



ANKARA YILDIRIM BEYAZIT UNIVERSITY
JOURNAL OF TURKISH OPERATIONS MANAGEMENT

ISSN 2630-6433 e-ISSN 2630-6433

JOURNAL OF TURKISH OPERATIONS MANAGEMENT

YEAR: 2023

VOLUME: 7

NUMBER: 2



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 Beyazit University, Turkey

metegundogan@ybu.edu.tr

General Publication Management / Genel Yayın Yönetimi

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

eraslan@ybu.edu.tr

Editor-in-Chief / Editör

Assoc. Prof. Dr. Babek Erdebilli (B.D. Rouyendegh), Department of Industrial Engineering, Ankara Yildirim Beyazit 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	gfcan@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 Yılmaz	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.



INDEXING DATABASES

Tr Dizin	EBSCO	WCOSJ
Root Indexing	Index of Copernicus	InfoBase Index
ASOS	Academic Journal Index	ResearchBib
Google Scholar	SOBIAD	ROAD
MIAR	ESJI	ERIHPLUS
DergiPark	Scholar Article Journal Index	DRJI



CONTENTS / İÇİNDEKİLER

Research Articles / Araştırma Makaleleri

- Sürdürülebilir insani yardım lojistiği alanındaki yayınların içerik ve bibliometrik açıdan analizi 1644-1671
Ayca Özceylan, Mehmet Tanyaş
- Bir sipariş toplama deposunda iş birlikçi robot hızının çıktı performansı üzerindeki etkisi 1672-1684
Mahmut Tutam
- Scholarship recipient selection for higher education with AHP, SAW and TOPSIS 1685-1700
Okan Arslantaş, Mehmet Gümüş, Emir Hüseyin Özder
- Türkiye orman ürünleri sektörünün döngüsel ekonomi ve endüstriyel simbiyoz bağlamında değerlendirilmesi 1701-1723
Murat Yeşilkaya, G. Sena Daş, Mehmet Fatih Yaşın
- Pekiştirmeli öğrenme ile tenis oyunu simülasyonu gerçekleştirimi 1724-1735
Bakhtiyar Ospanov, M. Fatih Demirci
- The effect of green human resource management on green supply chain management 1736-1750
Leyla Chehrghani
- Creating zoning plans with pass theory approach, example of 1/5000 zoning plan 1751-1767
Selim Taşkaya
- Data driven approach for weight restricted data envelopment analysis models with single output 1768-1779
Şenol Kurt, Mustafa Kerem Yüksel, Burcu Dinçergök
- Book depreciation methods under intuitionistic fuzzy environment 1780-1789
Elif Haktanır
- Economic analysis of wind energy investments considering carbon pricing and wind speed forecasting 1790-1800
Süleyman Atılgan, Muzaffer Alım, Çağrı Koç
- BioRAM© programıyla biyolojik risk değerlendirme metodolojisinde çok kriterli karar verme yaklaşımı 1801-1823
Ergün Eraslan, Nuray Alpoğlu Akbulut



Journal of Turkish Operations Management

Sürdürülebilir insani yardım lojistiği alanındaki yayınların içerik ve bibliometrik açıdan analizi

Ayca Özceylan^{1*}, Mehmet Tanyaş²

¹Mülkiyet Koruma Bölümü, Oğuzeli Meslek Yüksekokulu, Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep, Türkiye,

e-mail: aycaozceylan@gmail.com ORCID No: <http://orcid.org/0000-0003-0537-6886>

²Uluslararası Ticaret ve Lojistik Bölümü, Maltepe Üniversitesi, İstanbul, Türkiye,

e-mail: mehmettanyas@maltepe.edu.tr ORCID No: <http://orcid.org/0000-0001-8934-3787>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 04.12.2022

Revize: 13.12.2022

Kabul: 19.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Afet yönetimi lojistiği,
Sürdürülebilirlik,
Literatür taraması,
Bibliometrik analiz.

Özet

Afetler, bir toplumun işleyişinde kendi kaynaklarını kullanarak başa çıkma kapasitesini aşan ciddi aksamalardır. Afetler, doğal, insan yapımı ve teknolojik tehlikelerin yanı sıra bir topluluğun maruziyetini ve savunmasızlığını etkileyen çeşitli faktörlerden kaynaklanabilir. Afet risklerinin azaltılması, toplulukların daha hazırlıklı, dirençli olması ve verdiği zararların azaltılabilmesi için etkin bir afet yönetimi ve lojistiği gerekmektedir. Birçok konuda olduğu gibi afet yönetim lojistiği sürecinin de çevreye ve topluma uyumlu olması aynı zamanda da ekonomik boyutu dikkate alması artık bir zorunluluktur. Bu nedenle ülkelerin/organizasyonların etkin, verimli ve sürdürülebilir afet lojistiği politikalarına sahip olmaları önem arz etmektedir. Sürdürülebilir afet yönetimi lojistiği konusunda son yıllarda akademik çalışma sayılarında gözle görülür bir artış gözlemlenmiştir. Bu artış aynı zamanda bu alanda kapsamlı bir literatür taraması ihtiyacı doğurmuştur. Bu çalışmanın amacı sürdürülebilir afet yönetimi üzerine yapılmış akademik çalışmaları hem içerik hem de bibliometrik açıdan analiz etmek, literatürdeki boşlukları göstermek ve ileriye dönük araştırma potansiyeli olan konuları irdelemektir.

Content and bibliometric analysis of publications in the field of sustainable humanitarian logistics

Article Info

Article History:

Received: 04.12.2022

Revised: 13.12.2022

Accepted: 19.12.2022

Keywords:

Disaster management logistics,
Sustainability,
Literature survey,
Bibliometric analysis.

Abstract

Disasters are serious disruptions that transcend constraints by using their own characteristics on a community scale. Disasters can be caused by a variety of factors, including natural, man-made and technological hazards, as well as a community and its general characteristics. Effective disaster management and logistics are required to reduce disaster risks, make communities more prepared and resilient, and reduce damage to the environment. As in many other issues, it is now a necessity for the disaster management logistics process to be compatible with the environment and society, as well as to take into account the economic dimension. For this reason, it is important for countries/organizations to have effective, efficient and sustainable disaster logistics policies. A significant increase has been observed in the number of academic studies on sustainable disaster management logistics in recent years. This increase also necessitated a comprehensive literature review in this field. The aim of this study is to analyze academic studies on sustainable disaster management both in terms of content and bibliometrics, to show gaps in the literature and to examine topics with potential for future research.

1. Giriş

Afetler insanlık tarihi boyunca yıkıcı ve kalıcı zararlara neden olmuşlardır. Afet öncesi hazırlık ve planlamanın eksikliği ve kısıtlı imkanlar nedeniyle bugüne kadar doğal afetler tüm şehirleri yok etmeye kadar giden sonuçlar doğurmuşlardır. Günümüzde ise insanlığın hem bilgi ve hem de teknik imkanları birçok sorunu çözüp, birçok hastalığı tedavi edebilmesine rağmen hala afetlerin ağır yıkımlarına yeterli çözümleri bulabilmiş değildir (Önsüz ve Atalay, 2015).

Afet, toplumların tamamını veya belli kesimlerini etkileyen, toplum açısından ekonomik, fiziksel ve sosyal kayıplara sebep olan, günlük yaşamı ve insan faaliyetlerini kesintiye uğratan veya tamamen durduran, toplumun kendi kaynaklarını kullanarak afete baş etme kapasitesini aşan, doğa, teknoloji veya insan kaynaklı aksamalar olarak ifade edilir. Yapılan tanımlamadan görüldüğü gibi afet aslında bir olayın kendisi olmayıp doğurduğu sonuçtur (Çelik vd. 2020).

Afetlerin farklı şekilde sınıflandırılmasının nedeni ise ülkelere, bölgelere ve afetler konusunda çalışan uzmanlara göre değişmektedir. Ancak en genel haliyle afetler; oluş hızına ve oluşma sebebine göre sınıflandırılabilirler (Shaluf, 2007). Oluş hızına göre yavaş (örn. küresel ısınma) ve hızlı (örn. deprem) gelişen afetler olarak alt dallara ayrılırken; oluşma sebebine göre ise doğal (örn. sel), beşeri (örn. salgın hastalık) ve teknoloji kaynaklı (örn. biyolojik kaza) olmak üzere üç alt dala ayrılmaktadır.

Son yıllarda ülkemizde ve dünyada meydana gelen afetler, can ve mal kayıplarına, evlerin yıkılmasına ve daha birçok ekonomik, sosyal ve psikolojik zararlara neden olmuştur. Afetler; sebep oldukları ölümler ve yaralanmalar nedeniyle, bir ülkenin nüfus kompozisyonunu önemli ölçüde değiştirme, yatırım ve üretim kapasitesini düşürme, hava kirliliğine ve iklim değişikliğine neden olma ve bir ulusun kültürel mirasının parçası olan altyapıyı, binaları ve diğer öğeleri tahrip etme potansiyeline sahiptirler (Soyöz ve Özyörük, 2021). Afetleri durdurmak ve neden oldukları zararı azaltmak için etkin bir afet yönetim sistemi gereklidir. Bu nedenle, ulusların afet yönetimi için yürürlükte olan politikaları olması çok önemlidir (Erturgut ve Yılmaz, 2020).

Afet yönetimi, temelde dört evreden oluşmaktadır (Şekil 1). Bu evreler, afet öncesi i) önlem (zarar azaltma çalışmaları), ii) afete hazırlık (planlama, eğitim, tatbikat), iii) afet sonrası müdahale (acil durum eylemi, ilk yardım) ve iv) yeniden yapılandırma (normale dönme, iyileştirme) olarak ele alınmaktadır (Le Cozannet vd. 2020).

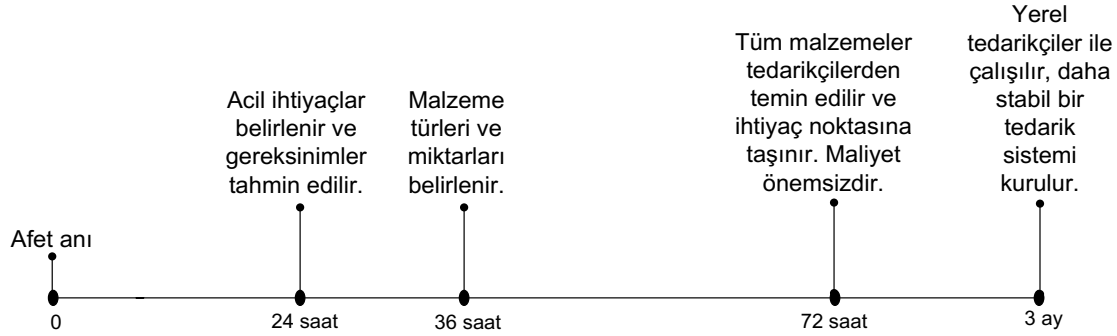


Şekil 1. Afet yönetimi döngüsü (Le Cozannet vd. 2020)

Yukarıda bahsedilen evrelerin her birinde de ihtiyaç duyulan malzemenin, zamanında ve doğru yerde bulunması sürecin başarısı için çok önemlidir. İnsani yardım lojistiği ifadesi ile de sıkça kullanılan afet lojistiği; afetin meydana geldiği yerde canlıların ve toplumun ihtiyaç duyduğu eşyaların, sağlık ve gıda malzemelerinin, destek ekiplerinin ve tüm faaliyetlerin bulunduğu noktalardan ihtiyaç sahiplerine aktarılma sürecini kapsar. Bu süreçte iyi bir planlama, uygulama ve kontrole gerek duyulur. Afetin yaşandığı ve afet lojistiğinin gerçekleşeceği ortam birçok belirsizlik ve değişkenlerle doludur. Bu faktörler nedeniyle, afete hazırlıklı olmanın yanı sıra esneklik çok önemlidir. Afetler nedeniyle risk altında ve korunmasız olanların gereksinimlerini karşılamaya yönelik mal ve hizmet alımı, sigorta, taşıma, depolama ve planlama çalışmaları olarak özetlenebilecek afet lojistiği çok önemlidir (Şen ve Esmer, 2017).

Afet lojistiğinde ilk 72 saat çok önemlidir. İhtiyaç duyulan malzemeler ile ilgili değerlendirme, afet sonrası ilk 24 saat içinde gerçekleşir ve insani yardım kuruluşlarından profesyoneller afet bölgelerine konuşlandırılır ve bölgedeki tedarik gereksinimlerini tahmin eder. Felaketten sonraki ilk 36 saat içinde insani yardım kuruluşlarına,

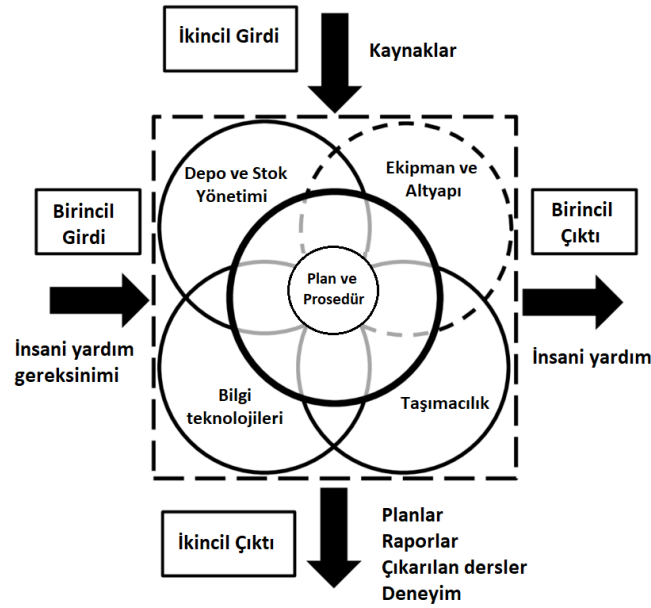
hükümetlere ve uluslararası sivil toplum kuruluşlarına çağrılar yapılır. İtirazlar, yardım malzemelerinin türü ve miktarına göre tanımlanır. Aynı bağışların önceliklendirilmesi, sıralanması, sayılması ve mevcut taleple karşılaştırılması gerekmektedir. Nakdi bağışlar, afet yerine teslimatı geciktiren, ancak aynı bağış yükü olmayan satın alma faaliyetlerine yol açmaktadır. Tedarik operasyonları, tedarikçilerin önceden konumlandırılmış veya kullanılabilir stoklarının afet yardım operasyonu için yeterli olmayabileceğinden, afet yardım operasyonları için hayati önem taşımaktadır. İlk 72 saat hayati önem taşır ve malzemeler ne pahasına olursa olsun afet bölgesine taşınır (Şekil 2). İlk acil dönemden sonra, tedarikçiler çoğunlukla yerelleştirilir ve üç aylık bir süre boyunca daha istikrarlı bir tedarik akışı sağlanır (Ertem vd. 2010).



Şekil 2. Afet lojistiğinde ilk 72 saat (Ertem vd. 2010)

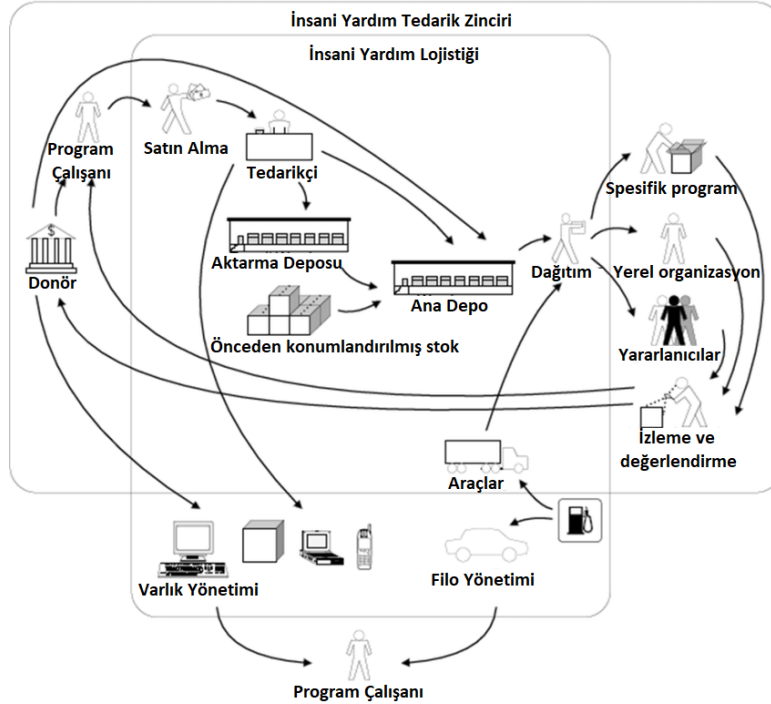
Genel olarak afet lojistiği aşamaları kendi içinde üçe ayrılır. Aşağıda bunlarla ilgili bazı temel bilgiler verilmiştir (Tanyaş vd. 2013): *Afet öncesi hazırlık aşaması*: Krizin henüz oluşmadığı bu aşama, süreç yönetimi açısından çok önemlidir. Farkındalığı artırmaya ve fark yaratmaya çalışan bu aşamada planlama, tedarik ve depolama işlemleri gerçekleştirilir. Afet durumunda ihtiyaç duyulan ekipmanlara hızlı bir şekilde ulaşılabilmesi için en iyi depolama yerleri seçilir. Afet sonrası oluşabilecek belirsizlik ortamının önlenmesi öncelikli amaç olduğundan, olası bir afet durumunda, uygun kaynakların uygun kişilere, uygun zaman ve yerde, uygun alternatiflerle sağlanması için planlar yapılır. Bu aşamada bu yolların alternatif planları ve ihtiyaca cevap verebilecek yollar da gözden geçirilir. Mevcut ölçümlerin yapılması, stratejik seçimlerin güncellenmesi ve potansiyel olarak gerekli tüm ekipmanların rutin olarak denetlenmesi bu amaç için çok önemlidir. Devlet ve sivil toplum kuruluşları, afet öncesi dönemde, olası afet senaryolarına karşı üretilen istatistiksel veriler ışığında malzeme stoklanmasından, afet durumunda ulusal koordinasyonu sağlayacak yazılım altyapılarının kurulmasına kadar çeşitli işlerde işbirliği yapmaktadır. *Afet sürecinde müdahale aşaması*: Önceliklendirme ve durum değerlendirmesi yapılarak bölgesel ihtiyaçlar belirlenir. Uzmanlar tarafından belirlenen ihtiyaçlara göre afet bölgelerindeki ihtiyaç sahiplerine teslimatlar yapılmakta ve hazırlık aşamasında tedarik edilmektedir. Özellikle afet bölgesindeki limanların, havaalanlarının, köprülerin, trenlerin ve otoyolların zarar görüp görmediği ve afet bölgesine erzakların en hızlı ve güvenli şekilde gönderilip gönderilmediği yakından takip edilmektedir. Afet ve insani yardım lojistiği, yardım personeli için her türlü desteği içerir. Etkili işbirliği ve iletişim çok önemlidir. *Afet sonrası yapılan çalışmalar*: Öncelikle toplama, bakım ve değerlendirme süreçlerini kapsar. Bakım ve değerlendirme ekipleri, afete müdahale sürecinde müdahale eden ekiplerin yerini almaktadır. Mevcut durumun değerlendirilmesi ve ardından yapılacak raporlamalar, sonraki zaman dilimlerinin planlanması açısından büyük önem taşımaktadır. Muhtemel afetlere hazırlık amacıyla değerlendirme ve raporlama yoluyla elde edilen bilgiler kullanılmaktadır.

Overstreet vd. (2011)'e göre insani yardım lojistiğinin unsurları, kuruluşun personeli, ekipmanı/altyapısı, ulaşım, bilgi teknolojisi/iletişim, planlama/politikalar/prosedürler ve envanter yönetimidir. Bu unsurlar, lojistik literatürünün dikkatli bir şekilde gözden geçirilmesi ve tartışılmasından sonra oluşturulmuştur. Şekil 3'te, insani yardım lojistiğinin sistem sınırı, insani lojistik bileşenlerini çevrelerinden ayıran kesikli çizginin içinde kalan alandır. Sınır, lojistikçinin kontrol alanını temsil eder ve çevrenin lojistik üzerinde sahip olabileceği etkiyi ve lojistikçilerin çevreleri üzerinde sahip olabileceği olası etkiyi belirtmek için kesikli bir çizgi ile temsil edilir.



Şekil 3. İnsani yardım lojistiği kapsamı (Overstreet vd. 2011)

Şekil 4'te ise insani yardım tedarik zinciri ve lojistiği arasındaki ilişki resmedilmektedir. Tedarik, ulaşım (malzemeler ve ihtiyaç sahibi kişiler ve insani yardım çalışanları), varlık yönetimi, bilişim teknolojileri, depo operasyonları, güvenlik, dağıtım ağı ve filo yönetimi gibi farklı lojistik işlevleri insani yardım kuruluşlarının kapsamına dahil edilebilir. Kaynaklardan ve lojistik faaliyetlerden sorumlu bir insani yardım kuruluşundaki merkezi yönetim, uluslararası ve yerel insani yardım kuruluşları arasındaki ilişkiler ağının tedarikçiler, hizmet sağlayıcılar, bağışçılar ve hükümetle entegrasyonunu yöneten tedarik zinciri yapısına evrilmiştir.



