{723 \log(e)}{250x} = 0,642$$

$$\int_{2.4}^4 \frac{723 \log(e)}{250x} dx = \log(e) \left(\frac{723 \ln(2)}{125} - \frac{723 \ln(2.4)}{250} \right) = 0,642$$

$$\bullet \quad f(LPI1)=LPI5$$

$$f(x) = y = 1.544 + 1.797 \log(x)$$

$$f'(x) = \frac{1797 \log(e)}{1000x}$$

$$\int_{2.4}^4 \frac{1797 \log(e)}{1000x} dx = \log(e) \left(\frac{1797 \ln(2)}{500} - \frac{1797 \ln(2.4)}{1000} \right) = 0,399$$

$$\bullet \quad f(LPI1)=LPI6$$

$$f(x) = y = 0.191 + 2.918 \log(x)$$

$$f'(x) = \frac{1459 \log(e)}{500x}$$

$$\int_{2.4}^4 \frac{1459 \log(e)}{500x} dx = \log(e) \left(\frac{1459 \ln(2)}{250} - \frac{1459 \ln(2.4)}{500} \right) = 0,647$$

In the fourth step of the method, the total logarithmic impact values of each criterion were calculated using equations 10, 11, 12, and 13, and they are presented in Table 3.

Table 3. Sum of Logarithmic Impact Values of LPI Components on Each Other

Independent Component	Dependent Components	Effect Value	Absolute Value	Independent Component	Dependent Components	Effect Value	Absolute Value
LPI1→	LPI2	0,714	0,714	LPI4→	LPI1	0,667	0,667
	LPI3	0,400	0,400		LPI2	0,724	0,724
	LPI4	0,642	0,642		LPI3	0,463	0,463
	LPI5	0,399	0,399		LPI5	0,437	0,437
	LPI6	0,647	0,647		LPI6	0,683	0,683
	Total		2,802		Total		2,974
LPI2→	LPI1	0,625	0,625	LPI5→	LPI1	0,696	0,696
	LPI3	0,379	0,379		LPI2	0,734	0,734
	LPI4	0,609	0,609		LPI3	0,539	0,539
	LPI5	0,369	0,369		LPI4	0,730	0,730
	LPI6	0,604	0,604		LPI6	0,722	0,722
	Total		2,586		Total		3,421
LPI3→	LPI1	0,611	0,611	LPI6→	LPI1	0,711	0,711

LPI2	0,662	0,662	LPI2	0,759	0,759
LPI4	0,678	0,678	LPI3	0,494	0,494
LPI5	0,477	0,477	LPI4	0,722	0,722
LPI6	0,683	0,683	LPI5	0,469	0,469
Total	3,111		Total	3,155	

Furthermore, in Equation 14, the weight coefficients (degrees of importance) of the criteria are calculated, and the values are presented in Table 4.

Table 4. Weighting Coefficients of the Components.

LPI Components	Total Effects	w	Ranking
LPI1	2,802	0,155244	5
LPI2	2,586	0,143277	6
LPI3	3,111	0,172314	3
LPI4	2,974	0,164774	4
LPI5	3,421	0,189540	1
LPI6	3,155	0,174802	2
Total	18,04	-----	-----

Upon examining Table 4, the weighting coefficients of the LPI components are ranked as follows LPI5, LPI6, LPI3, LPI4, LPI1, and LPI2.

In the study, sensitivity analysis of the LEBM method was conducted in terms of methodology. Sensitivity analysis in the context of MCDA can be performed by comparing the values and rankings obtained by applying different criteria weighting methods to the same data (Gigovič, 2016). Accordingly, for the sensitivity analysis, the weighting coefficients of the LPI components were measured and ranked based on commonly used objective weighting methods in the literature, such as ENTROPY, CRITIC, SD (Standard Deviation), SVP (Statistical Variance Procedure), MEREC, and LOPCOW. The corresponding values are presented in Table 5.