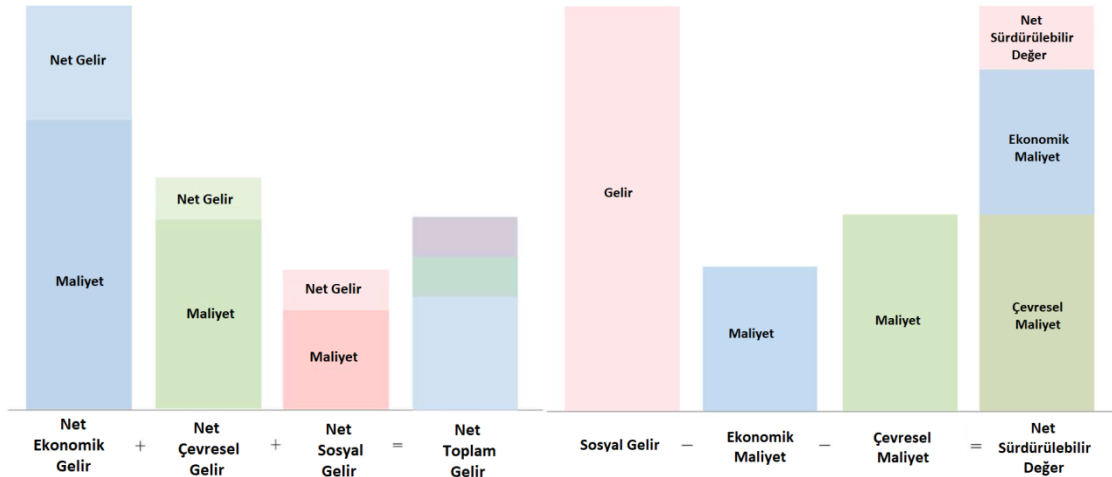
Şekil 4. İnsani yardım tedarik zinciri ve lojistiği etkileşimi (Bhushan, 2017)

İnsani yardım lojistiği üzerine akademik çalışmalar son yıllarda hızlı bir şekilde artış göstermiştir. Bu çalışmada sürdürülebilir insani yardım lojistiği konusuna odaklanıldığı için geleneksel insani yardım lojistiğine ilişkin sadece mevcut literatür taraması çalışmalarına yer verilmiştir. Bu alanda yapılan ilk literatür çalışmaları Kovacs ve Spens (2007) ve Natarajarathinam vd. (2009) tarafından yapılmış olsa da, ilk kapsamlı çalışma Leiras vd. (2014) tarafından literatüre kazandırılmıştır. Leiras vd. (2014) başlangıç yılı belirlemeden 2012 yılına kadar olan 228 çalışmayı detaylı bir şekilde incelemiştir. Bu çalışmaları yazar özelliklerine, afet tipine, afet yönetimi evresine, çözüm yaklaşımına ve tedarik zinciri yönetimi karar seviyelerine göre sınıflandırmışlardır. Daha sonraki kapsamlı

bir çalışma Banomyong vd. (2019)'a ait olup, yazarlar 2005-2016 yılları arasındaki 52 çalışmayı incelemişlerdir. Taramalarını yaparken “Humanitarian”, “Humanitarian Operations” veya “Logistics” veya “Supply Chain” veya “Performance Measurement” anahtar kelimelerini kullanmışlardır. İncelendikleri çalışmaları hem bibliyometrik olarak analiz etmişler, hem de afet yönetiminin dört fazına göre çalışmaları gruplandırmışlardır. Aynı yıl yapılan başka bir literatür taraması çalışmasında (Chiappetta Jabbour et al. 2019) yıl aralığı verilmeden “Humanitarian Supply Chain” veya “Humanitarian Logistics” anahtar kelimeleri ile yapılan sorgulamada 87 çalışma incelenmiştir. İncelenen çalışmalar afet tipine, kullanılan metodolojiye, insani yardım organizasyonu tipine, yazarların kurumlarına ve afetin bölgesine göre sınıflandırılmıştır. 2021 yılında yapılan bir yüksek lisans tezinde (Öztürkel, 2021) Türkiye’de tamamlanan ve afet yönetimi ve insani yardım lojistiği üzerine yazılmış tezler incelenmiştir. Ulusal Tez Merkezi internet sitesinde “afet yönetimi”, “afet lojistiği” ve “insani yardım lojistiği” tek tek yazılmış, tezin türü ve izin durumu hakkında herhangi bir seçim yapılmamıştır. Bunun sonucunda erişilebilen 332 tez çalışma kapsamında incelenmiştir. Buna göre yöntem olarak en fazla anket yolu tercih edilmişken, çalışılan alt konu olarak ise afet yönetim süreçleri ön sıralarda yer almıştır. Bu alanda yapılan son literatür çalışması ise Anjomshoae vd. (2022)'e ait olup, çalışmada insani yardım lojistiğinin performans göstergeleri üzerine yoğunlaşmıştır. 2007-2021 yılları arasındaki toplam 83 çalışma incelenmiştir. “Humanitarian Supply Chain” veya “Humanitarian Logistics” veya “Disaster Relief Operations” anahtar kelimeleri üzerinden sorgulama yapılmıştır. En sık kullanılan performans analiz yaklaşımlarının SCOR modeli ve Balanced Scorecard yaklaşımı olduğu tespit edilmiştir.

Yukarıdaki çalışmaların hepsi insani yardım lojistiğini geleneksel bakış açısı ile ele almıştır. Ancak bu çalışmanın başında da belirtildiği gibi afetlerin hem ekonomik, hem sosyal hem de çevresel sonuçları bulunmaktadır. Örneğin, 28 Eylül 2018'de Endonezya'nın Palu bölgesinin kıyısında 7,5 büyüklüğünde bir deprem tsunamiyi tetikledi. 1.500 insanın hayatını aldı ve 70.000'den fazla insanı evsiz bırakarak büyük bir sosyal problem ortaya çıkardı. Diğer taraftan yine aynı yıl Endonezya'da Sopotan Volkanı patladığında havaya 4.000m yüksekliğe kadar volkanik kül salındı ve bu da ciddi bir çevresel probleme yol açtı. Bu iki felaketin ekonomik etkisi ise yaklaşık 1,2 milyar dolardı (Bag vd. 2020). Bu ve benzeri durumlar insani yardım kuruluşlarına sürdürülebilir yeterliliğin mevcut afet müdahale mekanizmalarına özellikle de lojistik ve tedarik zinciri yönetimi faaliyetlerine dahil edildiğinden emin olmalarını hatırlattı. Afet yönetiminin müdahale aşamasında kararlar çok hızlı alındığı için genellikle sürdürülebilir çerçevede değerlendirme yapılması oldukça güçtür. Ancak diğer üç safhada da (risk azaltma, hazırlık ve iyileştirme) insani yardım lojistiğinin ekonomik, çevresel ve sosyal çerçeveden ele alınması daha olasıdır (Formanek, 2019).

Yukarıdaki bilgilere göre sürdürülebilir insani yardım lojistiği, belirli nüfusların acil ihtiyaçlarını karşılayarak ve onları dayanıklılık oluşturmada ve mümkün olan minimum ekonomik ve çevresel kaynaklarla uzun vadeli refah beklentileri yaratmada destekleyerek savunmasızlıklarını azaltan insani yardım operasyonları olarak tanımlayabiliriz (Van Wassenhove, 2006). Dolayısıyla buradaki esas amaç geleneksel sürdürülebilir organizasyonlara nazaran tüm sistemin net sürdürülebilir değerini maksimize etmektir (Şekil 5).

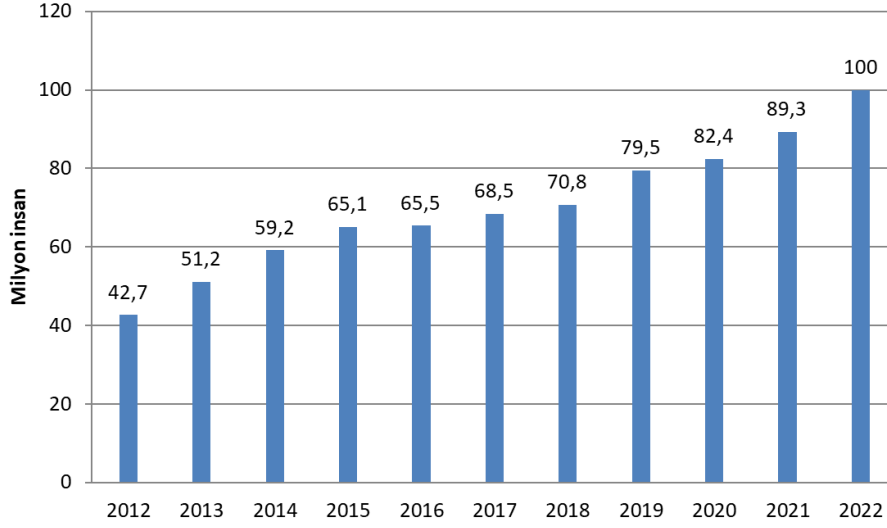


Şekil 5. Sürdürülebilir işletme (sol) ve insani yardım lojistiği (sağ) karşılaştırması (Chen vd. 2020)

2. Sürdürülebilir İnsani Yardım Lojistiğinin Önemi

Gerek doğal gerekse beşeri felaketlerin her geçen yıl artması insani yardım organizasyonlarının iş yükünü de ciddi oranda artırmaktadır. Birleşmiş Milletler Mülteciler Yüksek Komiserliği'nin (The United Nations High Commissioner for Refugees-UNHCR) raporuna göre, 2022'de dünyada zorla yerinden edilmiş insan sayısı 2021'e

göre %11,98 artarak yaklaşık 100 milyona yükselmiştir (Şekil 6). Aynı raporda 2050 yılına kadar iklim değişikliğinin sonuçlarına bağlı nedenlerden dolayı yaklaşık 216 milyon insanın da kendi evlerini terkedip, göç etmek zorunda kalacağı öngörülmektedir.

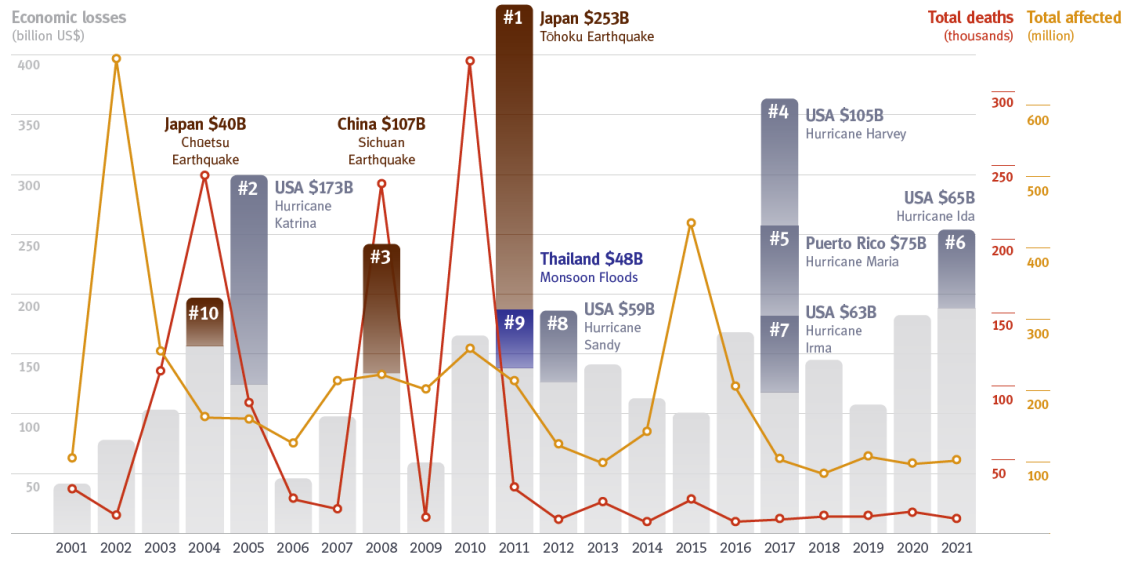


Şekil 6. Yıllara göre evinden edilen insan sayısı (UNHCR, 2022)

1960 yılından itibaren dünyada gerçekleşen doğal afet sayısı da katlanarak artmaktadır (Şekil 7). Aşağıdaki grafikte yer almasa da 2021 yılında gerçekleşen afet sayısının 432 olduğu açıklanmış bu da bu zamana kadarki en büyük sayı olarak kayıtlara geçmiştir. 2021 yılındaki afetlerin toplam ekonomik kaybı ise 252 milyar dolar olmuştur (CRED, 2021). Son 20 yılda gerçekleşen doğal afetler, ekonomik etki, yol açtığı insan kaybı sayısı ve etkilediği nüfusa göre Şekil 8'de belirtilmektedir.



Şekil 7. Yıllara göre gerçekleşen doğal afet sayısı (EMDAT, 2020)



Şekil 8. Son 20 yılda gerçekleşen doğal afetlerin etkileri (CRED, 2021)

Diğer taraftan Birleşmiş Milletler İnsani Yardım Koordinasyon Ofisi'nin (OCHA) raporuna göre 2022'de 274 milyon kişinin insani yardıma ve korumaya ihtiyacı olacaktır. 2021'de bu sayı 235 milyon kişi olup, sadece %70'ine yardım götürülmüştür (OCHA, 2022). İklim için önemli devrilme noktalarına ulaşılmış veya geçilmiş olabilir; insani eylem uyum sağlamalıdır. İklimle ilgili afet olayları daha sık ve değişkendir. İklim değişikliğinin etkileri nedeniyle 2050 yılına kadar 216 milyona kadar insan kendi ülkeleri içinde taşınmak zorunda kalabilir.

Yukarıda belirtilen göstergeler hem afet sayısının giderek artacağını, hem yardıma muhtaç nüfusun yükseleceğini hem de yardımların artış oranının düşüş trendinde olacağını söylemektedir. Bu durumda insani yardım organizasyonlarının başta lojistik olmak üzere tüm faaliyetlerinde sürdürülebilirlik ilkesi doğrultusunda hareket etmesi son derece önemlidir.

Sürdürülebilir insani yardım lojistiği üzerine pratik hayattan en iyi örneklerden biri Logistics Cluster isimli organizasyona ait olabilir. Bu organizasyon, Danish Refugee Council (DRC), the International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies (IFRC), Save the Children International and the World Food Programme of the United Nations ortaklığıyla 2022'nin başında WREC (Waste management and measuring, Reverse logistics, Environmentally sustainable procurement and transport, and circular economy) projesini hayata geçirmiştir. Bu projenin iki temel amacı bulunmaktadır (WREC, 2022). Bunlar:

- İnsani lojistik organizasyonlarının, sektörün çevresel etkisinin farkında olmasını ve bu etkiyi ölçmek ve azaltmak için koordineli, ölçeklenebilir ve sürdürülebilir bir yaklaşım benimsemesi sağlamak.
- İnsani yardım lojistiği uygulayıcılarına, yalnızca operasyonları devam ederken değil, başlamadan önce ve sona erdikten sonra da atık ve nakliyeden kaynaklanan çevresel etkilerini azaltmaları için desteklemek.

Yukarıda bahsedilen pratik hayattaki örnek de göstermektedir ki sürdürülebilirlik, insani yardım organizasyonları için elzem bir durumdur. Sürdürülebilir insani yardım lojistiği kapsamında yapılabilecek eylemler aşağıda özetlenmeye çalışılmıştır:

- Geri dönüştürülmüş palet ve kutu kullanımı,
- İnsani yardım kuruluşlarının tedarikçilere koçluk yapmak için kullandığı ekonomik, sosyal ve çevresel değerlendirmeler,
- İnsani yardım operasyonlarında ambalajın ve kağıt kullanımının azaltılması,
- İnsani yardım kuruluşları için yeşil satın alma,
- İnsani yardım operasyonları için lojistiğine yönelik paket tasarlanması,
- İnsani yardım süreçlerinde yerel kaynakların kullanılması,
- İnsani lojistik faaliyetler için teknolojinin etkinleştirilmesi,
- Kazaları azaltmak ve yakıt tüketimini iyileştirmek için sürücülerin eğitilmesi,
- Ortak kaynak kullanım modellerinin oluşturulması,
- Yakıt tüketiminin izlenmesi,
- Araç kullanımının hem yük hem de boş çalışma açısından izlenmesi,
- Araç ve ekipmanlar için önleyici bakım programlarının takip edilmesi,
- Kullanılmış lastik kovanlarının uygun şekilde imha edilmesi,

- Düşük emisyonlu araçlar gibi alternatif ulaşım modlarını göz önünde bulundurarak filoyu, paketleme uygulamalarını ve nakliye rotalarının haritalanması ve optimize edilmesi,
- Sızıntıları kontrol ederek ve suyu verimli kullanan cihazlar ve basit su geri dönüşüm yöntemleri kullanarak suyun israf edilmemesi,
- Tehlikeli kimyasalları daha güvenli veya daha az toksik alternatiflerle değiştirme seçeneklerinin keşfedilmesi,
- Yol, depolama ve uçak pisti inşaatı için sürdürülebilir kaynakların bulunması,
- Ofis ve depo faaliyetlerinin yeşillendirilmesi (eski bilgisayarların ve verimsiz klimaların veya aydınlatmanın değiştirilmesi, yenilenebilir enerjilerin kurulması ve atıkların geri dönüştürülmesi).

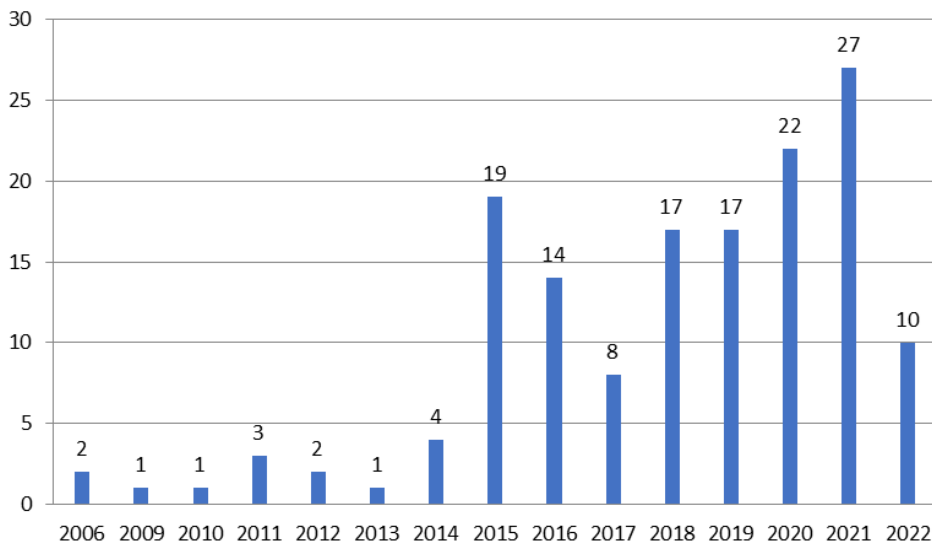
3. Bibliometrik ve İçerik Analizi

Bu çalışma kapsamında sürdürülebilir insani yardım lojistiği üzerine bibliometrik ve içerik analizi temelli bir literatür taraması yapılmıştır. Bunun için Scopus veritabanından yararlanılmıştır. Scopus veritabanında Şekil 9'da gösterilen anahtar kelimeler ve sorgu yapısı kullanılarak ilgili çalışmalar tespit edilmeye çalışılmıştır.

Search within Article title, Abstract, Keywords	Search documents * sustainable OR sustainability
AND	
Search within Article title, Abstract, Keywords	Search documents humanitarian
AND	
Search within Article title, Abstract, Keywords	Search documents logistics OR "supply chain"

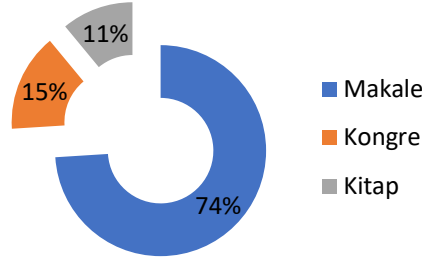
Şekil 9. Scopus veritabanı sorgu yapısı

Ağustos 2022 tarihinde yapılan sorgu sonucunda toplam 157 çalışma elde edilmiştir. Bu 157 çalışmanın dokuz tanesi İngilizce olmamasından, editöre mektup formatında olmasından ve içerik uyumsuzluğundan dolayı elenmiş, sonuç olarak 148 çalışma (makale ve kongre çalışması) detaylı incelemeye alınmıştır. 148 çalışmanın yıllara göre dağılımı Şekil 10'da verilmiştir. Şekil 10'dan da görüleceği üzere 2015 ve sonrasında ciddi bir artış olup, özellikle son yıllarda sürdürülebilir insani yardım lojistiği üzerine yapılan çalışmaların sayıca fazla olduğunu söyleyebiliriz.



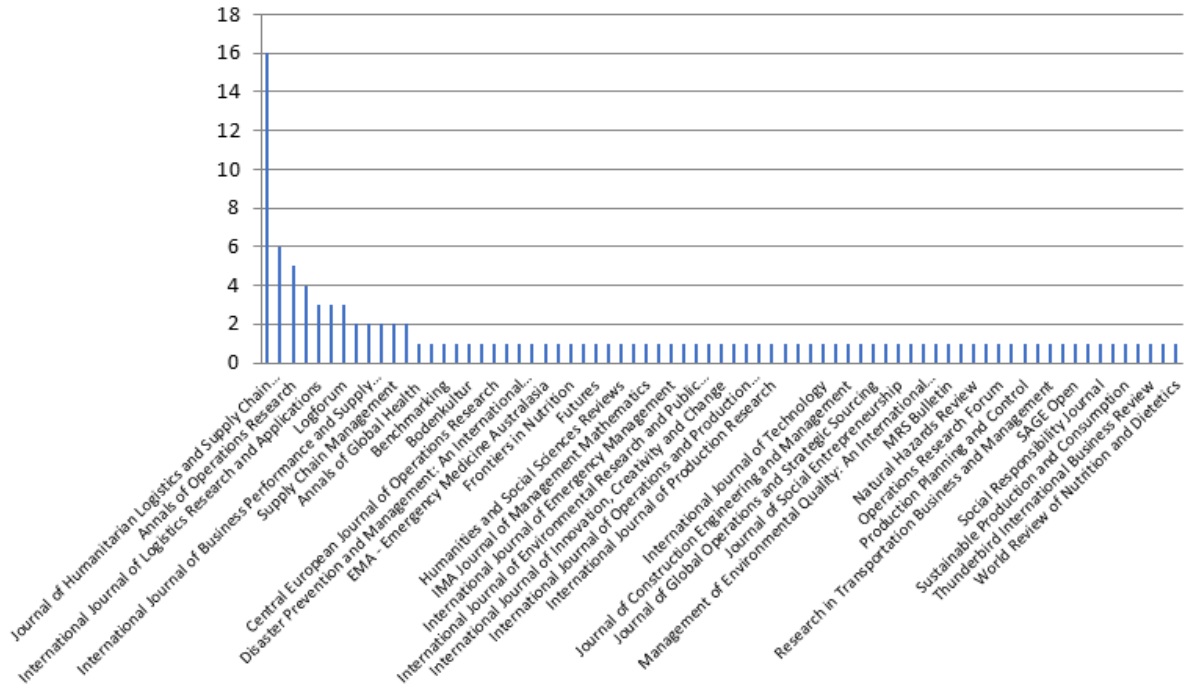
Şekil 10. 148 çalışmanın yıllara göre dağılımı

İncelenen 148 çalışmanın 15 tanesi kitap/kitap bölümü, 23 tanesi kongre, kalan 110 tanesi ise makale formatındadır. Bu dağılım yüzde olarak Şekil 11’de verilmiştir.



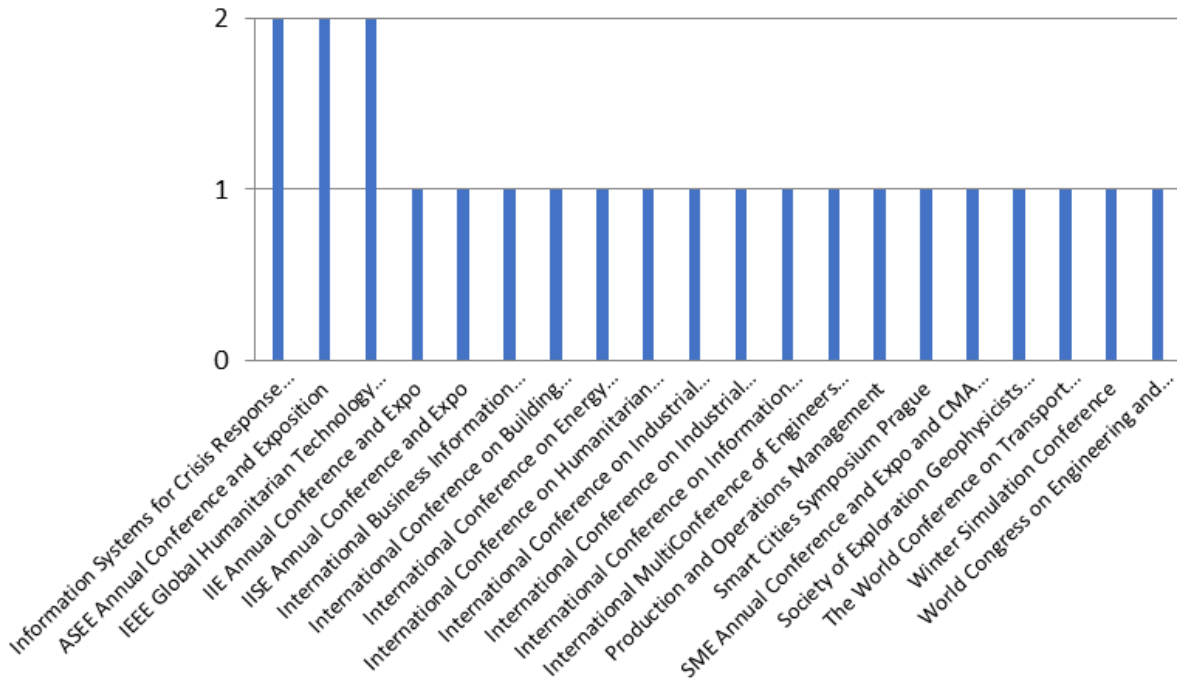
Şekil 11. 148 çalışmanın yayın tipine göre dağılımı

110 makale, 73 farklı dergide yayınlanmış olup, bu dergilerin yayın sıklığı Şekil 12’de sunulmuştur. Görüleceği üzere tüm yayınların %25’i sırasıyla “Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management”, “Sustainability (Switzerland)” ve “Annals of Operations Research” dergilerinde yayınlanmıştır.



Şekil 12. 110 makalenin dergi dağılımı

Dergilere ek olarak tercih edilen kongreler de incelenmiştir. 23 kongre çalışması 20 farklı kongrede sunulmuştur (Şekil 13). Dolayısıyla belirli bir kongre ön plana çıkmamıştır.



Şekil 13. 23 kongre çalışmasının dağılımı

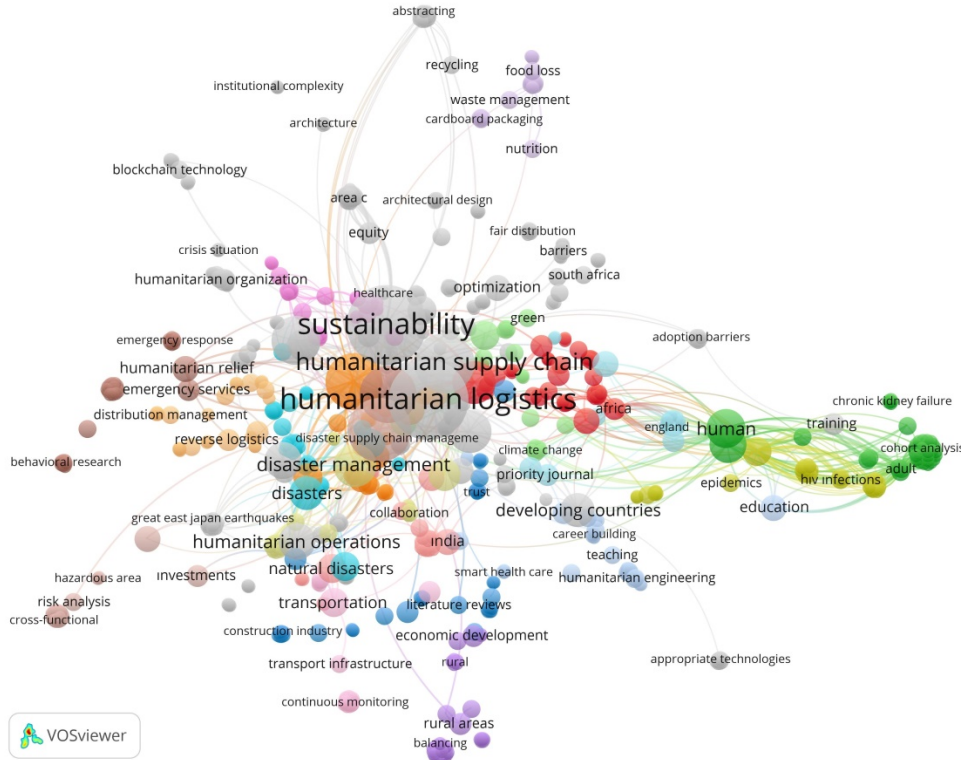
Literatür taramasının bundan sonraki kısmında bibliyometrik analiz yapılmıştır. Bibliyometrik verileri sıralamak ve görselleştirmek için VOSviewer yazılımının 1.6.18 versiyonu (sürümü) kullanılmıştır. VOSviewer, ağ görselleştirme, katman görselleştirme ve yoğunluk görselleştirme olarak adlandırılan üç tür görselleştirme sağlamaktadır. Bibliyometrik araştırmalarda yaygın olarak kullanılan iki tür harita vardır. Bunlar mesafe tabanlı haritalar ve grafik tabanlı haritalardır. VOSviewer programında mesafe tabanlı haritalar oluşturulabilir. Bu haritalar, iki öge arasındaki mesafenin ögeler arasındaki ilişkinin gücünü yansıttığı haritalardır. Daha küçük bir mesafe genellikle daha güçlü bir ilişkiyi gösterir (Kurbanova ve Cavlak, 2021).

148 çalışmada 1009 farklı anahtar kelime kullanılmıştır. En sık kullanılan ilk 20 kelime kullanım sıklığına göre Tablo 1’de verilmiştir. Literatür taraması, sürdürülebilir insani yardım lojistiği üzerine yapıldığı için en sık kullanılan ilk üç kelimenin “humanitarian logistics”, “sustainability”, ve “sustainable development” çıkması beklenen bir durumdur. Bu sonuç yapılan sorgulamanın uygunluğunu da göstermesi açısından olumlu karşılanmıştır.

Tablo 1. En sık kullanılan 20 anahtar kelime

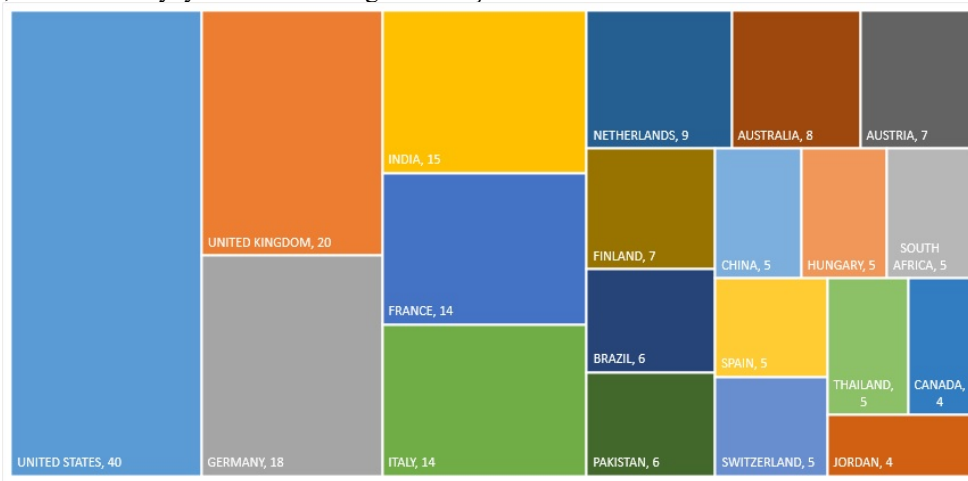
Sıra	Anahtar Kelime	Frekans #	Frekans %
1	humanitarian logistics	38	2,55%
2	sustainability	38	2,55%
3	sustainable development	24	1,61%
4	supply chain	23	1,54%
5	humanitarian supply chain	21	1,41%
6	supply chain management	19	1,28%
7	covid-19	11	0,74%
8	disaster management	11	0,74%
9	humanitarian aid	11	0,74%
10	human	9	0,60%
11	disaster prevention	8	0,54%
12	humanitarian operations	8	0,54%
13	humans	8	0,54%
14	developing countries	7	0,47%
15	disasters	7	0,47%
16	logistics	7	0,47%
17	disaster relief	6	0,40%
18	resilience	6	0,40%
19	decision making	5	0,34%
20	environmental sustainability	5	0,34%

En sık kullanılan anahtar kelimelerin birlikte kullanım sıklıklarına VOSviewer yardımıyla bakılmıştır. Elde edilen ilişki ağı Şekil 14'te sunulmuştur. Buna göre çalışmaların çoğunluğunun sürdürülebilirlik, insani yardım lojistiği ve afet yönetimi konularında kümelendiği söylenebilir.



Şekil 14. Anahtar kelimelerin birlikte oluşum ağı

148 çalışmanın yazar adreslerine bakıldığı zaman en fazla çalışma yayınlayan ilk üç ülkenin Amerika Birleşik Devletleri, Birleşik Krallık ve Almanya olduğu tespit edilmiştir. Çoğunluk batı ülkelerinden olsa da, Hindistan, Pakistan, Çin Halk Cumhuriyeti, Tayland ve Ürdün'ün de bu konuda çalışmalar yaptığı Şekil 15'ten görülebilir. Şekil 15'te, dört ve üzeri yayını olan ülkeler gösterilmiştir.



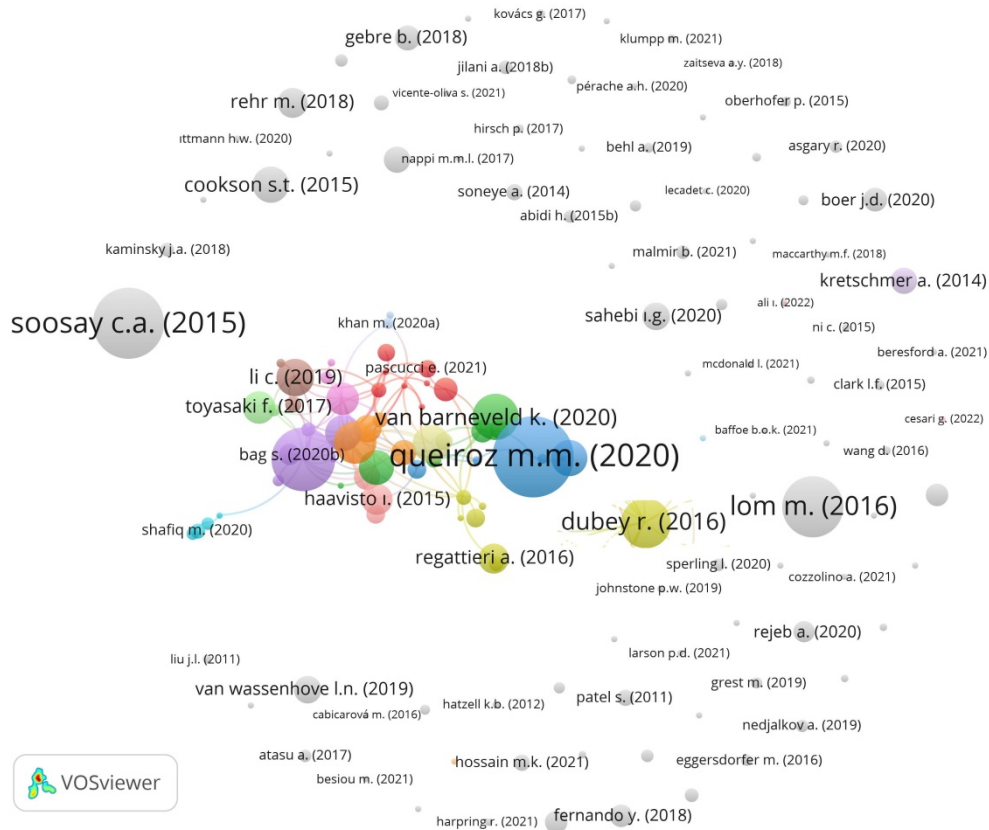
Şekil 15. Yazarların kurum adreslerine ait ülke dağılımı

148 çalışmada 434 farklı yazar bulunmaktadır. Üç ve daha fazla yayını bulunan ilk 13 yazar Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Üç ve daha fazla yayına sahip yazarlar

Sıra	Yazar	Çalışma Sayısı	Üniversite	Ülke
1	Lauras M.	5	Universite de Toulouse-Mines Albi	Fransa
2	Klumpp M.	4	University of Göttingen	Almanya
3	Gunasekaran A.	3	Penn State Harrisburg	A.B.D.
4	Zarei M.H.	3	Coventry University	Birleşik Krallık
5	Kovács G.	3	Hanken School of Economics	Finlandiya
6	Comes T.	3	University of Agder	Norveç
7	Bag S.	3	University of Johannesburg	Güney Afrika
8	De Leeuw S.	3	Wageningen University & Research	Hollanda
9	Van Wassenhove L.N.	3	INSEAD	Fransa
10	Shafiq M.	3	The Islamia University of Bahawalpur	Tayland
11	Soratana K.	3	Naresuan University	Tayland
12	Rejeb A.	3	Széchenyi István University	Macaristan
13	Rejeb K.	3	Higher Institute Of Computer Science Ariana	Tunus

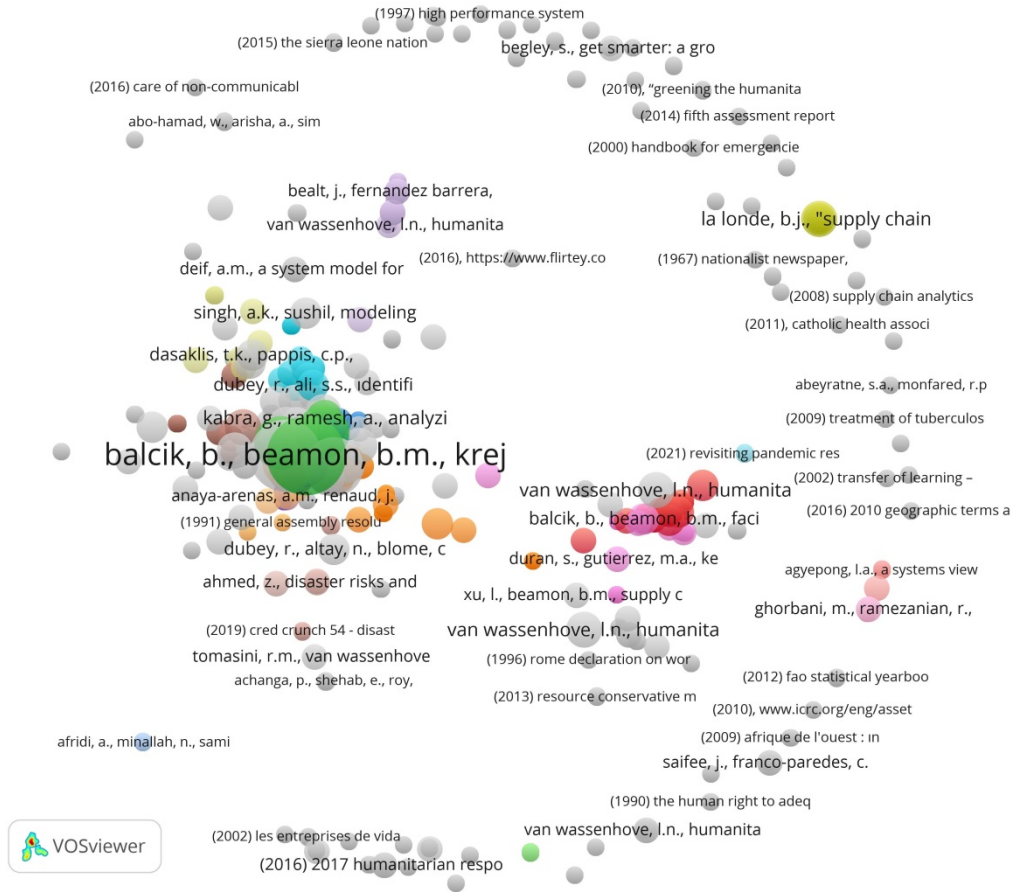
148 çalışmanın aldığı toplam atıf sayısı 2086 olarak tespit edilmiştir. Bu atıf sayıları içinde en fazla pay %11 ile Queiroz vd. (2020), %8 ile Soosay ve Hyland (2015) ve %7 ile Dubey ve Gunasekaran (2016) çalışmalarına aittir. 148 çalışmaya ait atıf ağı Şekil 16'da gösterilmektedir.

**Şekil 16.** 148 çalışmanın aldığı atıf sayılarına ilişkin ağ yapısı

148 çalışmanın aldığı atıflara ek olarak bu çalışmaların atıfta bulunduğu çalışmalara da bakılmıştır. Scopus verilerine göre 148 çalışma toplamda 8141 adet farklı çalışmaya atıfta bulunmuştur. 148 çalışmanın en fazla referans olarak kullandığı ilk 10 çalışma Tablo 3'te verilmiştir. Tüm çalışmalar ise Şekil 17'de atıf ağı olarak resmedilmiştir.

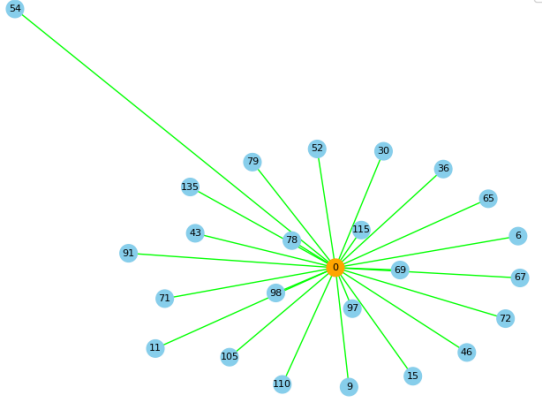
Tablo 3. 148 çalışmanın en fazla atıfta bulunduğu ilk 10 çalışma

Sıra	Kaynak	Başlık	Dergi
1	Balcik vd. (2010)	Coordination in humanitarian relief chains: practices, challenges and opportunities	International Journal of Production Economics
2	Van Wassenhove (2006)	Humanitarian aid logistics: supply chain management in high gear	Journal of the Operational Research Society
3	Kovacs ve Spens (2007)	Humanitarian logistics in disaster relief operations	International Journal of Physical Distribution & Logistics Management
4	Beamon ve Balcik (2008)	Performance measurement in humanitarian relief chains	International Journal of Public Sector Management
5	Dubey ve Ggunasekaran (2016)	The sustainable humanitarian supply chain design: agility, adaptability and alignment	International Journal of Logistics Research and Applications
6	Kunz ve Reiner (2012)	A meta-analysis of humanitarian logistics research	Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management
7	Haavisto ve Kovacs (2014)	Perspectives on sustainability in humanitarian supply chains	Disaster Prevention and Management: An International Journal
8	Balcik vd. (2008)	Last mile distribution in humanitarian relief	Journal of Intelligent Transportation Systems
9	Altay ve Green (2006)	OR/MS research in disaster operations management	European Journal of Operational Research
10	Day vd. (2012)	Humanitarian and disaster relief supply chains: a matter of life and death	Journal of Supply Chain Management

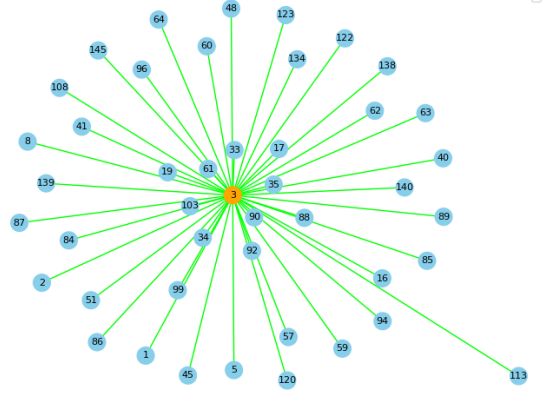
**Şekil 17.** 148 çalışmanın yaptığı atıflara ilişkin ağ yapısı

Yukarıda sunulan bibliyometrik analiz sonuçlarına ek olarak 148 çalışma özet içeriklerine göre de gruplandırılmıştır. Eligüzel vd. (2020) çalışmasında önerilen hazır k-means sınıflandırma Python uzantısı kullanılarak 148 çalışma özet içeriklerine göre beş gruba ayrılmış ve çalışmalar gruplara eşleştirilmiştir. Şekil 18'de bu kümeler gösterilmektedir. Beş kümenin merkez çalışmaları sırasıyla 0 (Tasnim vd. 2022), 3 (Dubey vd. 2022), 29 (Baffoe ve Luo, 2021), 12 (Rejeb vd. 2021) ve 4 (Amorim vd. 2022) nolu çalışmalar olarak belirlenmiştir. Şekil 18'deki her bir numaraya karşılık gelen çalışmalar Tablo 4'te özetlenmiştir.