Table 5. Values for Other Methods of Calculating Objective Weighting Coefficients

LPI	ENTROPY		CRITIC		SD	
	Value	Ranking	Value	Ranking	Value	Ranking
LPI1	0,222945	1	0,148589	3	0,196204	1
LPI2	0,210584	2	0,122964	4	0,190162	2
LPI3	0,128961	5	0,319406	1	0,147672	5
LPI4	0,181127	3	0,082131	6	0,175726	3
LPI5	0,076881	6	0,218173	2	0,115892	6
LPI6	0,179502	4	0,108738	5	0,174343	4
LPI	SVP		LOPCOW		MEREC	
	Value	Ranking	Value	Ranking	Value	Ranking
LPI1	0,200716	2	0,154187	5	0,149797	5
LPI2	0,22458	1	0,141623	6	0,132971	6
LPI3	0,111106	5	0,193551	1	0,179704	3
LPI4	0,187108	4	0,158815	4	0,151747	4
LPI5	0,084873	6	0,166201	3	0,188583	2
LPI6	0,191619	3	0,185623	2	0,197197	1

When Tables 4 and 5 are examined together, it is observed that the ranking of the LPI criterion weighting coefficients determined according to the LEBM method differs from the LPI criterion rankings generated by other methods. Furthermore, according to Table 5, the ranking of LPI criterion weighting coefficient values measured using the LEBM method is consistent with the ranking of decision alternatives as 1 for SVP, 4 for LOPCOW, and 5 for MEREC. In the context of sensitivity analysis, a visual representation of the differentiation distances between the weighting coefficient values of LPI components calculated according to the LEBM

method and other criterion weighting determination methods, based on the values specified in Table 5, was created. The corresponding visual is presented in Figure 1.

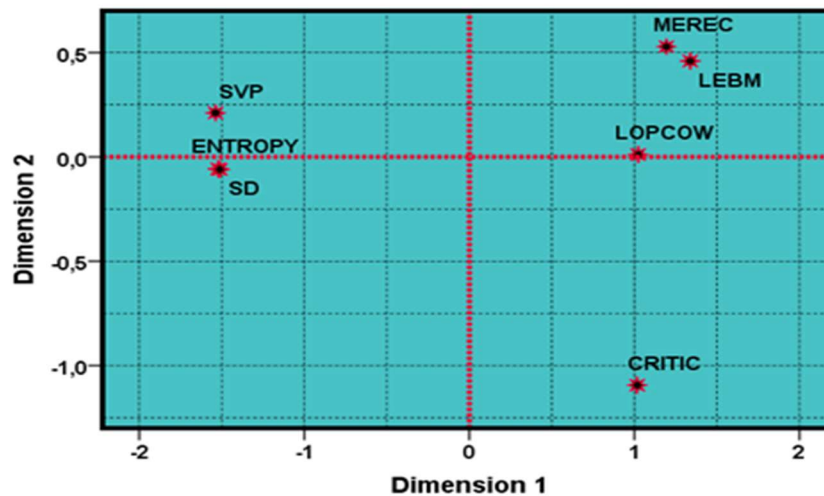


Figure 1. Discrimination Distance Visualization Based on Methods

Upon examining Figure 1, it is observed that the LEBM method has different positions in the space compared to other methods. Additionally, according to Figure 1, it is determined that the LEBM method is closest to the LOPCOW and MEREC methods. In relation to this, the correlation values between the weighting coefficient values of the LPI components calculated within the scope of the methods are presented in Table 6.

Table 6. Correlation Values between Weighting Coefficient Values of Identified LPI Components based on Methods

Methods	LEBM	ENTROPY	CRITIC	SD	SVP	LOPCOW	MEREC
LEBM	1						
ENTROPY	-0,879**	1					
CRITIC	0,423	-0,635**	1				
SD	-0,876**	0,999**	-0,628**	1			
SVP	-0,848**	0,959**	-0,781**	0,957**	1		
LOPCOW	0,652**	-0,493*	0,575*	-0,465*	-0,555*	1	
MEREC	0,889**	-0,678**	0,393	-0,669*	-0,652*	0,838**	1

$p^* < .05$, $p^{**} < .01$

When Table 6 is examined, it is observed that the relationships between the weighting coefficient values of LPI components measured within the LEBM ENTROPY, SD, and SVP methods are significant, negative, and high. In contrast, it is observed that the weighting coefficients of LPI criteria calculated according to the LEBM method have a positive, insignificant, and weak relationship with the weighting coefficients of LPI criteria measured using the CRITIC method, a positive, significant, and moderate relationship with the weighting coefficients of LPI criteria measured using the LOPCOW method, and a positive, significant, and high-level relationship with the weighting coefficients of LPI criteria measured using the MEREC method.

In addition to that, 10 scenarios were created by assigning different quantities to the LPI values of countries, and the degrees of importance of LPI criteria were measured according to the methods within the scope of these scenarios. Upon examining the scenarios, it was found that none of the weighting coefficients of the criteria determined by the ENTROPY, CRITIC, SD, and SVP methods were consistent with the ranking of the weighting coefficient values of LPI components calculated using the LEBM method. Within the LOBCOW method, the ranking of 4 criteria in 7 scenarios and 3 criteria in 3 scenarios, and within the MEREC method, the ranking of 5 criteria in all 10 scenarios, showed consistency with the ranking of LPI criterion weighting coefficient values measured using the LEBM method. Furthermore, it has been determined that the correlation values among the weighting coefficient values of LPI criteria determined according to the methods in the created scenarios are generally consistent with the correlation values shown in Table 6.

5. Results and Discussion

Multi-criteria decision making is a widely used method for solving complex decision problems. This method aims to make choices among different alternatives by considering a set of criteria. However, the importance of each criterion may vary, and therefore, it is important to weight the criteria. Determining the weights allows for an objective and unbiased approach in the decision-making process, clarifying the relationships and priorities among the criteria. This enables more consistent and reliable results to be obtained in the decision-making process. Consequently, many researchers have developed new methods for calculating the weight coefficients of criteria. Each method has contributed to the literature of Multiple Criteria Decision Making (MCDM) by employing different techniques. Furthermore, as new techniques for determining the weight coefficients of criteria continue to emerge, there is an increasing specialization in calculating these weights. Therefore, in this study, a new method based on logarithmic functions (Logarithmic ENTROPY-Based Method or LEBM) is proposed for calculating the weight coefficients of criteria.

The underlying logic of the LEBM method is to establish logarithmic effects among the criteria. Considering the advantages of logarithmic functions and the proposed method (flattening the data structure, equalizing differences in magnitudes, reducing the impact of outliers in the dataset, linearizing relationships), the effects among the criteria can be calculated, and the criterion with the highest cumulative effect can be evaluated as the most important criterion. The most important criterion has the potential to influence other criteria, thus activities or measures related to the most important criterion can contribute to the development of other criteria. Additionally, a system can be developed to determine the strategies for decision alternatives in relation to the most important criterion(s).

The dataset of the study consisted of the Logistics Performance Index (LPI) data of 18 countries in the G20 group for the year 2023. First, the weight coefficients of the LPI components measured by the LEBM method were calculated. Second, the weight coefficients of the LPI components measured by the LEBM method were compared with the weight coefficients of the LPI criteria measured by other objective weighting methods (ENTROPY, CRITIC, Standard Deviation, Statistical Variance Procedure, MEREC, and LOPCOW) within the scope of sensitivity analysis using the same dataset. According to the findings, the weight coefficient rankings of the LPI criteria determined according to the LEBM method were observed to be different from the weight coefficient rankings of the LPI components measured by the ENTROPY, CRITIC, Standard Deviation, Statistical Variance Procedure, MEREC, and LOPCOW methods. The ranking of the weight coefficients of the LPI components determined by the LEBM method was consistent with the ranking of the weight coefficients of the LPI components determined by the MEREC method to the highest extent. In the continuation of the sensitivity analysis, a discrimination distance visualization of the weight coefficients of the LPI components determined according to the methods was created. According to the findings, it was determined that the LEBM method was closest to the MEREC and LOPCOW methods in the space.

Furthermore, the correlation values between the weight coefficients of the LPI criteria measured by the LEBM method and the weight coefficients of the criteria measured by other weighting methods were calculated. According to the findings, significant relationships were found between the weight coefficients of the LPI criteria determined within the scope of the LEBM method and the weight coefficients of the LPI components measured by the ENTROPY, CRITIC, Standard Deviation, Statistical Variance Procedure, LOPCOW, and MEREC methods. In this context, it was determined that the weight coefficients of the LPI components determined within the scope of the LEBM method were negatively and highly correlated with the LPI components calculated by the ENTROPY, Standard Deviation, and Statistical Variance Procedure methods. Furthermore, positive and moderate-to-high relationships were observed between the weight coefficients of the LPI components determined by the LEBM method and the weight coefficients of the LPI components determined by the CRITIC, LOPCOW, and MEREC methods, respectively, except for the CRITIC method. However, it was found that the relationship between the weight coefficients of the LPI determined by the LEBM method and the weight coefficients of the LPI determined by the CRITIC method was insignificant.