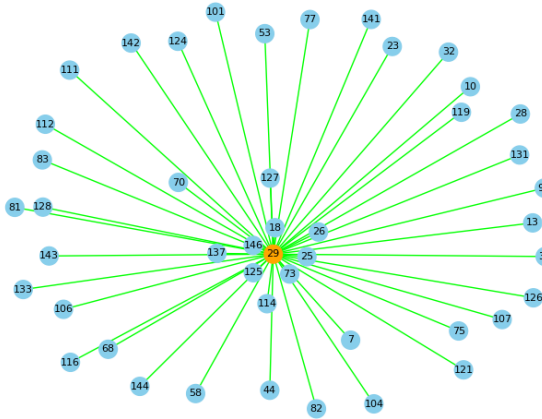
1. Grup



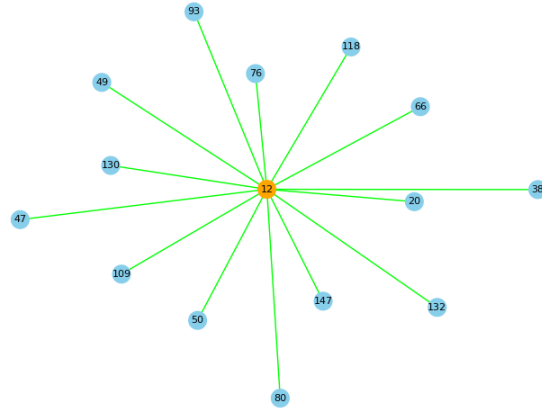
2. Grup



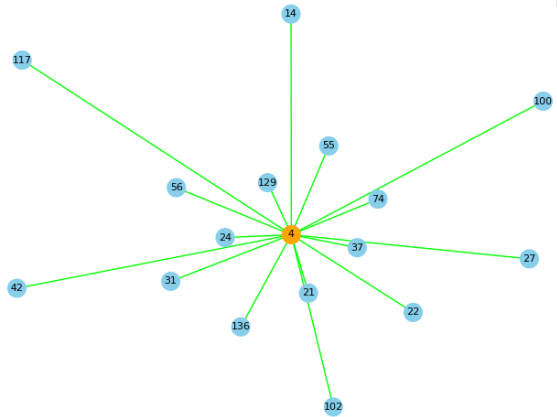
3. Grup



4. Grup



5. Grup



Şekil 18. 148 çalışmanın özetlerine göre beş ayrı küme olarak gruplandırılması

Tablo 4. Numaralara karşılık gelen kaynaklar

#	Kaynak	#	Kaynak
0	Tasnım vd. (2022)	74	Şafiq ve Soratana (2019)
1	Novoszel ve Wakolbinger (2022)	75	Behl ve Pal (2019)
2	Bala vd. (2022)	76	Gebre vd. (2018)
3	Dubey vd. (2022)	77	Miro vd. (2018)
4	Amorim vd. (2022)	78	Schön vd. (2018)
5	Ali ve Kannan (2022)	79	Fernando ve Chukai (2018)
6	Cesari vd. (2022)	80	Rehr vd. (2018)
7	Kumar vd. (2022)	81	MacCarthy vd. (2018)
8	Karl ve Scholz Karl (2022)	82	Wesana vd. (2018)
9	Mangla ve Luthra (2022)	83	Pullman vd. (2018)
10	Lipman ve Maier (2022)	84	Kaminsky (2018)
11	Besiou vd. (2022)	85	Jilani vd. (2018)
12	Rejeb vd. (2021)	86	Zaitseva vd. (2018)
13	Coombes ve Nicholson (2021)	87	Salvado vd. (2018)
14	Beresford ve Pettit (2021)	88	Srinivas Sucharitha ve Lee (2018)
15	Larson (2021)	89	Jilani vd. (2018)
16	Zakir Hossain (2021)	90	Wiens vd. (2018)
17	Patil vd. (2021)	91	Ade Bilau vd. (2018)
18	Karupiah vd. (2021)	92	Singh vd. (2018)
19	Pascucci (2021)	93	van Kempen vd. (2017)
20	Tachaudomdach vd. (2021)	94	Kovacs vd. (2017)
21	Cazzolino (2021)	95	Nappi ve Souza (2017)
22	Farooq vd. (2021)	96	Toyasaki vd. (2017)
23	Klumpp ve Loske (2021)	97	Atasu vd. (2017)
24	Hossain ve Thakur (2021)	98	Kunz ve Gold (2017)
25	Vicente-Oliva ve Martinez-Sanchez (2021)	99	Hirsch (2017)
26	Ramos ve Pereira (2021)	100	Salvado vd. (2017)
27	Adeiza vd. (2021)	101	Hirschinger vd. (2016)
28	Patil vd. (2021)	102	Yadav ve Barve (2016)
29	Baffoe ve Luo (2021)	103	Asgari vd. (2016)
30	Rejeb vd. (2021)	104	Lom vd. (2016)
31	Abbas vd. (2022)	105	Regattieri vd. (2016)
32	McDonald vd. (2021)	106	Connolly vd. (2016)
33	Das vd. (2021)	107	Dubey ve Gunasekaran (2016)
34	Harpring vd. (2021)	108	Hirschinger ve Moser (2016)
35	Malmir ve Zobel (2021)	109	Parisi vd. (2016)
36	Boostani vd. (2021)	110	Wang vd. (2016)
37	Cherkesly ve Maizi (2020)	111	Cabicarova ve Ullrich (2016)
38	Medel vd. (2020)	112	Meduri ve Ali Ahmed (2016)
39	Khan vd. (2020)	113	Battini vd. (2016)
40	Ittmann (2020)	114	Eggersdorfer ve Bird (2016)
41	Asgary vd. (2020)	115	Haavisto ve Goentzel (2015)
42	Amiri vd. (2020)	116	Soosay ve Hyland (2015)
43	Sahebi vd. (2020)	117	Peretti vd. (2015)
44	Perache vd. (2020)	118	Cookson vd. (2015)
45	Chen vd. (2020)	119	Abidi vd. (2015)
46	Sperling (2020)	120	Klumpp (2015)
47	Bag vd. (2020)	121	Klumpp vd. (2015)
48	van Barneveld vd. (2020)	122	Remida (2015)
49	Boer vd. (2020)	123	Wei vd. (2015)
50	Shafiq ve Soratana (2020)	124	Ni vd. (2015)
51	Wood ve Fraizer (2020)	125	Oberhofer vd. (2015)
52	Lecadet (2020)	126	Abidi ve Scholten (2015)
53	Kwapong Baffoe ve Luo (2020)	127	Harke ve de Leeuw (2015)
54	Bag vd. (2020)	128	Chingono ve Mbohwa (2015)
55	Rejeb ve Rejeb (2020)	129	Oloruntoba (2015)
56	Queiroz vd. (2020)	130	Mora-Vargas vd. (2015)
57	Grest vd. (2020)	131	Clark ve Hobbs (2015)
58	Khan vd. (2020)	132	Baba vd. (2015)
59	Sabri vd. (2019)	133	Savino vd. (2015)
60	Van Wassenhove (2019)	134	Haavisto ve Kovacs (2014)
61	Laguna-Salvado vd. (2019)	135	Soneye (2014)
62	Chiappetta Jabbour vd. (2019)	136	Matopoulos vd. (2014)
63	Zarei vd. (2019)	137	Kretschmer vd. (2014)
64	Grest vd. (2019)	138	Green vd. (2013)
65	Zarei vd. (2019)	139	Sienou ve Karduck (2012)
66	Nedjalkov vd. (2019)	140	Hatzell vd. (2012)
67	Yadav ve Barve (2019)	141	Witherspoon ve Harris (2011)
68	Liv vd. (2019)	142	Patel ve Mehta (2011)
69	Jermisittiparset ve Kampoomprasert (2019)	143	Liu (2011)
70	Johnstone vd. (2019)	144	Moysey (2010)
71	Cesari vd. (2019)	145	Hartranft (2009)
72	Bag ve Armesh (2019)	146	Idigbe vd. (2006)
73	Shafiq ve Soratana (2019)	147	Garner ve Harrison (2006)

Şekil 18’de belirtilen her bir grup içerik olarak birbirlerine yakın olan çalışmalarını kapsamaktadır. İki düğüm arasındaki uzaklık ise aralarındaki benzerlik seviyesi ile ters orantılıdır. Yani birbirine uzak olan iki çalışmanın

benzerlikleri düşüktür. Buna göre birinci grup – yani merkezinde Tasnim vd. (2022) çalışmasının olduğu grup – diğer gruplara göre sürdürülebilir insani yardım lojistiği konusuna daha fazla odaklanmaktadır. Diğer taraftan beşinci gruptaki çalışmalar insani yardım lojistiğinin sosyal ve organizasyonel boyutu ile daha çok ilgilenmektedir. Dördüncü gruptaki çalışmalar da daha çok insani tedarik zinciri yönetimi, teknolojileri ve bilgi sistemleri üzerine odaklanmaktadır.

Yukarıda sunulan bibliyometrik tarama ve detaylı inceleme sonrasında sürdürülebilir insani yardım lojistiği alanında tespit edilen literatürdeki boşluklar aşağıda maddelenmiştir.

- Birleşmiş Milletler İnsani Müdahale Depolarının (UNHRD) sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmesi ve kıyaslanması,
- Sürdürülebilir insani yardım lojistiği olgunluk modelinin geliştirilmesi ve Türkiye’de ki insani yardım organizasyonlarının sürdürülebilirlik açısından analiz edilmesi,
- Sürdürülebilir insani yardım deposu için yer seçimi,
- Sürdürülebilir insani yardım tedarik zinciri yönetiminin Birleşmiş Milletlerin 17 Sürdürülebilir Kalkınma Amacı ile ilişkilendirilmesi ve analizi,
- İnsani yardım tedarik zinciri yönetimi için döngüsel ekonomi modeli geliştirilmesi,
- Sürdürülebilir insani yardım lojistiği ve tedarik zinciri için anahtar performans göstergelerinin (sosyal, ekonomik ve çevresel) belirlenmesi ve oluşturulması,
- Sürdürülebilir insani yardım lojistiği ve tedarik zinciri yönetimi önündeki engellerin belirlenmesi ve çözüm önerilerinin sunulması,
- Sürdürülebilir insani yardım lojistiği için bir SCOR çerçevesinin oluşturulması.

4. Sonuç

Lojistik çoğunlukla ticari tedarik zincirlerinde kullanılsa da, afet yardım operasyonlarında da önemli bir araçtır. İnsani yardım lojistiği, doğal afetler veya karmaşık acil durumlarda etkilenen bölgeye ve insanlara malzeme teslimatı ve depolama konusunda uzmanlaşmış bir lojistik daldır. İnsani lojistik, insanların acılarını hafifletmek amacıyla kaynak noktasından tüketim noktasına kadar mal ve malzemelerin verimli, uygun maliyetli akışının ve depolanmasının yanı sıra ilgili bilgilerin planlanması, uygulanması ve kontrol edilmesi sürecidir. Bu süreç, hazırlık, planlama, satın alma, nakliye, depolama, izleme ve gümrükleme gibi bir dizi faaliyeti kapsar.

İnsani yardım lojistiği, krizden etkilenen insanlara temel yardım sağlarken ve daha uzun vadeli kalkınma kazanımları için fırsatlar sunarken, diğer taraftan her süreç gibi sürdürülebilir olmaktan başka çaresi yoktur. Ana amacı ne olursa olsun lojistik ve taşımacılık kaynaklı çevresel ve toplumsal etkilerin minimize edilmesi sürdürülebilir insani yardım lojistiğinin önceliklerinden biri olmak zorundadır. Bu konularda sivil toplum kuruluşları ve organizasyonlar kendilerini yavaş yavaş hazırlarken, diğer taraftan akademide de bu konular üzerine yayınlar gözle görülür bir şekilde artış göstermiştir.

Bu çalışmanın amacı sürdürülebilir insani yardım lojistiğinin literatürdeki mevcut durumunu analiz etmek, boşlukları tespit etmek ve ileriye yönelik çalışma konularını göstermektir. Bu doğrultuda Scopus veritabanında uygun anahtar kelimeler ile sorgu yapılmış ve 148 adet çalışma incelemeye alınmıştır. Bahsi geçen çalışmalar hem içeriklerine göre gruplandırılmış hem de bibliyometrik açıdan analiz edilmiştir. Tespitler ve öneriler bir önceki bölümde de detaylı bir şekilde açıklanmaya çalışılmıştır.

Araştırmacıların katkısı

Bu çalışmada; Ayca ÖZCEYLAN, araştırmanın tasarlanması, verilerin toplanması, analizlerin yapılması, bulguların değerlendirilmesi ve makalenin hazırlanması; Mehmet TANYAŞ araştırma sürecinin tasarlanması, izlenmesi, kontrolü, değerlendirilmesi ve makalenin hazırlanması kısımlarına katkı sağlamıştır.

Çıkar çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynakça

- Abbas, H., Asim, Z., Ahmed, Z., & Moosa, S. (2022). Exploring and establishing the barriers to sustainable humanitarian supply chains using fuzzy interpretive structural modeling and fuzzy MICMAC analysis. *Social Responsibility Journal*, 188(8), 1463–1484. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2023.06.001>
- Abidi, H., Kandel, C., Klumpp, M., & Zinnert, S. (2015). Sustainable Humanitarian Logistics Optimization—A Hub Concept for Germany Based on the Shapley Value. In *Humanitarian Logistics and Sustainability*, 129–148. doi: [10.1007/978-3-319-15455-8_8](https://doi.org/10.1007/978-3-319-15455-8_8)
- Abidi, H., & Scholten, K. (2015). Applicability of performance measurement systems to humanitarian supply chains. In *Humanitarian logistics and sustainability*, 235-260. Springer, Cham. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-15455-8_13
- Bilau, A. A., Witt, E., Malalgoda, C., Lill, I., & Amaratunga, D. (2018). Integrated measures for managing permanent housing reconstruction. *Procedia engineering*, 212, 403-410. doi:<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2018.01.052>
- Adeiza, M. A., Wachekwa, I., Nuta, C., Donato, S., Koomson, F., Whitney, J., ... & Ogbuagu, O. (2021). Gaps and Opportunities in HIV Service Delivery in High Volume HIV Care Centers in Liberia: Lessons From the Field. *Annals of Global Health*, 87(1). doi: <http://dx.doi.org/10.5334/aogh.3246>
- Ali, I., & Kannan, D. (2022). Mapping research on healthcare operations and supply chain management: a topic modelling-based literature review. *Annals of Operations Research*, 1-27. doi: <https://doi.org/10.1007/s10479-022-04596-5>
- Amini, M., Bienstock, C. C., & Golias, M. (2020). Management of supply chains with attribute-sensitive products: a comprehensive literature review and future research agenda. *The International Journal of Logistics Management*.31(4), 885–903. doi: [10.1108/IJLM-11-2019-0306](https://doi.org/10.1108/IJLM-11-2019-0306)
- Amorim, A., de Holanda Barbosa, A., & do Amaral Sobral, P. J. (2021). Hunger, Obesity, Public Policies, and Food-Based Dietary Guidelines: A Reflection Considering the Socio-Environmental World Context. *Frontiers in Nutrition*, 8. doi: <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.805569>
- Anjomshoe, A., Banomyong, R., Mohammed, F., & Kunz, N. (2022). A systematic review of humanitarian supply chains performance measurement literature from 2007 to 2021. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 102852. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2022.102852>
- Asgari, N., Nikbakhsh, E., Hill, A., & Farahani, R. Z. (2016). Supply chain management 1982–2015: a review. *IMA Journal of Management Mathematics*, 27(3), 353-379. <https://doi.org/10.1093/imaman/dpw004>
- Asgary, R., Staderini, N., Mthethwa-Hleta, S., Lopez Saavedra, P. A., Garcia Abrego, L., Rusch, B., ... & Kerschberger, B. (2020). Evaluating smartphone strategies for reliability, reproducibility, and quality of VIA for cervical cancer screening in the Shiselweni region of Eswatini: A cohort study. *PLoS medicine*, 17(11), 1–16. doi: [10.1371/journal.pmed.1003378](https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1003378)
- Atasu, A., Toktay, B., Yeo, W. M., & Zhang, C. (2017). Effective medical surplus recovery. *Production and Operations Management*, 26(6), 1142-1162. doi: [http://dx.doi.org/10.1111/poms.12641](https://doi.org/10.1111/poms.12641)
- Baba, H., Watanabe, T., Miyata, K., & Matsumoto, H. (2015). Area business continuity management, a new approach to sustainable local economy. *Journal of Disaster Research*, 10(2), 204-209. doi: <https://doi.org/10.20965/jdr.2015.p0204>
- Baffoe, B. O. K., & Luo, W. (2021). South African Executives Propensity to Use, Diffuse, and Adopt the Humanitarian Logistics Digital Business Ecosystem (HLDBE). *SAGE Open*, 11(3). doi: [http://dx.doi.org/10.1177/21582440211047246](https://doi.org/10.1177/21582440211047246)
- Bag, S., Armesh, T. (2019) Barriers to BDPA applications in sustainable HSC practices. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 319–334.

- Bag, S., Gupta, S., & Wood, L. (2020). Big data analytics in sustainable humanitarian supply chain: Barriers and their interactions. *Annals of Operations Research*, 1-40. Erişim adresi: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10479-020-03790-7>
- Bag, S., Luthra, S., Venkatesh, V. G., & Yadav, G. (2020). Towards understanding key enablers to green humanitarian supply chain management practices. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 31(5), 1111-1145. doi: <http://dx.doi.org/10.1108/MEQ-06-2019-0124>
- Bala, R., Sarangee, K. R., He, S., & Jin, G. (2022). Get Us PPE: A Self-Organizing Platform Ecosystem for Supply Chain Optimization during COVID-19. *Sustainability*, 14(6), 3175. Erişim adresi: <https://www.mdpi.com/1533510>
- Banomyong, R., Varadejsatitwong, P., & Oloruntoba, R. (2019). A systematic review of humanitarian operations, humanitarian logistics and humanitarian supply chain performance literature 2005 to 2016. *Annals of Operations Research*, 283(1), 71-86. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jdr.2022.102852>
- Battini, D., Peretti, U., Persona, A., & Sgarbossa, F. (2016). Sustainable humanitarian operations: closed-loop supply chain. *International Journal of Services and Operations Management*, 25(1), 65-79. doi: <http://dx.doi.org/10.1504/IJSOM.2016.078067>
- Behl, A., & Pal, A. (2019). Sustainability of environmentally sound technologies using interpretive structural modelling. *International Journal of Innovation and Sustainable Development*, 13(1), 1-19. doi: <http://dx.doi.org/10.1504/IJISD.2019.10017235>
- Beresford, A., & Pettit, S. (2021). Humanitarian aid logistics: a Cardiff University research perspective on cases, structures and prospects. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*. doi: <http://dx.doi.org/10.1108/JHLSCM-06-2021-0052>
- Besiou, M., Pedraza-Martinez, A. J., & Van Wassenhove, L. N. (2021). Humanitarian operations and the UN sustainable development goals. *Production and Operations Management*, 30(12), 4343-4355. doi: <http://dx.doi.org/10.1111/poms.13579>
- Bhushan, S. (2017). System dynamics base-model of humanitarian supply chain (HSCM) in disaster prone eco-communities of India: A discussion on simulation and scenario results. *International Journal of System Dynamics Applications (IJSDA)*, 6(3), 20-37. doi: <http://dx.doi.org/10.4018/978-1-5225-6195-8.ch012>
- den Boer, J., Lambrechts, W., & Krikke, H. (2020). Additive manufacturing in military and humanitarian missions: Advantages and challenges in the spare parts supply chain. *Journal of Cleaner Production*, 257, 120301. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120301>
- Boostani, A., Jolai, F., & Bozorgi-Amiri, A. (2021). Designing a sustainable humanitarian relief logistics model in pre-and postdisaster management. *International Journal of Sustainable Transportation*, 15(8), 604-620. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/15568318.2020.1773975>
- Cabicarová, M., Ullrich, D. (2016). The impact of transport infrastructure on the success of humanitarian operations. *Proceedings of the 28th International Business Information Management Association Conference - Vision 2020: Innovation Management, Development Sustainability, and Competitive Economic Growth*, 3748–3757. Erişim adresi: <https://ibima.org/accepted-paper/impact-transport-infrastructure-success-humanitarian-operations/>
- Cesari, G., Johnson, S. O., Cancelliere, G., Von Medeazza, G. (2019). How a water trucking governance mechanism in the West Bank enhances equity and sustainability. *Waterlines*, 38(4), 305–315. doi: <https://doi.org/10.3362/1756-3488.18-00036>
- Cesari, G., Johnson, S. O., Cancelliere, G., Von Medeazza, G. (2022) How a water trucking governance mechanism in the West Bank enhances equity and sustainability. *Waterlines*, 41(1), 24–34. Erişim adresi: <https://practicalactionpublishing.com/article/3069/how-a-water-trucking-governance-mechanism-in-the-west-bank-enhances-equity-and-sustainability>

- Chen, H.S.Y., Van Wassenhove, L.N., Cheng, T.C.E. (2020). Designing sustainable humanitarian supply chains, Erişim adresi: <https://osf.io/m82ar/download>.
- Chen, F., Liu, S., & Appolloni, A. (2020). Horizontal coordination of I-LNGOs in the humanitarian supply chain: an evolutionary game approach. *Sustainability*, 12(15), 5953. doi: <http://dx.doi.org/10.3390/su12155953>
- Cherkesly, M., & Maïzi, Y. (2020, December). A simulation model for short and long term humanitarian supply chain operations management. In *2020 Winter Simulation Conference (WSC)* (pp. 1360-1371). IEEE. doi: <http://dx.doi.org/10.1109/WSC48552.2020.9384003>
- Chiappetta Jabbour, C. J., Sobreiro, V. A., Lopes de Sousa Jabbour, A. B., de Souza Campos, L. M., Mariano, E. B., & Renwick, D. W. S. (2019). An analysis of the literature on humanitarian logistics and supply chain management: paving the way for future studies. *Annals of Operations Research*, 283(1), 289-307. Erişim adresi: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10479-017-2536-x>
- Chingono, T. T., & Mbohwa, C. (2015, May). Humanitarian Logistics in Zimbabwe: A taxonomic literature review. In *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science*, 925–929. Erişim adresi: https://www.iaeng.org/publication/WCECS2015/WCECS2015_pp925-929.pdf
- Clark, L. F., & Hobbs, J. E. (2015, May). Innovations in international food assistance strategies and therapeutic food supply chains. In *Food security in an uncertain world*. Emerald Group Publishing Limited, 111–128. doi: <http://dx.doi.org/10.1108/S1574-871520150000015016>
- Connelly, E. B., Lambert, J. H., & Thekdi, S. A. (2016). Robust investments in humanitarian logistics and supply chains for disaster resilience and sustainable communities. *Natural Hazards Review*, 17(1), 04015017. doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)NH.1527-6996.0000187](https://doi.org/10.1061/(ASCE)NH.1527-6996.0000187)
- Cookson, S. T., Abaza, H., Clarke, K. R., Burton, A., Sabrah, N. A., Rumman, K. A., ... & Naoum, M. (2015). Impact of and response to increased tuberculosis prevalence among Syrian refugees compared with Jordanian tuberculosis prevalence: case study of a tuberculosis public health strategy. *Conflict and health*, 9(1), 1-7. doi: <http://dx.doi.org/10.1186/s13031-015-0044-7>
- Coombes, P. H., & Nicholson, J. D. (2021). Building an entrepreneurial business model: The case of MKM Building Supplies Ltd. *The International Journal of Entrepreneurship and Innovation*, 22(4), 275-283. doi: <https://doi.org/10.1177/14657503211012383>
- Cozzolino, A. (2021). Platforms enhancing the engagement of the private sector in humanitarian relief operations. *Sustainability*, 13(6), 3024. doi: <http://dx.doi.org/10.3390/su13063024>
- Cred. (2021). Disasters in numbers, Erişim adresi: https://cred.be/sites/default/files/2021_EMDAT_report.pdf.
- Çelik, İ.H., Galip, U.S.T.A., Yılmaz, G., & Yakupoğlu, M. (2020). Türkiye’de Yaşanan Teknolojik Afetler (2000-2020) Üzerine Bir Değerlendirme. *Artvin Çoruh Üniversitesi Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi*, 6(2), 49-57. doi: <http://dx.doi.org/10.22466/acusb.776580>
- Das, D., Datta, A., Kumar, P., Kazancoglu, Y., & Ram, M. (2022). Building supply chain resilience in the era of COVID-19: An AHP-DEMATEL approach. *Operations Management Research*, 15(1), 249-267. Erişim adresi: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12063-021-00200-4>
- Dubey, R., Bryde, D. J., Foropon, C., Tiwari, M., & Gunasekaran, A. (2021). How frugal innovation shape global sustainable supply chains during the pandemic crisis: lessons from the COVID-19. *Supply Chain Management: An International Journal*. 27(2), 295–311. doi: <http://dx.doi.org/10.1108/SCM-02-2021-0071>
- Dubey, R., & Gunasekaran, A. (2016). The sustainable humanitarian supply chain design: agility, adaptability and alignment. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 19(1), 62-82. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/13675567.2015.1015511>
- Eggersdorfer, M., & Bird, J. K. (2016). How to achieve transparency in public-private partnerships engaged in hunger and malnutrition reduction. *Hidden Hunger*, 115, 224-232. doi: [10.1159/000442109](https://doi.org/10.1159/000442109)