In addition, different quantities were assigned to the LPI values of countries within the framework of 10 scenarios. In each scenario, the ranking of the LPI criteria determined by the proposed method showed the highest consistency with the rankings determined by the MEREC method. Furthermore, it was determined that the importance degrees of the LPI components determined by the methods within the scenarios, where different values were assigned to the LPI criteria, were very similar to the relationship quantity values calculated by the methods based on the original LPI values.

In conclusion, this analysis attempts to demonstrate that the weights of criteria can be measured using the LEBM method within the framework of MCDM literature. The proposed method is considered to provide a valuable tool for the objective evaluation of the performance of decision alternatives. The research findings can serve as an important reference for researchers and decision-makers in the relevant field. Consequently, it is evaluated

that the research results will encourage a greater focus on logarithmic functions in mathematical modeling processes in academic circles, businesses, and other organizations. Additionally, it is concluded that the LEBM method is an effective tool for decision-makers in the selection and decision-making processes regarding the performance of decision alternatives.

Conflict of interest

No conflict of interest was declared by the authors.

Appendix A

LPI2

$$\bullet f(LPI2)=LPI1$$

$$\text{deriv}(-0.63+3.093\log(x),x) = \frac{3093\log(e)}{1000x}$$

$$\int_{2.7}^{4.3} \frac{3093\log(e)}{1000x} dx = \log(e) \left(\frac{3093\ln(4.3) - 3093\ln(2.7)}{1000} \right) = 0,625$$

$$\bullet f(LPI2)=LPI3$$

$$\text{deriv}(0.902+1.875\log(x),x) = \frac{15\log(e)}{8x}$$

$$\int_{2.7}^{4.3} \frac{15\log(e)}{8x} dx = \log(e) \left(\frac{15\ln(4.3) - 15\ln(2.7)}{8} \right) = 0,379$$

$$\bullet f(LPI2)=LPI4$$

$$\text{deriv}(0.259+3.011\log(x),x) = \frac{3011\log(e)}{1000x}$$

$$\int_{2.7}^{4.3} \frac{3011\log(e)}{1000x} dx = \log(e) \left(\frac{3011\ln(4.3) - 3011\ln(2.7)}{1000} \right) = 0,609$$

$$\bullet f(LPI2)=LPI5$$

$$\text{deriv}(1.348+1.826\log(x),x) = \frac{913\log(e)}{500x}$$

$$\int_{2.7}^{4.3} \frac{913\log(e)}{500x} dx = \log(e) \left(\frac{913\ln(4.3) - 913\ln(2.7)}{500} \right) = 0,369$$

$$\bullet f(LPI2)=LPI5$$

$$\text{deriv}(0.1601+2.991\log(x),x) = \frac{2991\log(e)}{1000x}$$

$$\int_{2.7}^{4.3} \frac{2991\log(e)}{1000x} dx = \log(e) \left(\frac{2991\ln(4.3) - 2991\ln(2.7)}{1000} \right) = 0,604$$

LPI3

$$\bullet f(LPI3)=LPI1$$

$$\text{deriv}(0.193+2.961\log(x),x) = \frac{2961\log(e)}{1000x}$$

$$\int_{2.3}^{3.7} \frac{2961 \log(e)}{1000x} dx = \log(e) \left(\frac{2961 \ln(3.7) - 2961 \ln(2.3)}{1000} \right) = 0,611$$

$$\bullet f(LPI3)=LPI2$$

$$\text{deriv}(-0.176+3.205 \log(x),x) = \frac{641 \log(e)}{200x}$$

$$\int_{2.3}^{3.7} \frac{641 \log(e)}{200x} dx = \log(e) \left(\frac{641 \ln(3.7) - 641 \ln(2.3)}{200} \right) = 0,662$$

$$\bullet f(LPI3)=LPI4$$

$$\text{deriv}(-0.308+3.284 \log(x),x) = \frac{821 \log(e)}{250x}$$

$$\int_{2.3}^{3.7} \frac{821 \log(e)}{250x} dx = \log(e) \left(\frac{821 \ln(3.7) - 821 \ln(2.3)}{250} \right) = 0,678$$

$$\bullet f(LPI3)=LPI5$$

$$\text{deriv}(0.937+2.312 \log(x),x) = \frac{289 \log(e)}{125x}$$

$$\int_{2.3}^{3.7} \frac{289 \log(e)}{125x} dx = \log(e) \left(\frac{289 \ln(3.7) - 289 \ln(2.3)}{125} \right) = 0,477$$

$$\text{deriv}(-0.266+3.309 \log(x),x) = \frac{3309 \log(e)}{1000x}$$

$$\int_{2.3}^{3.7} \frac{3309 \log(e)}{1000x} dx = \log(e) \left(\frac{3309 \ln(3.7) - 3309 \ln(2.3)}{1000} \right) = 0,683$$

LPI4

$$\bullet f(LPI4)=LPI1$$

$$\text{deriv}(-0.739+3.202 \log(x),x) = \frac{1601 \log(e)}{500x}$$

$$\int_{2.6}^{4.2} \frac{1601 \log(e)}{500x} dx = \log(e) \left(\frac{1601 \ln(4.2) - 1601 \ln(2.6)}{500} \right) = 0,667$$

$$\bullet f(LPI4)=LPI2$$

$$\text{deriv}(-0.777+3.474 \log(x),x) = \frac{1737 \log(e)}{500x}$$

$$\int_{2.6}^{4.2} \frac{1737 \log(e)}{500x} dx = \log(e) \left(\frac{1737 \ln(4.2) - 1737 \ln(2.6)}{500} \right) = 0,724$$

$$\bullet f(LPI4)=LPI3$$

$$\text{deriv}(0.482+2.221 \log(x),x) = \frac{2221 \log(e)}{1000x}$$

$$\int_{2.6}^{4.2} \frac{2221 \log(e)}{1000x} dx = \log(e) \left(\frac{2221 \ln(4.2) - 2221 \ln(2.6)}{1000} \right) = 0,463$$

$$\bullet f(LPI4)=LPI5$$

$$\text{deriv}(1.018+2.1\log(x),x) = \frac{21\log(e)}{10x}$$

$$\int_{2.6}^{4.2} \frac{21\log(e)}{10x} dx = \log(e) \left(\frac{21\ln(4.2) - 21\ln(2.6)}{10} \right) = 0,437$$

$$\bullet f(LPI4)=LPI6$$

$$\text{deriv}(-0.498+3.28\log(x),x) = \frac{82\log(e)}{25x}$$

$$\int_{2.6}^{4.2} \frac{82\log(e)}{25x} dx = \log(e) \left(\frac{82\ln(4.2) - 82\ln(2.6)}{25} \right) = 0,683$$

LPI5

$$\bullet f(LPI5)=LPI1$$

$$\text{deriv}(-2.692+4.628\log(x),x) = \frac{1157\log(e)}{250x}$$

$$\int_{2.9}^{4.1} \frac{1157\log(e)}{250x} dx = \log(e) \left(\frac{1157\ln(4.1) - 1157\ln(2.9)}{250} \right) = 0,696$$

$$\bullet f(LPI5)=LPI2$$

$$\text{deriv}(-2.714+4.88\log(x),x) = \frac{122\log(e)}{25x}$$

$$\int_{2.9}^{4.1} \frac{122\log(e)}{25x} dx = \log(e) \left(\frac{122\ln(4.1) - 122\ln(2.9)}{25} \right) = 0,734$$

$$\bullet f(LPI5)=LPI3$$

$$\text{deriv}(-1.358+3.583\log(x),x) = \frac{3583\log(e)}{1000x}$$

$$\int_{2.9}^{4.1} \frac{3583\log(e)}{1000x} dx = \log(e) \left(\frac{3583\ln(4.1) - 3583\ln(2.9)}{1000} \right) = 0,539$$

$$\bullet f(LPI5)=LPI4$$

$$\text{deriv}(2.715+4.851\log(x),x) = \frac{4851\log(e)}{1000x}$$

$$\int_{2.9}^{4.1} \frac{4851\log(e)}{1000x} dx = \log(e) \left(\frac{4851\ln(4.1) - 4851\ln(2.9)}{1000} \right) = 0,730$$

$$\bullet f(LPI5)=LPI6$$

$$\text{deriv}(-2.579+4.802\log(x),x) = \frac{2401\log(e)}{500x}$$

$$\int_{2.9}^{4.1} \frac{2401\log(e)}{500x} dx = \log(e) \left(\frac{2401\ln(4.1) - 2401\ln(2.9)}{500} \right) = 0,722$$