- Eligüzel, N., Çetinkaya, C., & Dereli, T. (2020). Comparison of different machine learning techniques on location extraction by utilizing geo-tagged tweets: A case study. *Advanced Engineering Informatics*, 46, 101151. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aei.2020.101151>
- Emdat. (2020). The OFDA/CRED-International Disaster Database Université catholique de Louvain Brussels, Belgium. Erişim adrsi: <https://www.emdat.be>
- Ertem, M. A., Buyurgan, N., & Rossetti, M. D. (2010). Multiple-buyer procurement auctions framework for humanitarian supply chain management. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. doi: <https://doi.org/10.1108/09600031011035092>
- Erturgut, R., & Yılmaz, B. (2020). Afet ve insani yardım lojistiği alanında yapılan çalışmaların bibliyometrik analizi. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (40), 105-123. doi: <https://doi.org/10.30794/pausbed.667908>
- Farooq, M. U., Hussain, A., Masood, T., & Habib, M. S. (2021). Supply chain operations management in pandemics: a state-of-the-art review inspired by COVID-19. *Sustainability*, 13(5), 2504. doi: <http://dx.doi.org/10.3390/su13052504>
- Fernando, Y., & Chukai, C. (2018). Value co-creation, goods and service tax (GST) impacts on sustainable logistic performance. *Research in Transportation Business & Management*, 28, 92-102. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2018.10.001>
- Formanek, S. (2019). A Study of Sustainable Facilities Management From A Green Supply Chain Perspective In The United Arab Emirates. *Journal of Turkish Operations Management*, 3(2), 314-323. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/jtom/issue/51652/587607>
- Garner, A. A., & Harrison, K. (2006). Early post-tsunami disaster medical assistance to Banda Aceh: a personal account. *Emergency Medicine Australasia*, 18(1), 93-96. doi: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1742-6723.2006.00811.x>
- Gebre, B., Biadgilign, S., Taddese, Z., Legesse, T., & Letebo, M. (2018). Determinants of malnutrition among pregnant and lactating women under humanitarian setting in Ethiopia. *BMC nutrition*, 4(1), 1-8. Erişim adresi: <https://bmcnutr.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40795-018-0222-2>
- Green, J. L., de Weck, O. L., & Suarez, P. (2013). Evaluating the economic sustainability of sanitation logistics in Senegal. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 3(1), 7–21. doi:<http://dx.doi.org/10.1108/20426741311328484>
- Grest, M., Lauras, M., & Montreuil, B. (2019, September). Toward Humanitarian Supply Chains Enhancement by using Physical Internet Principles. In *2019 International Conference on Industrial Engineering and Systems Management*, 1-6. IEEE. doi: <https://doi.org/10.1109/IESM45758.2019.8948187>
- Grest, M., Montreuil, B., & Lauras, M. (2020, April). Toward Assessing Physical Internet Potential Benefits for Humanitarian Supply Chains. In *ILS 2020-8th International Conference on Information Systems, Logistics and Supply Chain*, 276-283. doi: <http://dx.doi.org/10.24251/HICSS.2021.251>
- Haavisto, I., & Goentzel, J. (2015). Measuring humanitarian supply chain performance in a multi-goal context. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 5(3), 300–324. doi:<http://dx.doi.org/10.1108/JHLSCM-07-2015-0028>
- Haavisto, I., & Kovács, G. (2014). Perspectives on sustainability in humanitarian supply chains. *Disaster Prevention and Management*, 23(5), 610–631. doi: <http://dx.doi.org/10.1108/DPM-10-2013-0192>
- Harke, J., & Leeuw, S. D. (2015). Enhancing sustainability in managing inventory prepositioning networks for disaster relief through a simulation game. In *Humanitarian Logistics and Sustainability*, 215-233. Springer, Cham. doi: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-15455-8_12
- Harpring, R., Maghsoudi, A., Fikar, C., Piotrowicz, W. D., & Heaslip, G. (2021). An analysis of compounding factors of epidemics in complex emergencies: a system dynamics approach. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 11(2), 198–226. doi:<http://dx.doi.org/10.1108/JHLSCM-07-2020-0063>

- Hartranft, T.J. (2009, May). Sustainable energy for deployed military bases. *2008 Proceedings of the 2nd International Conference on Energy Sustainability*, 1, 69–77. doi: <http://dx.doi.org/10.1115/ES2008-54136>
- Hatzell, K. B., Hatzell, M. C., Paek, M. Y., Hatzell, J. G., Patel, S. N., Sulewski, T. L., ... & Mehta, K. (2012, June). Overview of the First Year of an Innovative Science Education and Entrepreneurship Venture. In *2012 ASEE Annual Conference & Exposition*, 25-1019. doi: <http://dx.doi.org/10.18260/1-2--21776>
- Hirsch, P. (2017). Recent planning approaches and mobility concepts for home health care services in Austria—A review. *Die Bodenkultur: Journal of Land Management, Food and Environment*, 68(4), 205-222. doi:<http://dx.doi.org/10.1515/boku-2017-0017>
- Hirschinger, M., Moser, R., Schaefers, T., Hartmann, E. (2016). No Vehicle Means No Aid—A Paradigm Change for the Humanitarian Logistics Business Model. *Thunderbird International Business Review*, 58(5), 373–384. doi:<http://dx.doi.org/10.1002/tie.21745>
- Hossain, M. K., Thakur, V. (2021). Benchmarking health-care supply chain by implementing Industry 4.0: a fuzzy-AHP-DEMATEL approach. *Benchmarking*, 28(2), 556–581. Erişim adresi: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/BIJ-05-2020-0268/full/html>
- Idigbe, E. O., Odutolu, O., Okonkwo, P., Folayan, M., Audu, R., Makanjuola, O., Jolayemi, O. (2006). Evaluation of the Nigerian national antiretroviral, ARV treatment training programme. *Sahara J*, 3(3), 488–502. doi:<http://dx.doi.org/10.1080/17290376.2006.9724876>
- Ittmann, H. W. (2020). Lessons gained from four case studies of operations research for sustainable development in South Africa. *Central European Journal of Operations Research*, 28(4), 1187-1217. Erişim adresi: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10100-019-00644-x>
- Jermstittiparsert, K., & Kampoomprasert, A. (2019). The agility, adaptability, and alignment as the determinants of the sustainable humanitarian supply chain design. *Humanities & Social Sciences Reviews*, 7(2), 539-547. doi:<http://dx.doi.org/10.18510/hssr.2019.7264>
- Jilani, A., Ali, Y., & Khan, M. W. (2018). Greening of humanitarian supply chain with focus on logistics. *International Journal of Business Performance and Supply Chain Modelling*, 10(1), 49-66. doi:<http://dx.doi.org/10.1504/IJBPSM.2018.093319>
- Johnstone, P.W., Eder, M.K., Newton, A., Bentley, N., & Rufus, I. (2019). The west African Ebola emergency and reconstruction; lessons from Public Health England. *British Medical Bulletin*, 129(1), 79-89. doi:<http://dx.doi.org/10.1093/bmb/ldz005>
- Kaminsky, J.A. (2018). National culture shapes private investment in transportation infrastructure projects around the globe. *Journal of construction engineering and management*, 144(2), 04017098. doi:[http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001416](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001416)
- Karl, A.A., & Karl, J.S. (2022). Human rights for refugees: enhancing sustainable humanitarian supply chain to guarantee a health environment in refugee settlements. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*. doi: <http://dx.doi.org/10.1108/JHLSCM-07-2017-0029>
- Karuppiah, K., Sankaranarayanan, B., Ali, S. M., & Paul, S.K. (2021). Key challenges to sustainable humanitarian supply chains: lessons from the covid-19 pandemic. *Sustainability*, 13(11), 5850. doi: <http://dx.doi.org/10.3390/su13115850>
- Khan, M., Ishaque, A., Shah, S. F. A., Hussain, A., Zeeshan, M., Khan, J. A., & Rehman, A. (2020). The teaching of humanitarian logistics at university level. *Int. J. Innov., Creativity Change*, 12(11), 485-500.
- Khan, M., Sarmad, M., Ullah, S., & Bae, J. (2020). Education for sustainable development in humanitarian logistics. *Journal of humanitarian logistics and supply chain management*. 10(4), 573–602. doi:<http://dx.doi.org/10.1108/JHLSCM-03-2020-0022>

- Klumpp, M. (2015). Sustainable humanitarian logistics research—A conceptualization. In *Humanitarian Logistics and Sustainability*, 49-63, Springer, Cham. doi: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-15455-8_4
- Klumpp, M., Leeuw, S. D., Regattieri, A., & Souza, R. D. (2015). Sustainability in Humanitarian Logistics—Why and How?. In *Humanitarian Logistics and Sustainability*, 3-9, Springer, Cham. doi: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-15455-8_1
- Klumpp, M., & Loske, D. (2021). Long-term economic sustainability of humanitarian logistics—a multi-level and time-series data envelopment analysis. *International journal of environmental research and public health*, 18(5), 2219. doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph18052219>
- Kovács, G., & Spens, K.M. (2007). Humanitarian logistics in disaster relief operations. *International journal of physical distribution & logistics management*, 37(2), 99–114. doi: <http://dx.doi.org/10.1108/09600030710734820>
- Kretschmer, A., Spinler, S., & Van Wassenhove, L. N. (2014). A school feeding supply chain framework: Critical factors for sustainable program design. *Production and Operations Management*, 23(6), 990-1001. doi:<http://dx.doi.org/10.1111/poms.12109>
- Kumar, A., Srivastava, S. K., & Singh, S. (2022). How blockchain technology can be a sustainable infrastructure for the agrifood supply chain in developing countries. *Journal of Global Operations and Strategic Sourcing*. doi: <http://dx.doi.org/10.1108/JGOSS-08-2021-0058>
- Kurbanova, M., & Cavlak, H. Blokzincir ve denetim alanındaki makalelerin bibliyometrik analizi. *TIDE AcademIA Research*, 3(2), 213-246. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/2188149>
- Kunz, N., & Gold, S. (2017). Sustainable humanitarian supply chain management—exploring new theory. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 20(2), 85-104. doi:<http://dx.doi.org/10.1080/13675567.2015.1103845>
- Kwapong Baffoe, B., & Luo, W. (2020). Humanitarian relief sustainability: A framework of humanitarian logistics digital business ecosystem. *Transportation Research Procedia*, 48, 363-387. doi:<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.08.032>
- Laguna-Salvadó, L., Lauras, M., Okongwu, U., & Comes, T. (2019). A multicriteria Master Planning DSS for a sustainable humanitarian supply chain. *Annals of Operations Research*, 283(1), 1303-1343. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10479-018-2882-3>
- Larson, P. D. (2021). Security, sustainability and supply chain collaboration in the humanitarian space. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*. doi: <http://dx.doi.org/10.1108/JHLSCM-06-2021-0059>
- Le Cozannet, G., Kervyn, M., Russo, S., Ifejika Speranza, C., Ferrier, P., Foumelis, M., ... & Modaresi, H. (2020). Space-based earth observations for disaster risk management. *Surveys in geophysics*, 41(6), 1209-1235. Erişim adresi: https://ui.adsabs.harvard.edu/link_gateway/2020SGeo..41.1209L/doi:10.1007/s10712-020-09586-5
- Lecadet, C. (2020). The IOM's Crisis Management and the Expulsion of Ethiopians from Saudi Arabia. In *The International Organization for Migration*, 271-292. Palgrave Macmillan, Cham. doi:http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-32976-1_12
- Leiras, A., de Brito Jr, I., Peres, E.Q., Bertazzo, T.R., & Yoshizaki, H.T.Y. (2014). Literature review of humanitarian logistics research: trends and challenges. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 4(1), 95–130. doi: <http://dx.doi.org/10.1108/JHLSCM-04-2012-0008>
- Li, C., Zhang, F., Cao, C., Liu, Y., & Qu, T. (2019). Organizational coordination in sustainable humanitarian supply chain: An evolutionary game approach. *Journal of cleaner production*, 219, 291-303. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.233>
- Lipman, T.E., & Maier, P. (2022). Advanced materials supply considerations for electric vehicle applications. *MRS Bulletin*, 46(12), 1164–1175. doi: <http://dx.doi.org/10.1557/s43577-022-00263-z>

- Liu, J. (2011). Supply Chain Management and Transport Logistics. *Supply Chain Management and Transport Logistics*. doi: <https://doi.org/10.4324/9780203805862>
- Lom, M., Pribyl, O., & Svitek, M. (2016, May). Industry 4.0 as a part of smart cities. In *2016 Smart Cities Symposium Prague (SCSP)*, 1-6. IEEE. doi: <http://dx.doi.org/10.1109/SCSP.2016.7501015>
- MacCarthy, M. F., Berns, H. F., Monty, R., Brett, M. E., Martin, Z. L., Dimopoulos, K. C., ... & Schultz, S. (2018, June). Global Humanitarian Engineering Solutions: A Partnership Between Mercer University and the United Nations Humanitarian Response Depot. In *2018 ASEE Annual Conference & Exposition*.
- Malmir, B., & Zobel, C. W. (2021). An applied approach to multi-criteria humanitarian supply chain planning for pandemic response. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 11(2), 320–346. Erişim adresi: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/JHLSCM-08-2020-0064/full/html>
- Mangla, S. K., & Luthra, S. (2022). When challenges need an evaluation: for operational excellence and sustainability orientation in humanitarian supply and logistics management. *Production Planning & Control*, 33(6-7), 539-557. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/09537287.2020.1834129>
- Matopoulos, A., Kovács, G., & Hayes, O. (2014). Local resources and procurement practices in humanitarian supply chains: An empirical examination of large-scale house reconstruction projects. *Decision Sciences*, 45(4), 621-646. doi: <http://dx.doi.org/10.1111/decj.12086>
- McDonald, L., Freese, A., Lucena, J., Maya, C., Gamarra, M., Restrepo, O. J. (2021). Beyond social licensing: Employing creative capacity building to develop problem solving and design capabilities among mining communities in Colombia. *2021 SME Annual Conference and Expo and CMA 123rd National Western Mining Conference*.
- Medel, K., Kousar, R., & Masood, T. (2020). A collaboration–resilience framework for disaster management supply networks: a case study of the Philippines. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*. doi: <http://dx.doi.org/10.1108/JHLSCM-09-2019-0066>
- Meduri, Y., & Ahmed, F. A. (2016). Key focus areas in emergency relief: a conceptual framework aligned with triple bottom line. *International Journal of Emergency Management*, 12(4), 392-402. doi: <http://dx.doi.org/10.1504/IJEM.2016.079845>
- Miro, E. D., Martin, J. L., Lopez, L., Secson, J., Oracion, C., & Loanzon, J. (2018). A Supply Chain Profile of a School-based Feeding Program using the Centralized Kitchen Model, 9(7), 1394–1404. doi: <http://dx.doi.org/10.14716/ijtech.v9i7.2073>
- Mora-Vargas, J., Buzón-Cantera, I. E., Thierry-Aguilera, R., & Valdivia-Beutelspacher, R. (2015). Optimization for Humanitarian Logistics, a Sustainable Model. In *IIE Annual Conference. Proceedings*, 343, Institute of Industrial and Systems Engineers (IISE). Erişim adresi: <https://www.proquest.com/openview/15b4103286e4d1646dd1f6bc36b01ced/1?pq-origsite=gscholar&cbl=51908>
- Moysey, S. (2010, October). The importance of stakeholders in community-based geophysics programs. In *2010 SEG Annual Meeting*. OnePetro, 3858–3862. doi: <http://dx.doi.org/10.1190/1.3513653>
- Nappi, M. M. L., & Souza, J. C. (2017). Temporary shelters: An architectural look at user-environment relationships. *Arquitetura Revista*, 13(2), 112-120. doi: <http://dx.doi.org/10.4013/arq.2017.132.05>
- Natarajarathinam, M., Capar, I., & Narayanan, A. (2009). Managing supply chains in times of crisis: a review of literature and insights. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 39(7), 535–573. doi: <http://dx.doi.org/10.1108/09600030910996251>
- Nedjalkov, A., Meyer, J., Göken, H., Reimer, M. V., & Schade, W. (2019). Blueprint and implementation of rural stand-alone power grids with second-life lithium ion vehicle traction battery systems for resilient energy supply of tropical or remote regions. *Materials*, 12(16), 2642.
- Ni, C., Souza, R. D., Lu, Q., & Goh, M. (2015). Emergency Preparedness of Humanitarian Organizations: A System Dynamics Approach. In *Humanitarian Logistics and Sustainability*, 113–127. doi: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-15455-8_7

- Novoszel, L., & Wakolbinger, T. (2022, March). Meta-analysis of supply chain disruption research. In *Operations research forum*, 3(1),1-25. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s43069-021-00118-4>
- Oberhofer, P., Blanco, E. E., & Craig, A. J. (2015). Carbon efficiency of humanitarian supply chains: evidence from French Red Cross operations. In *Logistics management*, 53-66. doi: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-13177-1_5
- OCHA. Global humanitarian overview 2022 (2022), Erişim adresi: <https://reliefweb.int/report/world/global-humanitarian-overview-2022-abridged-report>.
- Oloruntoba, R. (2015). A planning and decision-making framework for sustainable humanitarian logistics in disaster response. In *Humanitarian logistics and sustainability*, 31-48.
- Overstreet, R. E., Hall, D., Hanna, J. B., & Rainer, R. K. (2011). Research in humanitarian logistics. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 1(2), 114–131. doi:<http://dx.doi.org/10.1108/20426741111158421>
- Önsüz, M., & Atalay, B. (2015). Afet lojistiği. *Osmangazi Tıp Dergisi*, 37(3), 1-6. doi:<http://dx.doi.org/10.20515/otd.45606>
- Öztürkel, M. (2021). *Afet yönetimi, afet lojistiği ve insani yardım lojistiği alanında yapılan tez çalışmalarının bibliyometrik analizi (Yüksek Lisans Tezi)*, Tarsus Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Uluslararası Ticaret ve Lojistik Ana Bilim Dalı, Yayınlanmamış. Erişim adresi: <https://hdl.handle.net/20.500.13099/102>
- Parisi, S., Achillas, C., Aidonis, D., & Folinas, D. (2016). Conceptual design of a telecommunications equipment container for humanitarian logistics. *International Journal of Business Science & Applied Management (IJBSAM)*, 11(2), 12-23. Erişim adresi: https://www.researchgate.net/publication/317304612_Conceptual_design_of_a_telecommunications_equipment_container_for_humanitarian_logistics
- Pascucci, E. (2021). More logistics, less aid: Humanitarian-business partnerships and sustainability in the refugee camp. *World Development*, 142, 105424. doi: <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2021.105424>
- Patel, S., & Mehta, K. (2011). Life's principles as a framework for designing successful social enterprises. *Journal of Social Entrepreneurship*, 2(2), 218-230. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/19420676.2011.592407>
- Patil, A., Madaan, J., Shardeo, V., Charan, P., & Dwivedi, A. (2021). Material convergence issue in the pharmaceutical supply chain during a disease outbreak. *The International Journal of Logistics Management*. doi: <http://dx.doi.org/10.1108/IJLM-11-2020-0425>
- Patil, A., Shardeo, V., Dwivedi, A., Madaan, J., & Varma, N. (2021). Barriers to sustainability in humanitarian medical supply chains. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 1794-1807. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.spc.2021.04.022>
- Heller Pérache, A., Leeuwen, C. V., & Fall, C. (2020). The politics of exclusion: fighting for patients with kidney failure in Yemen's war. *Journal of Public Health*, 42(3), e311-e315. doi: <http://dx.doi.org/10.1093/pubmed/fdz133>
- Peretti, U., Tatham, P., Wu, Y., & Sgarbossa, F. (2015). Reverse logistics in humanitarian operations: challenges and opportunities. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 5(2), 253–274. doi: <http://dx.doi.org/10.1108/JHLSCM-07-2014-0026>
- Pullman, M., Longoni, A., & Luzzini, D. (2018). Emerging discourse incubator: The roles of institutional complexity and hybridity in social impact supply chain management. *Journal of Supply Chain Management*, 54(2), 3-20. doi: <https://doi.org/10.1111/jscm.12163>
- Queiroz, M. M., Ivanov, D., Dolgui, A., & Fosso Wamba, S. (2020). Impacts of epidemic outbreaks on supply chains: mapping a research agenda amid the COVID-19 pandemic through a structured literature review. *Annals of operations research*, 1-38. Erişim adresi: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10479-020-03685-7>

- Ramos, A. C. S., & Pereira, N. N. (2021). Reducing the response time to the homeless with the use of Humanitarian Logistics Bases (BLHs) composed of shipping containers adapted as temporary shelters, 10(1), 1–28.
- Regattieri, A., Piana, F., Bortolini, M., Gamberi, M., & Ferrari, E. (2016). Innovative portable solar cooker using the packaging waste of humanitarian supplies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 319-326. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.199>
- Rehr, M., Shoaib, M., Ellithy, S., Okour, S., Ariti, C., Ait-Bouziad, I., ... & Lenglet, A. (2018). Prevalence of non-communicable diseases and access to care among non-camp Syrian refugees in northern Jordan. *Conflict and health*, 12(1), 1-14. Erişim adresi: <https://conflictandhealth.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13031-018-0168-7>
- Rejeb, A., & Rejeb, K. (2020). Blockchain and supply chain sustainability. *Logforum*, 16(3), 363–372. doi: <http://dx.doi.org/10.17270/J.LOG.2020.467>
- Rejeb, A., Rejeb, K., Simske, S., & Treiblmaier, H. (2021). Humanitarian drones: A review and research agenda. *Internet of Things*, 16, 100434. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.iot.2021.100434>
- Rejeb, A., Rejeb, K., Simske, S. J., & Treiblmaier, H. (2021). Drones for supply chain management and logistics: a review and research agenda. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 1-24. doi:<http://dx.doi.org/10.1080/13675567.2021.1981273>
- Remida, A. (2015). A systemic approach to sustainable humanitarian logistics. In *Humanitarian Logistics and Sustainability*, 11-29. doi: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-15455-8_2
- Sabri, Y., Zarei, M. H., & Harland, C. (2019). Using collaborative research methodologies in humanitarian supply chains. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 9(3), 371–409. doi:<http://dx.doi.org/10.1108/JHLSCM-06-2018-0041>
- Sahay, B. S., Gupta, S., Vinod Chandra Menon, N. (2015). Managing humanitarian logistics. *Managing Humanitarian Logistics*, 1–311. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/978-81-322-2416-7>
- Sahebi, I. G., Masoomi, B., & Ghorbani, S. (2020). Expert oriented approach for analyzing the blockchain adoption barriers in humanitarian supply chain. *Technology in Society*, 63, 101427. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.techsoc.2020.101427>
- Salvadó, L. L., Luras, M., & Comes, T. (2018, May). A Sustainability Maturity Assessment Method for the Humanitarian Supply Chain. In *ISCRAM*, 277–290. Erişim adresi: https://www.researchgate.net/publication/324169465_A_Sustainability_Maturity_Assessment_Method_for_the_Humanitarian_Supply_Chain
- Salvadó, L. L., Luras, M., & Comes, T. (2017, May). Sustainable Performance Measurement for Humanitarian Supply Chain Operations. In *ISCRAM*, 775-783. Erişim adresi: https://idl.iscram.org/files/lauralagunasalvado/2017/2064_LauraLagunaSalvado_etal2017.pdf
- Savino, M. M., Mazza, A., & Marchetti, B. (2015). Lean manufacturing within critical healthcare supply chain: an exploratory study through value chain simulation. *International Journal of Procurement Management*, 8(1-2), 3-24. doi: <http://dx.doi.org/10.1504/IJPM.2015.066285>
- Schön, A. M., Al-Saadi, S., Grubmueller, J., & Schumann-Bölsche, D. (2018). Developing a camp performance indicator system and its application to Zaatari, Jordan. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 8(3), 346–373. doi: <http://dx.doi.org/10.1108/JHLSCM-10-2017-0047>
- Shafiq, M., & Soratana, K. (2020). Lean readiness assessment model—a tool for Humanitarian Organizations' social and economic sustainability. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 10(2), 77–99. doi: <http://dx.doi.org/10.1108/JHLSCM-01-2019-0002>
- Shafiq, M., & Soratana, K. (2019). Lean and Agile paradigms in humanitarian organizations' logistics and supply chain management. *LogForum*, 15(1), 139–153. doi: <http://dx.doi.org/10.17270/J.LOG.2019.294>