LPI6

$$\bullet f(LPI6)=LPI1$$

$$\text{deriv}(-0.74+3.154\log(x),x) = \frac{1577\log(e)}{500x}$$

$$\int_{2.5}^{4.2} \frac{1577 \log(e)}{500x} dx = \log(e) \left(\frac{1577 \ln(4.2) - 1577 \ln(2.5)}{500} \right) = 0,711$$

$$\bullet f(LPI6) = LPI2$$

$$\text{deriv}(-0.711 + 3.368 \log(x), x) = \frac{421 \log(e)}{125x}$$

$$\int_{2.5}^{4.2} \frac{421 \log(e)}{125x} dx = \log(e) \left(\frac{421 \ln(4.2) - 421 \ln(2.5)}{125} \right) = 0,759$$

$$\bullet f(LPI6) = LPI3$$

$$\text{deriv}(0.476 + 2.191 \log(x), x) = \frac{2191 \log(e)}{1000x}$$

$$\int_{2.5}^{4.2} \frac{2191 \log(e)}{1000x} dx = \log(e) \left(\frac{2191 \ln(4.2) - 2191 \ln(2.5)}{1000} \right) = 0,494$$

$$\bullet f(LPI6) = LPI4$$

$$\text{deriv}(-0.539 + 3.204 \log(x), x) = \frac{801 \log(e)}{250x}$$

$$\int_{2.5}^{4.2} \frac{801 \log(e)}{250x} dx = \log(e) \left(\frac{801 \ln(4.2) - 801 \ln(2.5)}{250} \right) = 0,722$$

$$\bullet f(LPI6) = LPI5$$

$$\text{deriv}(1.05 + 2.042 \log(x), x) = \frac{1021 \log(e)}{500x}$$

$$\int_{2.5}^{4.2} \frac{1021 \log(e)}{500x} dx = \log(e) \left(\frac{1021 \ln(4.2) - 1021 \ln(2.5)}{500} \right) = 0,469$$