- Shafiq, M., & Soratana, K. (2019). Humanitarian logistics and supply chain management-a qualitative study. *LogForum*, 15(1), 19–38. doi: <http://dx.doi.org/10.17270/J.LOG.2019.325>
- Shaluf, I. M. (2007). Disaster types. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 16(5), 704–717. Erişim adresi: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/09653560710837019/full/html>
- Sienou, A., & Karduck, A. P. (2012, June). Logistics challenges in developing countries: An analysis of Burkina Faso's national plan for disaster prevention and response. In *2012 6th IEEE International Conference on Digital Ecosystems and Technologies (DEST)*, 1-4. doi: <https://doi.org/10.1109/DEST.2012.6227938>
- Singh, R. K., Gupta, A., & Gunasekaran, A. (2018). Analysing the interaction of factors for resilient humanitarian supply chain. *International Journal of Production Research*, 56(21), 6809-6827. doi:<http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2018.1424373>
- Soneye, A. (2014). An overview of humanitarian relief supply chains for victims of perennial flood disasters in Lagos, Nigeria (2010-2012). *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 4(2), 179–197. doi: <http://dx.doi.org/10.1108/JHLSCM-01-2014-0004>
- Soosay, C. A., & Hyland, P. (2015). A decade of supply chain collaboration and directions for future research. *Supply Chain Management: An International Journal*, 20(6), 613–630. doi:<http://dx.doi.org/10.1108/SCM-06-2015-0217>
- Soyöz, H., & Özyörük, B. (2021). Afet Lojistiğinde Üç Aşamalı Karma Tamsayı Bir Model Önerisi. *Journal of Turkish Operations Management*, 5(1), 641-661. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/jtom/issue/63460/913244>
- Sperling, L. (2020). Seed security response during COVID-19: building on evidence and orienting to the future. *Food security*, 12(4), 885-889. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s12571-020-01068-1>
- Sucharitha, R. S., & Lee, S. (2019). New Policy Design for Food Accessibility to the People in Need. *arXiv preprint arXiv:1909.08648*, 1867–1872. Erişim adresi: https://www.researchgate.net/publication/335926448_New_Policy_Design_for_Food_Accessibility_to_the_People_in_Need
- Şen, G., & Esmer, S. (2017). Afet lojistiği: Bir literatür taraması. *The International New Issues in Social Sciences*, 5(5), 231-250. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tinisos/issue/52902/699385>
- Tachaudomdach, S., Upayokin, A., Kronprasert, N., & Arunotayanun, K. (2021). Quantifying Road-Network Robustness toward Flood-Resilient Transportation Systems. *Sustainability*, 13(6), 3172. doi: <http://dx.doi.org/10.3390/su13063172>
- Tanyaş, M., Günalay, Y., Aksoy, L., & Küçük, Ö.G.B. (2013). İstanbul ili afet lojistik planı kılavuzu. *Lojistik Derneği Yayınları*, 20, 481-487. Erişim adresi: <https://www.kalkinmakutuphanesi.gov.tr/dokuman/istanbul-ili-afet-lojistik-plani-kilavuzu-pdf/574>
- Tasnım, Z., Hamid, A.B.A., Dwivedi, Y.K., & Shareef, M.A. (2022). Sustainable disaster supply chain management for relief operations in Bangladesh. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 12(2), 285–304. Erişim adresi: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/JHLSCM-07-2021-0062/full/html>
- Toyasaki, F., Arikan, E., Silbermayr, L., & Falagara Sigala, I. (2017). Disaster relief inventory management: Horizontal cooperation between humanitarian organizations. *Production and Operations Management*, 26(6), 1221-1237. doi: <http://dx.doi.org/10.1111/poms.12661>
- UNHCR. (2022). Mid-Year trends 2022, Erişim adresi: <https://reliefweb.int/report/world/unhcr-mid-year-trends-2022-0>.

- Van Barneveld, K., Quinlan, M., Kriesler, P., Junor, A., Baum, F., Chowdhury, A., ... & Rainnie, A. (2020). The COVID-19 pandemic: Lessons on building more equal and sustainable societies. *The economic and labour relations review*, 31(2), 133-157. doi: <https://doi.org/10.1177/1035304620927107>
- Van Kempen, E. A., Spiliotopoulou, E., Stojanovski, G., & De Leeuw, S. (2017). Using life cycle sustainability assessment to trade off sourcing strategies for humanitarian relief items. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 22(11), 1718-1730. Erişim adresi: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-016-1245-z>
- Van Wassenhove, L. N. (2006). Humanitarian aid logistics: supply chain management in high gear. *Journal of the Operational research Society*, 57(5), 475-489. doi: <http://dx.doi.org/10.1057/palgrave.jors.2602125>
- Van Wassenhove, L. N. (2019). Sustainable innovation: Pushing the boundaries of traditional operations management. *Production and Operations Management*, 28(12), 2930-2945. doi: <http://dx.doi.org/10.1111/poms.13114>
- Vicente-Oliva, S., & Martínez-Sánchez, Á. (2021). Remote, informal, and ephemeral communities for testing technologies. *Futures*, 126, 102675. Erişim adresi: [10.1016/j.futures.2020.102675](https://doi.org/10.1016/j.futures.2020.102675)
- Wang, D., Yih, Y., Service, J., Lajous, L., & Robbins-Penniman, S. (2016). Web-based, multi-platform, centralized, offline-compatible supply chain management system for emergency responses. In *2016 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)*, 248-253. doi: <http://dx.doi.org/10.1109/GHTC.2016.7857288>
- Wei, X., Al-Refaie, A., Robles, M., & Noche, B. (2015). A sustainable humanitarian relief network study for the Wenchuan earthquake. In *Humanitarian logistics and sustainability*, 193-213. doi: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-15455-8_11
- Wesana, J., De Steur, H., Dora, M. K., Mutenyo, E., Muyama, L., & Gellynck, X. (2018). Towards nutrition sensitive agriculture. Actor readiness to reduce food and nutrient losses or wastes along the dairy value chain in Uganda. *Journal of Cleaner Production*, 182, 46-56. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.021>
- Wiens, M., Schätter, F., Zobel, C. W., & Schultmann, F. (2018). Collaborative emergency supply chains for essential goods and services. In *Urban Disaster Resilience and Security*, 145-168. doi: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-68606-6_10
- Witherspoon, T., & Harris, E. (2011, October). Avoiding the 30-pound paperweight: Success via contextually appropriate technologies. In *2011 IEEE Global Humanitarian Technology Conference*, 402-408. doi: <http://dx.doi.org/10.1109/GHTC.2011.44>
- Wood, E. X., & Frazier, T. (2019). Decentralized humanitarian aid deployment: Reimagining the delivery of aid. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 10(1), 1-20. doi: <http://dx.doi.org/10.1108/JHLSCM-05-2019-0037>
- WREC. (2022). Environmental sustainability in humanitarian logistics, Erişim adresi: <https://logcluster.org/wrec/green-logistics>.
- Yadav, D. K., & Barve, A. (2016). Modeling post-disaster challenges of humanitarian supply chains: A TISM approach. *Global Journal of Flexible Systems Management*, 17(3), 321-340. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s40171-016-0134-4>
- Yadav, D. K., & Barve, A. (2019). Prioritization of cyclone preparedness activities in humanitarian supply chains using fuzzy analytical network process. *Natural Hazards*, 97(2), 683-726. Erişim adresi: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-019-03668-3>
- Yılmaz, Ş. F., Aktaş, N., & Demirel, N. (2022). Novel last mile delivery models in terms of sustainable urban logistics. *Journal of Turkish Operations Management*, 6(1), 1076-1091. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/jtom/issue/70951/1020570>
- Zaitseva, A., Bogomolova, A., Damiani, L., & Revatria, R. (2018). Risk analyses of danger sources and humanitarian aid supply chains due to emergencies. In *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists*. doi: <https://doi.org/10.18280/ijscdp.160615>

Zakir Hossain, A.N.M. (2021). Sustainable development and livelihoods of Rohingya refugees in Bangladesh: The effects of COVID-19. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 16(6), 1141-1152. doi: <http://dx.doi.org/10.18280/ijstdp.160615>

Zarei, M. H., Carrasco-Gallego, R., & Ronchi, S. (2019). To greener pastures: An action research study on the environmental sustainability of humanitarian supply chains. *International Journal of Operations & Production Management*, 39(11), 1193-1225. doi: <http://dx.doi.org/10.1108/IJOPM-12-2018-0703>

Zarei, M. H., Carrasco-Gallego, R., & Ronchi, S. (2019). On the role of regional hubs in the environmental sustainability of humanitarian supply chains. *Sustainable Development*, 27(5), 846-859. doi: <http://dx.doi.org/10.1002/sd.1945>



Journal of Turkish Operations Management

Bir sipariş toplama deposunda iş birlikçi robot hızının çıktı performansı üzerindeki etkisi

Mahmut Tutam^{1*}

¹Erzurum Teknik Üniversitesi, Erzurum

e-mail: mahmut.tutam@erzurum.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-2018-5458>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 01.03.2023

Revize: 05.08.2023

Kabul: 09.08.2023

Anahtar Kelimeler:

Toplama listesi büyüklüğü,
Kolaboratif robot,
Optimal rotalama,
Optimal iş birliği stratejisi,
Optimal kolaboratif robot hızı

Özet

Sipariş toplama operasyonları depolarda en fazla maliyet ve iş yükü oluşturan aktivitelerden birisidir. Son yıllarda, sipariş toplayıcıların iş yükünün azaltılması ve performanslarının artırılması için depolarda kolaboratif sipariş toplama sistemleri daha fazla kullanılmaya başlanmıştır. Kolaboratif bir sipariş toplama sisteminde, kolaboratif robot bir sipariş toplayıcı tarafından sürülebilmekte veya sipariş toplama noktaları arasında yürüyen sipariş toplayıcının yanı sıra otonom olarak hareket edebilmektedir. Kolaboratif sistemin yaygınlaşması ile kolaboratif robot hızının sipariş toplama operasyonlarının çıktı performansına etkisi ne kadardır? ve bu etki farklı toplama liste büyüklükleri için nasıl değişmektedir? gibi araştırma soruları ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla, bu çalışma kolaboratif robot kullanılan bir sipariş toplama deposunda robot hızının çıktı performansına etkisini araştırmak amacıyla bir tamsayı programlama modeli oluşturmayı ve çeşitli sipariş listesi büyüklükleri için geliştirilen modeli çözmeyi hedeflemektedir. Optimizasyon modelinin amacı bir toplama listesindeki tüm lokasyonları kapsayan tur süresini minimize etmektir. Ayrıca, sipariş lokasyonları arasındaki mesafeye bağlı olarak sipariş toplayıcının kolaboratif robotun yanında yürümesi veya kolaboratif robotu sürmesi için optimal strateji belirlenmiştir. Dahası, hız artışının kazalara yol açtığı dikkate alınarak optimizasyon modeline hız artışı için bir zaman cezası eklenmiştir. Son olarak, rastgele toplama listeleri oluşturmak için Monte Carlo simülasyonu kullanılmış ve Dinamik Programlama kullanılarak optimizasyon modeli çözülmüştür. Çalışmanın sonucunda, toplama listesi büyüklüğüne bağlı olarak robot hızının optimize edilmesiyle çıktı performansının %60,7'ye kadar artırılacağı gösterilmiştir.

The impact of collaborative robot speed on the throughput performance in an order-picking warehouse

Article Info

Article History:

Received: 01.03.2023

Revised: 05.08.2023

Accepted: 09.08.2023

Keywords:

Pick-list size,
Collaborative robot,
Optimal routing,
Optimal collaboration
strategy,
Optimal collaborative robot
speed.

Abstract

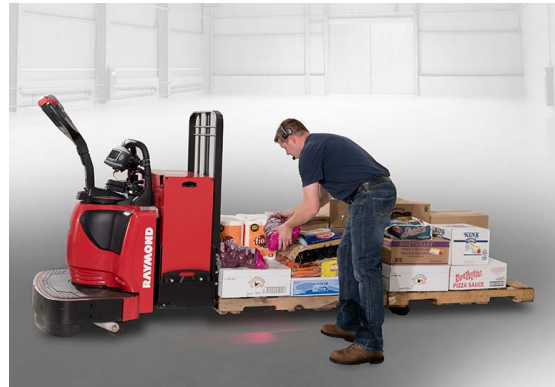
Order-picking operations are one of the most costly and labor-intensive activities in warehouses. In recent years, collaborative order-picking systems have been used increasingly in warehouses to reduce order pickers' workloads and increase their performances. In a collaborative order-picking system, the collaborative robot can be ridden by an order picker or move autonomously alongside the order picker walking between pick locations. The widespread use of collaborative systems raises research questions, such as how much the collaborative robot speed affects the throughput performance of order-picking operations and how this effect changes for different pick-list sizes. Therefore, this study aims to develop an integer programming model to investigate the impact of the robot speed on the throughput capacity in an order-picking warehouse using collaborative robots and to solve the model developed for various pick-list sizes. The objective of the optimization model is to minimize the total tour time covering all locations in a pick-list. Moreover, the optimal strategy to walk along or ride the robot for the order-picker is determined, depending on the distance between the pick locations. Considering the speed increase leads to accidents, a time penalty for the speed increase is added to the optimization model. Eventually, Monte Carlo simulation is used to generate pick-lists randomly, and the optimization model is solved by using Dynamic Programming. As a result of the study, it is shown that the throughput performance can be increased up to 60.7 by optimizing the robot speed depending on the pick-list size.

1. Giriş

Son yıllarda dünya genelinde yaşanan sosyolojik, ekonomik ve teknolojik gelişmeler insanların alışkanlıklarını ciddi bir şekilde değiştirmektedir. Özellikle, teknolojik gelişmeler neticesinde internet kullanım oranının artması ile bireyler çevrimdışı ortamlar yerine çevrimiçi ortamlarda daha fazla vakit geçirmektedirler. Nihayetinde, yapay zekaya sahip sanal asistanların ve sohbet robotlarının kullanımıyla tüketiciler online alışverişe daha fazla yönelmiş ve pandeminin etkisiyle bu yönelimde ciddi bir artış olmuştur. Ticaret Bakanlığı tarafından yayımlanan e-ticaret verilerine göre 2019 yılında %9,80 olan e-ticaretin genel ticaret içerisindeki payı 2020 yılında % 15,70'e çıkmış ve 2021 yılının ilk altı ayında % 17,60'a yükselmiştir (E-ticaret bilgi platformu, 2021). Bireylerin online alışverişe yönelimleri birçok alanda olduğu gibi tedarik zinciri ve lojistik sistemlerinde de ciddi değişimlere sebep olmuştur. Özellikle, insanların çalışma kapasitesinin kısıtlı kalması ve son yıllarda sensör ile bilgi teknolojilerindeki hızlı gelişmeler neticesinde daha fazla otomatik, otonom veya robotik sistemler kullanılmaya başlanmıştır. Ne var ki, otomatik, otonom veya robotik sistem tasarımlarının insanlar kadar esnek olmaması sebebiyle (her farklı bir görev için farklı materyal veya bilgi gerekebilir) bu tür sistemlerin her işte kullanılması fikrinin sürdürülebilir olmadığı anlaşılmış; böylece, sıkıcı ve sürekli tekrar eden işlerde çalışan insanlara yardımcı olabilecek kolaboratif (işbirlikçi) sistemler daha fazla tercih edilmeye başlanmıştır.

Tedarik zinciri ve lojistik sistemlerinde sürekli tekrar eden en önemli işlemlerden birisi depolarda gerçekleştirilen sipariş toplama operasyonlarıdır. Sipariş toplama operasyonlarında sipariş toplayıcılar gün boyunca müşterilerin siparişlerini içeren toplama listelerinde bulunan ürünleri depolardan toplamaktadırlar. Depolarda gerçekleştirilen faaliyetler için harcanan zamanın %55'ini oluşturan sipariş toplama operasyonları, toplam faaliyetler içerisindeki oranın %20 ile %50 arasında değiştiği (Tompkins vd., 2010) ve toplam iş gücü maliyetlerinin %40-60'ını oluşturduğu tahmin edilmektedir (Miller, 2004). Dahası, depo tasarımının veya operasyonların optimize edilmesi ile bu maliyetlerin %10 ile %30 arasında azaltılabileceği belirlenmiştir (Bartholdi ve Hackman, 2019). Son yıllarda sipariş verilen ürün boyutlarındaki azalmanın yanı sıra ürün sayısındaki ciddi artış göz önüne alındığında sipariş toplama operasyonlarının depolama faaliyetleri içerisindeki öneminin daha da arttığı görülmektedir.

2000'li yıllara kadar sıklıkla kullanılan Manuel Sipariş Toplama (MST) sistemlerinde genellikle sipariş toplayıcı toplama listelerindeki siparişleri toplamak için gün boyunca bir sipariş toplama aracını iterek veya çekerek depo içerisinde dolaşmaktadır (bakınız Şekil 1.a). Bu hem sipariş toplayıcının toplama kapasitesini ciddi bir şekilde kısıtlamakta hem de gün boyunca gezmek zorunda kalan sipariş toplayıcılar için ciddi ergonomik riskler barındırmaktadır. Diğer taraftan, son yıllarda sipariş toplayıcıların kapasitesini artırmak için binilebilir trans palet içeren Araçla Sipariş Toplama (AST) sistemleri yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır (bakınız Şekil 1.b). Böylece, siparişler arasındaki mesafelerin yürünmesi yerine aracın kullanılması ile sipariş toplama operasyonları daha hızlı bir hale gelmiş ve gün içerisinde toplanan sipariş sayısı artırılmıştır. Ne var ki, AST sistemleri uzun mesafelerde sipariş toplayıcının fazladan yürümesini engellese dahi sürekli araca inip binmek zorunda olan sipariş toplayıcının dizlerine ek yük getirmiştir. Nihayetinde, günde 1200 kere araca inip binmek (Crown Equipment Corporation, 2013) zorunda kalan sipariş toplayıcıların kapasitesi artsa dahi dizlerinde oluşan baskı daha da artmıştır.



Şekil 1. Sipariş toplama sistemleri a) MST sistemi (UNEX Manufacturing, 2023) ve b) AST sistemi (Carolina Handling, 2023)

MST sistemindeki kapasite kısıtı ve AST sistemindeki ergonomik problemlerin farkında olan robotik sistem üreticileri son birkaç yıl içerisinde daha da yaygınlaşan insan-robot iş birliği düşüncesi temelinde Kolaboratif Sipariş Toplama (KST) sistemi önerisinde bulunmuşlardır. KST sisteminde eğer iki toplama noktası arasındaki mesafe uzunsa sipariş toplayıcı araca binmekte ve bir sonraki toplama lokasyonuna kadar aracı kullanmaktadır

(bakınız Şekil 2.a). Diğer taraftan, eğer iki toplama noktası arasındaki mesafe kısaysa sipariş toplayıcı bu mesafeyi yürümekte ve otonom olarak hareket edebilen araç bir sonraki toplama lokasyonuna kendi başına ulaşmaktadır (bakınız Şekil 2.b).



Şekil 2. Kolaboratif Sipariş Toplama sisteminde a) sürüş ve b) yürüyüş durumları (Crown Equipment Corporation, 2013)

MST ve AST sistemlerinin performanslarını optimize etmek için literatürde onlarca çalışma yapılmış ve çeşitli toplama ve rotalama stratejileri önerilmiştir (De Koster vd., 2007; Jaghbeer vd., 2020; Masae vd., 2020; Tuna ve Tunçel, 2012; Van Gils vd., 2018; Yener ve Yazgan, 2019). MST ve AST sistemleri için çözülen klasik sipariş toplama problemlerinden farklı olarak KST sisteminde toplama noktaları arasındaki stratejinin belirlenmesi gerekmektedir. Diğer taraftan, klasik sipariş toplama problemlerinin çoğunda sipariş toplayıcıların hızlarının sabit olduğu varsayılmakta ve sipariş toplayıcının hızının sistem performansı üzerindeki etkisi çok fazla irdelenmemektedir. Önceki çalışmalardan farklı olarak bu makalede KST sisteminde kolaboratif robot hızının çıktı performansı üzerindeki etkisi araştırılmaktadır.

KST sisteminde toplama listesi büyüklüğü hem rotanın hem de toplama noktaları arasındaki stratejinin belirlenmesinde önem arz etmektedir. Örneğin, toplama listesinin küçük olması durumunda, her bir toplama koridorunda toplanması gereken sipariş sayısı az olduğundan tüm koridorlar dolaşılmayacak ve toplama noktaları arasındaki mesafe uzun olacağı için sipariş toplayıcının kolaboratif robotu sürmesi tercih edilecektir. Diğer taraftan, toplama listesinin büyük olması durumunda, her bir toplama koridorunda toplanması gereken sipariş sayısı fazla olduğundan toplama noktaları arasındaki mesafe kısa olacak ve sipariş toplayıcının kolaboratif robotu sürmesi yerine toplama noktaları arasında yürümesi tercih edilecektir.

KST sisteminin çıktı performansı toplama listesinde bulunan tüm siparişlerin toplanması için gerekli süre temelinde değerlendirilmektedir. Bu değerlendirmenin yapılabilmesi için optimal rota ve toplama noktaları arasındaki optimal stratejiyi belirleyen bir optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Dahası, sistem çıktı performansını artırmasına rağmen kolaboratif robot hızındaki artışın iş kazalarını artıracak düşüncesi temelinde kolaboratif robot hızı modele yansıtılmıştır. Oluşturulan optimizasyon modeli, farklı toplama listesi büyüklükleri için Monte Carlo simülasyonu temelinde türetilen data setleri için çözülmüştür. Böylece, kolaboratif robot hızının sistem çıktı performansına ne kadar etki ettiği gösterilmiştir.

Makalenin bundan sonraki bölümünde sipariş toplama operasyonları üzerine yapılan önceki çalışmalar verilmiş ve yapılan çalışmanın literatüre katkısı belirtilmiştir. Üçüncü bölümde optimizasyon modelinde kullanılan notasyon ve model detayları açıklanmıştır. Pratikte kullanılan parametre değerleri temelinde çözülen optimizasyon modeli sonuçları dördüncü bölümde paylaşılmaktadır. Yapılan çalışma ve sonuçları son bölümde özetlenerek, gelecekte yapılabilecek çalışma önerilerinde bulunulmuştur.

2. Bilimsel Yazın Taraması

Sipariş toplama ile alakalı farklı problem tanım ve çözüm önerileri için literatürde onlarca çalışma bulunmasına rağmen, bu makale kolaboratif robot hızının KST sisteminin çıktı performansı üzerindeki etkisine odaklandığı için sipariş toplayıcı hızını temel alan çalışmalar temelinde literatür sınırlandırılmıştır.

Petersen (1999) MST ve AST sistemlerinin performanslarını farklı depolama politikaları ile çeşitli rotalama stratejileri için değerlendirmiştir. Dahası, sipariş toplayıcının hızının ve toplama listesi büyüklüğünün depolama politikaları ve rotalama stratejileri üzerindeki etkisini göstermiştir. Motmans (2012) on dakika boyunca forklift süren beş sipariş toplayıcının maruz kaldığı vücut titreşimini ölçmüştür. Dahası, sürüş yüzeyinin, sürüş hızının ve koltuk süspansiyonunun vücut titreşimine etkisini araştırmıştır. Vücut titreşiminin sürüş yüzeyinin iyileştirilmesi ile %39, sürüş hızının azaltılması ile %26 ve koltuk süspansiyonunun iyileştirilmesi ile %22 azaltılabileceği hesaplanmıştır.

Hong vd. (2013) geniş veya dar bir koridordaki bir toplama lokasyonundan birden fazla siparişin alınması gerektiği durumda sipariş toplayıcıların birbirlerini engellemesini değerlendirmek için analitik modeller geliştirmişlerdir. Markov zinciri temelinde sınırlayıcı iki farklı yürüyüş hızını (birim yürüyüş zamanı ve ani yürüyüş zamanı) düşünülmüş ve bir toplama lokasyonundaki maksimum alınması gereken farklı sipariş sayıları için sipariş toplama yoğunluğunun nasıl toplayıcıların birbirini engellemesini etkilediği deneysel sonuçlar temelinde gösterilmiştir. Hong (2014) bir m hızıyla yürüyen iki işçinin birbirini geçmesine müsaade etmeyen dairesel bir sistem için kapalı formda modeller geliştirmiş ve geliştirilen modeller simülasyon modelleri ile doğrulanmıştır. İşçilerin birbirini engellemesinin yürüyüş hızıyla, toplanan siparişin ağırlığıyla ve toplama lokasyonu sayısı ile ilişkili olduğunu belirlemişlerdir. Hong vd. (2015) bir yükleme ve bir boşaltma istasyonu bulunan lineer bir sipariş toplama sisteminde (bucket brigade vorder picking system) sipariş toplayıcıların hızını toplama yoğunluğuna göre değerlendirmişlerdir. İşçilerin hızlarına bağlı olarak sistemde sıralandırılmalarının birbirlerini engellemelerini azaltacağı gösterilmiştir.

Çelik ve Süral (2016) sipariş toplama aracı kullanılan depolarda araçların koridor değiştirirken yavaşlamaları sebebiyle sipariş toplama performansını negatif bir şekilde etkilediğini belirtmişlerdir. Sadece seyahat süresinin minimize edilmesinin amaçlandığı optimizasyon modellerinden farklı olarak seyahat süresine ilaveten koridorlar arası geçiş süresinin minimize edildiği çok amaçlı bir optimizasyon modeli önermişlerdir. Geliştirdikleri algoritmalarla Pareto analizini kolayca yapabildiklerini göstermişler ve algoritmaların pratikte kullanılan sezgisele kıyasla daha iyi performans gösterdiğini belirlemişlerdir.

Hong (2019) iki sipariş toplayıcı bulunan bir lineer sipariş toplama sisteminde akış ve süreç içi çalışma süreleri ile sistem çıktısı olmak üzere üç farklı performans göstergesini değerlendirmiş ve bu performans göstergelerinin sınırlayıcı özelliklerini analiz etmiştir. Rojanapitoon ve Teeravarapug (2020) sipariş toplayıcıların koridorlarda araçla seyahat ederken koridorlardaki trafiğe bağlı olarak hızlarını ayarladıklarını belirtmişler ve deponun trafik haritasını kullanarak optimal rotanın oluşturulması için çok amaçlı bir matematiksel model önermişlerdir. Önceki çalışmalara kıyasla sıkışık rotalardan %50 oranında sakınarak zamanda %44'e ve enerjide %17'ye kadar iyileştirme sağlanabileceğini göstermişlerdir. Zhang vd. (2021) hız ile kalite arasındaki mübadelenin önemli olduğunu ve bu iki performans metriğinin dengelenmesi için stratejilerin oluşturulması gerektiğini belirtmişlerdir. Gerçek data temelinde yaptıkları çalışmanın sonucunda, yöneticilerin sipariş toplayıcılardan aldıkları geri bildirimleri kullanarak hem hızlı hem de hatasız bir sipariş toplama stratejisi oluşturabileceklerini belirtmişlerdir. Macedo vd. (2021) sipariş toplama araç sayısı ve hızları temelinde sipariş toplama operasyonlarını analiz edecek simülasyon tabanlı bir karar destek sistemi önermişlerdir.

Al-Araidah vd. (2021) vücut kitlesi ve yürüyüş hızının bayan sipariş toplayıcıların sipariş toplama performansları ve metabolik enerji tüketimleri üzerine araştırmalarını yapmışlardır. Monte Carlo simülasyonu temelinde yaptıkları çalışma neticesinde özellikle normalin üzerinde bulunan vücut kitlesinin ve yürüyüş hızının sipariş toplama performansında ve metabolik enerji tüketiminde önemli olduğunu göstermişlerdir. Goeke ve Schneider (2021) sipariş toplayıcı ve toplama aracının eşleştirilmesiyle sipariş toplayıcının hız ve kapasitesine bağlı olarak maliyette ciddi tasarruf sağlanabileceği belirtmişlerdir. Boz ve Aras (2022) gerçek bir depo tasarımı temelinde dört farklı rotalama stratejisini karşılaştırmışlardır. Yaptıkları analiz sonucunda pratikte sıklıkla uygulanan rotalama stratejisinin en kötü sonuçlar ortaya çıkardığı sonucuna varmışlardır. Chen vd. (2022) sipariş toplama probleminin optimum çözümlerine üzerine araştırma yapmışlardır. Bölgesel toplama (zone picking) yapılan sipariş toplama operasyonlarında bölgeler arası taşıma, hazırlık süresi ve farklı araç hızlarını değerlendirmişlerdir. Sipariş toplama operasyon maliyetleri ve geç kalma sürelerinin minimize etmek için geliştirdikleri karma-tamsayı optimizasyon modelinin çözümü için iki-aşamalı bir yinelenen arama algoritması geliştirmişlerdir. Son olarak, Tutam (2024) KST sistemi kullanılan depoların optimal tasarımlarını bulmak için iki seviyeli bir programlama modeli önermiştir. Yapılan analiz sonucunda optimal depo tasarımının sipariş toplama listesi büyüklüğüne bağlı olduğu gösterilmiştir.

3. Optimizasyon modeli

Bu bölümde kolaboratif robot hızının KST sisteminin çıktı performansı üzerindeki etkisini ölçmek için gerçek sistem gözlemlerine uygun olarak aşağıda verilen varsayımlar temelinde optimizasyon modeli oluşturulmuştur.

- Siparişlerin toplanmasına deponun en sol toplama koridorunun karşısında bulunan Kabul/Teslim (K/T) noktasından başlanmakta ve siparişler toplandıktan sonra yine bu noktada teslim edilmektedir (bakınız Şekil 3 ve 4). K/T noktasının başka bir lokasyonda olması durumunda optimizasyon modeli kolayca adapte edilebilir.
- Tüm koridorlar iki kolaboratif robotun yan yana geçişini sağlayabilecek kadar geniş olduğundan eş zamanlı olarak her iki yönde harekete izin verilmekte ve kolaboratif robotların bir birbirini engellemediği varsayılmaktadır. Dahası, koridorlar içerisinde gerekli hallerde kolaboratif robotun yönü değiştirilebilmektedir.

- Sipariş toplayıcı toplama koridorlarını kullanarak toplama lokasyonlarına ulaşmakta ve çapraz koridoru kullanılarak toplama koridorları arasında geçiş sağlamaktadır. Sipariş toplayıcının geçiş koridorlarında yürümesi izin verilmemekte, eğer iki toplama noktası farklı iki koridorda ise sipariş toplayıcı kolaboratif robotu sürmektedir.
- Sipariş toplayıcı toplama lokasyonlarına teker teker uğramakta, eğer bir toplama noktasından birden fazla sipariş alınması gerekiyorsa tek bir seferde siparişlerin alındığı varsayılmaktadır.
- Sipariş toplama aracının toplama listesinin büyüklüğüne bakılmaksızın tüm toplanacak siparişleri alacak kapasiteye sahip olduğu varsayılmaktadır.
- Siparişleri raftan alma veya araca bırakma zamanları tur süresini değiştirmeyeceği için göz ardı edilmiştir.
- Sipariş toplayıcının yürüyüş ve kolaboratif robotun sürüş hızlarındaki ivmelenme/yavaşlama gibi değişimler göz ardı edilmektedir.
- Sipariş toplayıcı aracı sürüyorsa uzaklık rektilineer olarak hesaplanmakta, yürümesi durumunda aracın durduğu lokasyondan toplama lokasyonuna direk gittiği varsayımıyla öklid uzaklık hesaplanmaktadır. Sipariş toplayıcının yürümesi durumunda kolaboratif robot doğrudan rektilineer uzaklık temelinde bir sonraki toplama noktasına hareket etmektedir.

Belirtilen varsayımlar temelinde, toplam tur uzunluğunu minimize etmek için oluşturulan optimizasyon modeli kullanılan küme, indis, parametre ve karar değişkenleriyle birlikte aşağıda verilmektedir.

Küme ve İndisler :

I = bir sipariş toplama listesindeki toplama noktaları kümesi (K/T noktası 0 değeri ile gösterilmektedir)

i, j = toplama noktası indisleri ($i, j \in I$)

Parametreler :

h_o = kolaboratif robot üreticisi tarafından belirtilen ortalama sürüş hızı (m/s)

h_k = kolaboratif robotun ortalama hızı (m/s)

$r_{i,j}$ = $i \in I$ toplama noktasından sonra sipariş toplayıcının kolaboratif robotu sürerek $j \in I$ toplama noktasındaki siparişi alması ve robota bırakılması için gerekli zaman (s)

$o_{i,j}$ = $i \in I$ toplama noktasından sonra sipariş toplayıcının yürüyerek $j \in I$ toplama noktasındaki siparişi alması ve robota bırakılması için gerekli zaman (s)

Karar Değişkenleri :

$x_{i,j}$ = 1, eğer kolaboratif robot $i, j \in I$ toplama noktaları arasında sürülürse;
0, aksi takdirde

$y_{i,j}$ = 1, eğer sipariş toplayıcı $i, j \in I$ toplama noktaları arasında yürürse;
0, aksi takdirde

u_i = bir sipariş listesi için oluşturulan turda $i \in I$ toplama noktasının ziyaret edilme sırası

Amaç Fonksiyonu :

$$\text{minimum} \quad \sum_{i \neq j, i \in I} \sum_{j \in I} \left[r_{i,j} x_{i,j} + o_{i,j} y_{i,j} + (h_o/h_k)^2 \right] \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i \neq j, i \in I} (x_{i,j} + y_{i,j}) = 1 \quad j \in I \quad (2)$$

$$\sum_{j \neq i, j \in I} (x_{i,j} + y_{i,j}) = 1 \quad i \in I \quad (3)$$

$$u_i - u_j + |I| (x_{i,j} + y_{i,j}) \leq |I| - 1 \quad i \neq j \text{ ve } i, j \in I \setminus \{0\} \quad (4)$$

$$1 \leq u_i \leq |I| - 1 \quad i \in I \setminus \{0\} \quad (5)$$

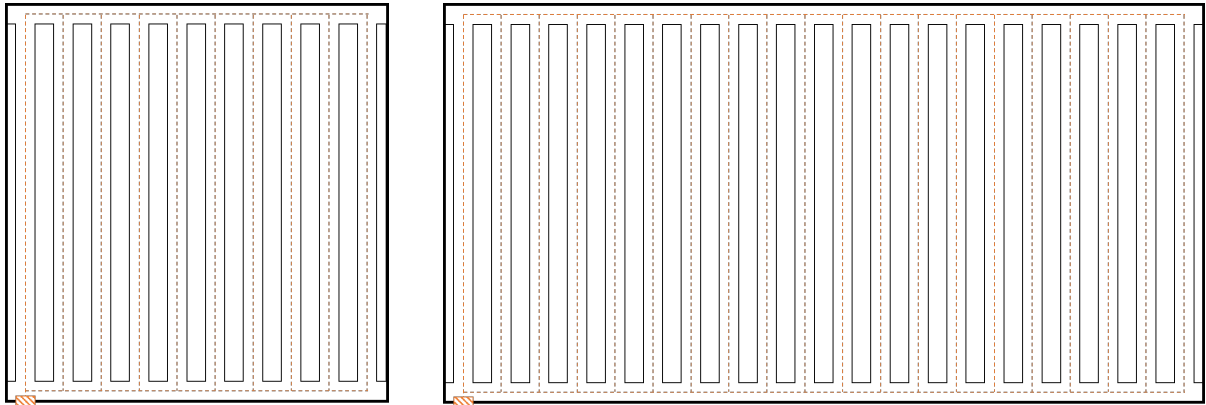
$$u_i \in Z \quad i \in I \setminus \{0\} \quad (6)$$

$$x_{i,j}, y_{i,j} \in \{0,1\} \quad i, j \in I \quad (7)$$

Yukarıda verilen optimizasyon modeli Gezgın Satıcı Problemi'nin (GSP) bir varyasyonu olarak oluşturulmuştur. GSP'den farklı olarak sipariş toplayıcı yürümeyi veya kolaboratif robotu sürmeyi seçebildiğinden iki farklı karar değişkeni tanımlanmıştır. Ayrıca, hız artışının kazalara yol açtığı dikkate alınarak optimizasyon modeline hız artışı için bir zaman cezası (bağıl hız değişiminin karesi ile kaza sayısı değişecektir) eklenmiştir (Nilsson, 2004). Böylece, bir toplama listesindeki tüm lokasyonları kapsayacak ve toplam tur uzunluğunu minimize edecek şekilde optimal rotanın ve stratejinin belirlenmesi hedeflenmektedir. Dolayısıyla, Formül (1) kolaboratif robotun hızına ceza verilerek toplam tur uzunluğunun optimal toplama rotası ve optimal iş birliği stratejisi ile minimize edilmesini sağlamaktadır. GSP'de olduğu gibi sipariş toplayıcının bir toplama listesindeki tüm lokasyonlara sadece bir kez uğraması gerekmektedir. Bu yüzden, Formül (2) kısıtı optimizasyon modeline eklenerek her bir durak noktasına sadece bir durak noktasından ya kolaboratif robotu sürerek ya da yürüyerek varılması garanti edilmektedir. Benzer şekilde, Formül (3) modele ilave edilerek her bir durak noktasından sadece bir diğer durak noktasına ya kolaboratif robotu sürerek ya da yürüyerek varılması sağlanmaktadır. Formül (2) ve (3) optimizasyon modelinin çalışmasını sağlarken, çözümde birden fazla alt turun oluşmasına izin vermektedir. Bu da sadece bir turda tüm sipariş toplama lokasyonlarına uğranması gerekliliğini ihlal ettiğinden, Miller vd. (1960) tarafından geliştirilen alt tur eleme kısıtları modele ilave edilmiştir. Formüller (4-6) kullanılarak her bir toplama listesi için oluşturulan rotada alt turların oluşması engellenmiştir. Son olarak, Formül (7) ile karar değişkenlerinin 0 ve 1 değerlerini alması sağlanmaktadır.

4. Bulgular

Bir önceki bölümde verilen optimizasyon modeli depolarda kullanılan gerçek parametre değerleri temelinde çözülmüştür. Depoda siparişlerin bulunduğu toplama koridorlarının ve toplama koridorları arasında geçişin sağlandığı çapraz koridorların genişliklerinin 2,7 m olduğu varsayılmıştır. Ayrıca, her bir raf derinliğinin 1,3 m olduğu düşünülerek iki toplama koridoru merkezleri arasındaki uzaklık 5,3 olarak hesaplanmıştır. Resim 3'te gösterildiği üzere depoda toplamda 10 veya 20 toplama koridorunun bulunduğu ve uzunluklarının 50 m olduğu düşünülmüştür. Dolayısıyla, iki farklı depolama alanı için hesaplamalar yapılmış ve alanlar $(5,3 \cdot 10) \cdot (50 + 2 \cdot 2,7) = 2936,2 \text{ m}^2$ veya $(5,3 \cdot 20) \cdot (50 + 2 \cdot 2,7) = 5872,4 \text{ m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Toplama listesinin büyüklüğünün optimal rota ve iş birliği stratejilerini değiştireceği düşünülerek 5, 10, 20, 40, 80 ve 160 sipariş bulunduğu durumlar incelenmiştir. Kolaboratif robotun ilk hızının 2,3 m/s ve sipariş toplayıcının yürüme hızının 0,7 m/s olduğu kabul edilmiştir. Robot hızının çıktı performansı üzerindeki etkisini göstermek amacıyla hız değeri 0,7 m/s'den başlatılmış ve 0,14 m/s artırılarak 25 farklı hız değeri için hesaplamalar tekrar edilmiştir.

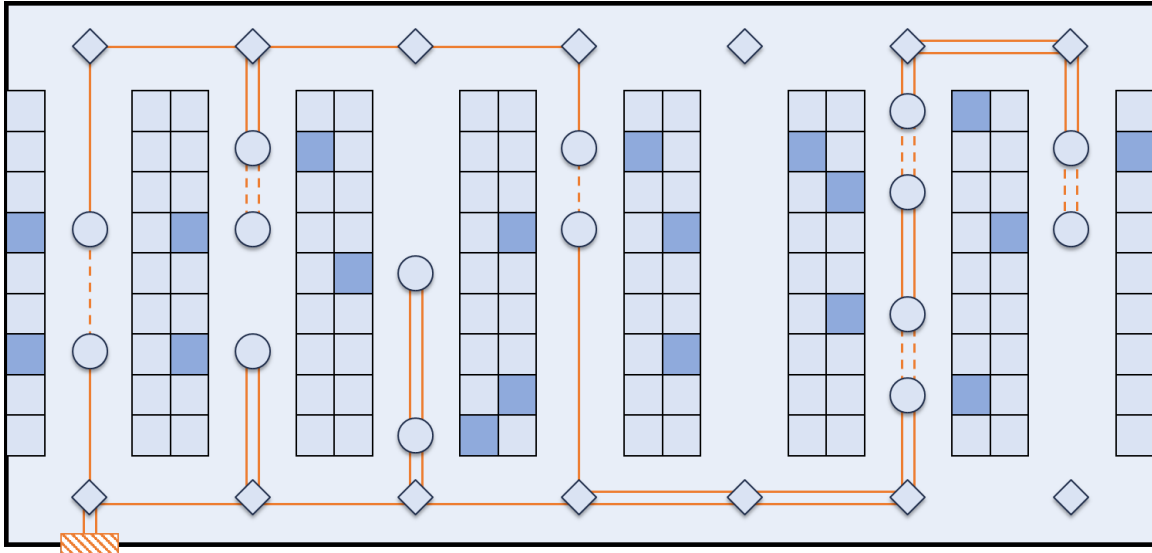


Şekil 3. Depo tasarımları

Oluşturulan optimizasyon modeli GSP'nin bir varyasyonu olduğundan NP-Zor bir problemdir. Model Matlab programında kodlanmış ve Gurobi programı çağrılarak problem çözdürülmüştür. Ne var ki, modelin büyük sipariş-toplama listeleri (80 ve 160 sipariş) için makul bir zaman dilimi (120 dakika) içerisinde çözemediği gözlemlenmiştir. Bu yüzden, sonuçların elde edilmesi için Dinamik Programlama (DP) yöntemi kullanılmıştır. DP birbirini izleyen ve etkileşimli kararlardan oluşan bütünlük kararların alt karar modellerine dönüştürülerek çözülmesinde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir (Eren Şenaras ve İnanç, 2018). Depolardaki rotalama problemi bütünlük bir karar olarak tanımlansa dahi depoların özel yapısı sebebiyle bu bütünlük kararın koridorlara bağlı alt kararlara nasıl dönüştürülebileceği Ratliff ve Rosenthal (1983) tarafından gösterilmiştir. Dahası, büyük sipariş toplama listeleri için çözüm süresinin koridor sayısına bağlı olarak lineer bir şekilde arttığını göstermişler ve 50 koridora sahip bir depoda bile çözüm süresinin sadece bir dakika olduğunu belirtmişlerdir.

DP uygulanırken durum, aşama ve aşamalar arası geçişler tanımlanmalıdır. Durum her bir koridorda alınacak kararları belirtmektedir ve her bir koridorda aşağıda belirtilen kararlar alınabilir (Ratliff ve Rosenthal, 1983).

- Eğer sipariş yoksa koridora girme (bakınız Şekil 4 – Koridor 5).
- Eğer bir veya daha fazla sipariş varsa koridorun bir ucundan gir ve diğer bir ucundan çık (bakınız Şekil 4 – Koridor 1 ve 4).
- Eğer bir veya daha fazla sipariş varsa koridorun bir ucundan diğer bir ucuna git ve geri dön (bakınız Şekil 4 – Koridor 6).
- Eğer bir veya daha fazla sipariş varsa koridorun alt ucundan gir ve siparişleri topladıktan sonra tekrar koridorun alt ucundan çık (bakınız Şekil 4 – Koridor 3).
- Eğer bir veya daha fazla sipariş varsa koridorun üst ucundan gir ve siparişleri topladıktan sonra tekrar koridorun üst ucundan çık (bakınız Şekil 4 – Koridor 7).
- Eğer iki veya daha fazla sipariş varsa sipariş noktaları arasındaki en büyük uzaklık bulunarak turdan çıkararak koridorun alt ve üst uçlarından girip geri dön (bakınız Şekil 4 – Koridor 2).