REFERENCES

- Altıntaş, F. F. (2021). Sosyal gelişme endeksi boyutları arasındaki ilişkilerin Somer D temelli DEMATEL yöntemi ile analizi. *Business and Economics Research Journal*, 12(2), 319-338. doi: 10.20409/berj.2021.324
- Ayçin, E. (2019). *Çok Kriterli Karar Verme*. Ankara: Nobel Yayın.
- Balaban, E. (2015). *Temel Matematik ve İşletme Uygulamaları*. İstanbul: Türkmen Kitapevi.
- Baş, F. (2021). *Çok kriterli karar verme yöntemlerinde kriter ağırlıklarının belirlenmesi*. Ankara: Nobel Bilimsel.
- Bernett, M. A., Ziegler, M., & Byleen, K. E. (2015). *Calculus for Business, Economics, Life Sciences and Social Sciences*. Pearson: New York.
- Cleveland, W. S. (1994). *The Elements Of Graphing Data*. Monterey: Wadsworth Advanced Books and Software.
- Choi, J. Chun, D. Kim, H. and Lee, H. -J. (2019). Gaussian YOLOv3: An Accurate and Fast Object Detector Using Localization Uncertainty for Autonomous Driving, *2019 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV)*, Seoul, 502-511. doi: 10.1109/ICCV.2019.00059.
- Demir, G., Özyalçın, T., & Bircan, H. (2021). *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve ÇKKV Yazılımı ile Problem Çözümü*. Ankara: Nobel.
- Diakoulaki, D., Mavrotas, G., & Papayannakis, L. (1995). Determining Objective Weights in Multiple Criteria Problems: The Critic Method. *Computers & Operations Research*, 22(7), 763-770. doi: 10.1016/0305-0548(94)00059-H
- Ecer, F. (2020). *Çok Kriterli Karar Verme*. Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- Ecer, F., & Pamucar, D. (2022). A novel LOPCOW-DOBI multi-criteria sustainability performance assessment methodology: An application in developing country banking sector. *Omega*(112), 1-17. doi: 10.1016/j.omega.2022.102690
- Eroğlu, E. (2015). *İşletme, İktisat ve Sosyal Bilimler için Matematik*. Bursa: Dora Yayın.
- Gabus, A., & Fontela, E. (1972). *Worls problems, an Innovation to further tgought within the framework of DEMATEL*. Geneva: Battle Geneva Research Center. <https://www.scienceopen.com/book?vid=f6e5887c-7f0c-4303-8379-58fe891eeb03>
- Gigovič, L., Pamučar, D., Bajič, Z., & Milicevič, M. (2016). The Combination of Expert Judgment and GIS-MAIRCA Analysis for the Selection of Sites for Ammunition Depots. *Sustainability*, 8(232), 1-30. doi: 10.3390/su8040372
- Guo, H. Liang, Y. C., Chen, J., & Larsson, E. G. (2020). Weighted Sum-Rate Maximization for Reconfigurable Intelligent Surface Aided Wireless Networks, in *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 19(5), 3064-3076. doi: 10.1109/TWC.2020.2970061.
- Johnson, R. A., & Wichern, D. W. (2007). *Applied multivariate statistical analysis*. New Jersey: Pearson Prentice Hall.
- Karagöz, Y. (2017). *SPSS ve AMOS 23 Uygulamalı İstatistiksel Analizler*. Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.
- Kartal, M., Karagöz, Y., & Kartal, Z. (2014). *Temel Matematik (Cilt 2)*. Ankara: Nobel Yayın.
- Keshavarz-Ghorabae, M., Amiri, M., Zavadskas, E. K., Turskis, Z., & Antucheviciene, J. (2018). Simultaneous Evaluation of Criteria and Alternatives (SECA) for Multi-Criteria Decision-Making. *Informatica*, 29(2), 265–280. doi: 10.15388/Informatica.2018.167
- Keshavarz-Ghorabae, M., Amiri, M., Zavadskas, E. K., Turskis, Z., & Antucheviciene, J. (2021). Determination of ObjectiveWeights Using a New Method Based on the Removal Effects of Criteria (MEREC). *Symmetry*, 13, 1-20. doi: 10.3390/sym13040525
- Kuruüzüm, A., & İpekçi Çetin, E. (2015). *İşletme ve Ekonomi Öğrencileri için Uygulamalı Matematik*. Ankara: Gazi Kitapevi.
- Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., Neter, J., & Li, W. (2004). *Applied Linear Statistical Models*. New York: McGraw-Hill.

- Olefir, O. and Lastovsky, O. (2021). Application of a Modified Logarithmic Rule for Forecasting. In: Hu, Z., Petoukhov, S., Dychka, I., He, M. (eds) *Advances in Computer Science for Engineering and Education IV. ICCSEEA 2021. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, 83. Springer, Cham. doi: 10.1007/978-3-030-80472-5_23.
- Saaty, T. L. (2008). Decision Making With The Analytic Hierarchy Process. *International journal of services sciences*, 1(1), 83-98. doi: 10.1504/IJSSCI.2008.017590
- Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2013). *Using multivariate statistics*. New York: Pearson Education.
- Tufte, E. R. (2001). *The Visual Display of Quantitative Information*. Cheshire: Graphics Press.
- Uludağ, A. S., & Doğan, H. (2021). *Üretim Yönetiminde Çok Kriterli Karar Verme*. Ankara: Nobel.
- Verma, MvdB., de Vreede, L., Achterbosch, T., & Rutten, M.M. (2020) Consumers discard a lot more food than widely believed: Estimates of global food waste using an energy gap approach and affluence elasticity of food waste. *PLoS ONE*, 15(2), 3745-3752. doi:10.1371/journal.pone.0228369
- Zavadskas, E. K., & Podvezko, V. (2016). Integrated determination of objective criteria weights in MCMD. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 15(2), 267-283. doi: 10.1142/S0219622016500036
- Zeng, S., Hu, Y., & Xie, X. (2021). Q-rung orthopair fuzzy weighted induced logarithmic distance measures and their application in multiple attribute decision making. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 100, 1-10. doi: 10.1016/j.engappai.2021.104167.