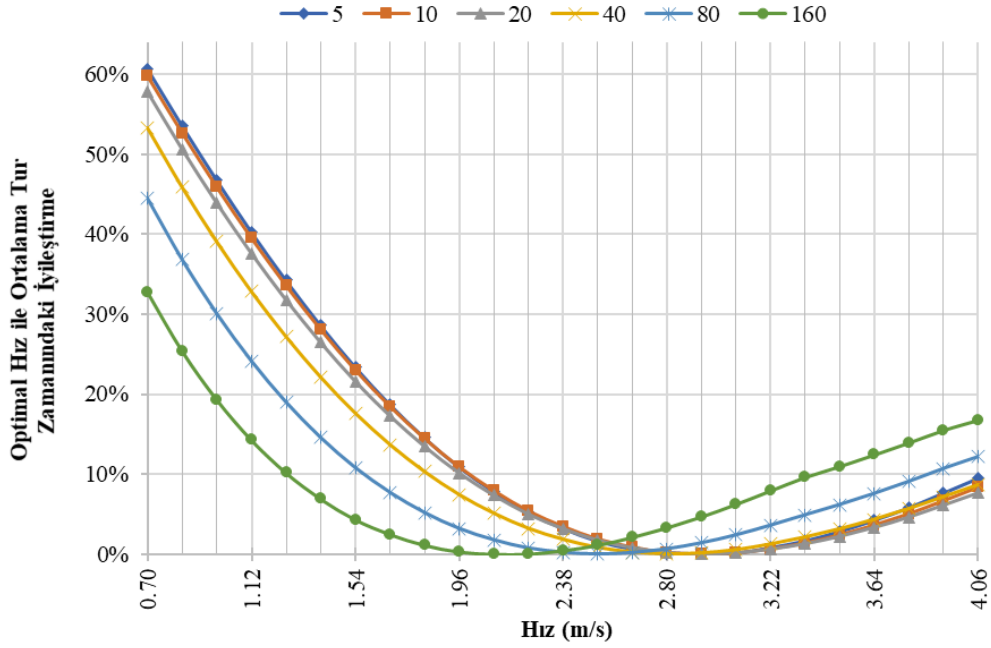
Şekil 4. Dinamik Programlama ile örnek bir rotanın oluşturulması (her bir koridorda alınabilecek kararların tamamını rota üzerinde göstermek amacıyla optimal rota verilmemiştir)

DP ile en kısa rotanın belirlenmesi için öncelikle her bir koridorda alınabilecek kararların (durumların) maliyetleri (zaman) hesaplanır (hesaplama yapılırken toplayıcının yürüdüğü ve kolaboratif robotu sürdüğü durumlar göz önünde bulundurulmaktadır). Koridorlar arası geçişler DP’de aşamalar arası geçişleri oluşturduğundan her bir koridor kendisinden sonraki koridora bağlanırken tüm uygun durumlar için hesaplamalar yapılır. İlk koridordan başlanarak en son koridora kadar aşamalar arası geçişlerin maliyetleri ilave edilerek her bir aşamadaki durumların maliyeti güncellenir. En son koridora ulaşıldığında en düşük maliyetli durum seçilir ve geriye doğru hesaplamalara bakılarak en kısa rota belirlenir. Yukarıda açıklanan DP modeli Delphi 10.4 Topluluk Sürümü kullanılarak kodlanmış ve küçük problemlerin (5, 10 ve 20 sipariş) sonuçları Matlab programının sonuçlarıyla karşılaştırılarak doğrulanmıştır.

Sonuçlar Monte Carlo simülasyonu temelinde her bir araç hızı ve sipariş toplama listesi büyüklüğü için 1.000 kez tekrar edilerek oluşturulmuş ve ortalama değerleri verilmiştir. Ayrıca, her bir sipariş büyüklüğünün veya hızın replikasyonlarını doğru bir şekilde karşılaştırmak için ortak bir tohum (seed) değeri kullanılmıştır. Dolayısıyla toplamda $2 \times 25 \times 6 \times 1.000 = 300.000$ problem çözülerek sonuçlar hazırlanmıştır. Problemlerin çözümünde 64-bit Windows 10 işletim sistemine sahip, 8 GB RAM bulunan, 4 çekirdekli ve Intel i7-4790 3.60 GHz işlemcili bir bilgisayar kullanılarak elde edilmiştir. Herhangi bir sipariş büyüklüğü veya hız değeri için yapılan 1.000 tekrar için algoritma çalışma süresi maksimum 60 saniyedir.

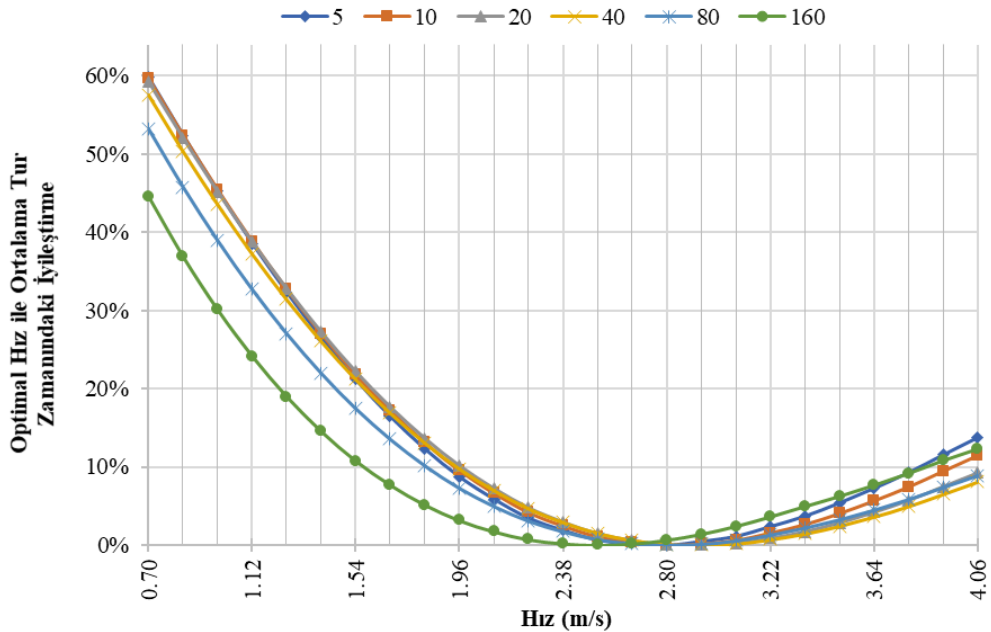
Şekil 5’te 10 toplama koridoruna sahip bir depo tasarımı için toplama listesi ve hız değer büyüklüklerine göre optimal hızın ortalama tur zamanındaki iyileştirme yüzdeleri sunulmaktadır (detaylı ortalama tur süreleri ve iyileştirme oranları ek kısımdaki tablolarda verilmiştir). Toplama listesine bağlı olarak, kolaboratif robot için optimal hız değeri 2,10 ile 2,94 arasında değişmektedir. Sipariş toplama listesi büyüklüğü arttıkça optimal hız azalmaktadır. Bunun sebebi sipariş toplama noktasının fazla olması sebebiyle kolaboratif robot daha fazla durak noktasında durmakta ve böylece robotun ortalama hızında azalma gözlemlenmektedir. Hız değerleri aynı olsa dahi sipariş listesi boyutundaki artış iyileştirmeyi azaltmaktadır. Örneğin, hız değerinin 0,7 m/s olduğu durum göz önünde bulundurulduğunda, 5 sipariş için optimal hız değeri ile %60,73 iyileştirme sağlanabilirken, 10 sipariş için iyileştirme oranının %59,76’ya ve 20 sipariş için %57,86’ya düştüğü görülmektedir. Optimal hızın azaldığı daha

büyük listeler (40, 80 ve 160) için iyileştirme oranı daha da azalmaktadır. Tüm liste büyüklükleri için, optimal hız değerindeki 0,28 m/s değişimin ortalama tur zamanında maksimum %1,13 artışa sebep olduğu görülmektedir.



Şekil 5. 10 koridorlu bir depo tasarımı için toplama listesi ve hız değer büyüklüklerine göre optimal hız ile ortalama tur zamanındaki iyileştirme yüzdeleri

Benzer şekilde, 20 toplama koridorunun bulunduğu bir depo tasarımı için toplama listesi ve hız değer büyüklüklerine göre optimal hızın ortalama tur zamanındaki iyileştirme yüzdeleri Şekil 6'da sunulmaktadır (detaylı ortalama tur süreleri ve iyileştirme oranları ek kısımdaki tablolarda verilmiştir). Toplama listesi ve hız değer büyüklüklerine optimal kolaboratif robot hız değeri 2,52 ile 2,94 arasında değişmektedir. 10 koridorlu tasarıma kıyasla küçük liste büyüklükleri için optimal hız değerinin arttığı görülmektedir. Sipariş toplama listesi büyüklüğü arttıkça optimal kolaboratif robot hızı önce artmakta daha sonra azalmaktadır. Bunun sebebi koridor sayısının fazla olması sebebiyle sipariş sayısındaki 40'a kadar hız artışı ile süreç hızlandırılmakta, 40'tan fazla sipariş büyüklüklerinde sıklıkla duraklarda durulması gerektiği için optimal hızın zamanla azalması ile sonuçlanmaktadır. 10 koridorlu tasarıma benzer şekilde, hız değerleri aynı olsa dahi sipariş listesi boyutundaki artış iyileştirmeyi azaltmaktadır. Ayrıca, optimal hız değerindeki 0,28 m/s değişimin tüm liste büyüklükleri için ortalama tur zamanında maksimum %1,14 artışa sebep olduğu görülmektedir.



Şekil 6. 20 koridorlu bir depo tasarımı için toplama listesi ve hız değer büyüklüklerine göre optimal hız ile ortalama tur zamanındaki iyileştirme yüzdeleri

5. Sonuç ve değerlendirme

Son yıllarda dünya genelinde yaşanan gelişmeler neticesinde insanların alışveriş alışkanlıklarında ciddi değişimler meydana gelmiş ve online ortamlarda daha fazla vakit geçiren bireyler e-ticarete daha fazla yönelmişlerdir. Dahası, teknolojik gelişmeler ve tüm dünyayı etkisi altına alan pandemik hastalıkların etkisiyle online alışverişin toplam perakende sektörü içerisindeki payı ciddi bir şekilde artmıştır. Böylece, bir taraftan e-ticaret sektöründe faaliyet gösteren firma sayısını hızla artırırken, diğer taraftan her geçen gün firmalar arasındaki rekabetin artması ile sonuçlanmaktadır. Günün sonunda, müşterilere ürünlerini daha hızlı ulaştırarak memnuniyetlerini artırmayı ve böylece rakiplerinin önüne geçmeyi planlayan lojistik firmalar daha fazla teknolojik sistemlere yönelmiş ve daha fazla otomatik, otonom veya robotik sistemler kullanmaya başlamışlardır. Diğer taraftan, otomatik, otonom veya robotik sistemlerin insanlar kadar esnek olmaması sebebiyle, firmalar insanlarla aynı iş ortamında çalışabilecek ve onlara yardımcı olacak kolaboratif sistemlere yönelmişlerdir.

Bu makalede son yıllarda depolardaki sipariş toplama operasyonlarında sıklıkla kullanılmaya başlanan bir kolaboratif robotun hızı incelenmiş ve robot hızının sistem çıktı performansı üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Bu amaçla, sipariş toplayıcının kolaboratif robotun yanında yürümesi veya kolaboratif robotu sürmesi durumları göz önünde bulundurularak optimal strateji temelinde bir tamsayı programlama modeli kurulmuştur. Ayrıca, robot hız artışının daha fazla kazaya sebep olacağı düşüncesi temelinde optimizasyon modeline hız artışı için bir zaman cezası eklenmiştir. Monte Carlo simülasyonu temelinde oluşturulan sipariş toplama listeleri Dinamik Programlama kullanılarak çözülmüştür.

Toplama listesine bağlı olarak, kolaboratif robot için optimal hız değerinin 10 koridorlu depolarda 2,10 ile 2,94 ve 20 koridorlu depolarda 2,52 ile 2,94 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Küçük sipariş büyüklükleri için depodaki koridor sayısı arttıkça optimal hız değeri artmaktadır. Diğer taraftan, sipariş toplama listesi büyüklüğü arttıkça genellikle optimal hız azalmaktadır (koridor sayısının fazla olduğu durumlarda önce artmakta daha sonra azalmaktadır). Aynı hız değerleri için sipariş listesi boyutunun artması optimal hız değerinin ortalama tur süresindeki iyileştirmeyi azalttığı gözlemlenmiştir. Tüm liste büyüklükleri için, optimal hız değerindeki 0,28 m/s değişimin ortalama tur zamanında maksimum 10 koridorlu depolarda %1,13 ve 20 koridorlu depolarda %1,14 artışa sebep olduğu görülmektedir.

Bu çalışma rastgele depolama stratejisi temelinde yapılmıştır. Gelecek çalışma olarak, farklı depolama stratejileri (sınıf bazlı veya devir bazlı) incelenebilir. Ayrıca, bu çalışma kapsamında sipariş toplama sürecinde her bir durak lokasyonundan tek bir ürün tipi alındığı varsayılmaktadır. Bazı durak lokasyonlarının atlanarak, birden fazla ürünün toplandığı duraklar için ayrıca bu çalışma genişletilebilir.

Teşekkür

Bu çalışma kapsamında incelenen Kolaboratif Sipariş Toplama sistemi ile alakalı değerli bilgi paylaşımı için Dr. René De Koster'a teşekkür ederiz. Ayrıca, makalenin geliştirilmesi için önerilerde bulunan hakemlere şükranlarımızı sunarız. Bu makale kapsamında yapılan çalışmalar TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel Teknolojik ve Araştırma Kurumu) tarafından 1059B191900637 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. Sağlanan destekten dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Al-Araidah, O., Okudan-Kremer, G., Gunay, E. E. ve Chu, C.-Y. (2021). A Monte Carlo simulation to estimate fatigue allowance for female order pickers in high traffic manual picking systems. *International Journal of Production Research*, 59(15), 4711–4722. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1770357>

Bartholdi, J. J. ve Hackman, S. T. (2019). *Warehouse & distribution science*: release 0.98.1. Atlanta, GA: Supply Chain and Logistics Institute. Erişim adresi: <http://warehouse-science.com>

Boz, E. ve Aras, N. (2022). Order picker routing problem in a single block warehouse. *Journal of Turkish Operations Management*, 6(1), 1113–1120. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jtom/issue/70951/1091208>

Carolina Handling. (2023). Increase Picking Accuracy. Boost Productivity. Erişim adresi: <https://www.carolinahandling.com/campaign/pick2pallet>

- Çelik, M. ve Süral, H. (2016). Order picking in a parallel-aisle warehouse with turn penalties. *International Journal of Production Research*, 54(14), 4340–4355. <https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1154624>
- Chen, W., Zhang, Y. ve Zhou, Y. (2022). Integrated scheduling of zone picking and vehicle routing problem with time windows in the front warehouse mode. *Computers & Industrial Engineering*, 163, 107823. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107823>
- Crown Equipment Corporation. (2013). Crown QuickPick™ Remote: [Order Picking Technology]: Productivity. Motivation. Safety. Retrieved from Order Picking Technology | QuickPick Remote | Crown Lift Trucks UK Erişim adresi: <https://www.crown.com/uk/forklifts/pdfs/brochures/order-picker-quickpick-remote-brochure-GB.pdf>
- De Koster, R., Le-Duc, T. ve Roodbergen, K. J. (2007). Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 182(2), 481–501. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.07.009>
- E-ticaret bilgi platformu. (2021). 2021 Yılı İlk Altı Ay E-Ticaret Verileri Açıklandı. Erişim adresi: <https://www.eticaret.gov.tr/istatistikler>
- Eren Şenaras, A. ve İnanç, Ş. (2018). Vba implementation via dynamic programming for agv line. *Journal of Life Economics*, 5(4), 255–264. <https://doi.org/10.15637/jlecon.273>
- Goeke, D. ve Schneider, M. (2021). Modeling Single-Picker Routing Problems in Classical and Modern Warehouses. *INFORMS Journal on Computing*, 33(2). <https://doi.org/10.1287/ijoc.2020.1040>
- Hong, S. (2014). Two-worker blocking congestion model with walk speed m in a no-passing circular passage system. *European Journal of Operational Research*, 235(3), 687–696. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.10.013>
- Hong, S. (2019). A performance evaluation of bucket brigade order picking systems: Analytical and simulation approaches. *Computers & Industrial Engineering*, 135, 120–131. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.05.037>
- Hong, S., Johnson, A. L. ve Peters, B. A. (2013). A note on picker blocking models in a parallel-aisle order picking system. *IIE Transactions*, 45(12), 1345–1355. <https://doi.org/10.1080/0740817X.2012.745204>
- Hong, S., Johnson, A. L. ve Peters, B. A. (2015). Quantifying picker blocking in a bucket brigade order picking system. *International Journal of Production Economics*, 170, 862–873. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.04.012>
- Jaghbeer, Y., Hanson, R. ve Johansson, M. I. (2020). Automated order picking systems and the links between design and performance: a systematic literature review. *International Journal of Production Research*, 58(15), 4489–4505. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1788734>
- Macedo, R., Coelho, F., Relvas, S. ve Barbosa-Póvoa, A. P. (2021). In-House Logistics Operations Enhancement in the Automobile Industry Using Simulation. *Springer Proceedings in Mathematics & Statistics*, 374. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85476-8_4
- Masae, M., Glock, C. H. ve Grosse, E. H. (2020). Order picker routing in warehouses: A systematic literature review. *International Journal of Production Economics*, 224, 107564. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.107564>
- Miller, A. (2004). Order Picking for the 21st Century Voice vs. Scanning Technology. Erişim adresi: https://www.logisticsit.com/absolutenm/articlefiles/688-voice_vs_scanning.pdf
- Miller, C. E., Zemlin, R. A., Tucker, A. W. ve Zemlin, R. A. (1960). Integer Programming Formulation of Traveling Salesman Problems. *Journal of the ACM*, 7(4), 326–329. <https://doi.org/10.1145/321043.321046>
- Motmans, R. (2012). Reducing whole body vibration in forklift drivers. *Work*, 41(1), 2476–2481. <https://doi.org/10.3233/WOR-2012-0484-2476>
- Nilsson, G. (2004). Traffic safety dimensions and the power model to describe the effect of speed on safety. *Lund Institute of Technology, Department of Technology and society, traffic engineering*, 221. Erişim adresi: <https://lucris.lub.lu.se/ws/portalfiles/portal/4394446/1693353.pdf>
- Petersen, C. G. (1999). The impact of routing and storage policies on warehouse efficiency. *International Journal*

of Operations & Production Management, 19(10), 1053–1064. <https://doi.org/10.1108/01443579910287073>

Ratliff, H. D. ve Rosenthal, A. S. (1983). Order-Picking in a Rectangular Warehouse: a Solvable Case of the Traveling Salesman Problem. *Operations Research*, 31(3), 507–521. <https://doi.org/10.1287/opre.31.3.507>

Rojanapitoon, T. ve Teeravarapug, J. (2020). Economic Order Picker Routing Considering Travel Time and Vehicular Energy Consumption with Varying Aisle Traffic. *International Journal of Intelligent Engineering and Systems*, 13(3), 317–328. Erişim adresi: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85107081697&partnerID=40&md5=ee445a16a02624774dec9b92060d35c6>

Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A. ve Tanchoco, J. M. A. (2010). Facilities planning (4th ed.). New York, NY: John Wiley & Sons. Erişim adresi: <https://www.wiley.com/en-us/Facilities+Planning%2C+4th+Edition-p-9781119016076>

Tuna, G. ve Tunçel, G. (2012). Depo Yönetiminde Sipariş Toplama Sistemleri: Bir Literatür Araştırması. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 14(3), 15–31. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/deumffmd/issue/40820/492511>

Tutam, M. (2024). Kolaboratif robot kullanılan sipariş-toplama depo tasarımlarının en iyilenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 39(1), 203–216. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.974331>

UNEX Manufacturing. (2023). What is Order Picking? Erişim adresi: <https://www.unex.com/applications/picking/order-picking>

Van Gils, T., Ramaekers, K., Caris, A. ve De Koster, R. B. M. (2018). Designing efficient order picking systems by combining planning problems: State-of-the-art classification and review. *European Journal of Operational Research*, 267(1), 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.09.002>

Yener, F. ve Yazgan, H. R. (2019). Optimal warehouse design: Literature review and case study application. *Computers & Industrial Engineering*, 129, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.01.006>

Zhang, X., Vries, J., Koster, R. ve Liu, C. (2021). Fast and Faultless? Quantity and Quality Feedback in Order Picking. *Production and Operations Management*, 31(4), 1536–1559. <https://doi.org/10.1111/poms.13630>

Ekler

Tablo 1. 10 koridor için toplama listesi ve hız değer büyüklüklerine göre ortalama tur zamanları (s)

Hız	Toplama Listesi Büyüklüğü					
	5	10	20	40	80	160
0,70	354,18	512,94	729,91	966,52	1179,33	1433,60
0,84	299,77	435,79	623,62	834,09	1036,16	1291,83
0,98	261,41	381,36	548,59	740,77	935,95	1194,24
1,12	233,09	341,17	493,22	672,07	862,76	1124,13
1,26	211,60	310,64	451,13	620,00	807,81	1072,64
1,40	194,87	286,86	418,36	579,64	765,87	1034,89
1,54	181,63	268,04	392,45	547,93	733,51	1006,96
1,68	171,17	253,12	371,90	523,00	708,93	987,92
1,82	162,81	241,19	355,47	503,23	690,00	974,38
1,96	156,12	231,61	342,28	487,61	675,81	966,21
2,10	150,92	224,12	331,96	475,62	665,98	963,34
2,24	146,73	218,09	323,71	466,29	659,09	963,43
2,38	143,76	213,72	317,68	459,80	655,65	967,81
2,52	141,44	210,31	313,01	455,06	654,16	974,12
2,66	140,03	208,14	310,02	452,47	655,38	984,06
2,80	139,16	206,75	308,16	451,38	658,42	996,15
2,94	139,07	206,39	307,62	451,92	663,41	1010,55
3,08	139,31	206,60	307,98	453,77	670,17	1027,44
3,22	140,27	207,71	309,48	457,03	678,60	1046,34
3,36	141,47	209,22	311,59	461,11	687,95	1065,78
3,50	143,2	211,41	314,53	465,99	697,33	1082,10
3,64	145,29	214,10	318,18	471,82	707,95	1100,06
3,78	147,72	217,28	322,49	478,53	719,68	1119,32
3,92	150,65	221,09	327,63	486,27	732,66	1140,00
4,06	153,72	225,13	333,06	494,18	745,01	1157,48

Tablo 2. 10 koridor için Toplama listesi ve hız değer büyüklüklerine göre optimal hız değeri için iyileştirme

Hız	Toplama Listesi Büyüklüğü					
	5	10	20	40	80	160
0,70	60,73%	59,76%	57,86%	53,30%	44,53%	32,80%
0,84	53,61%	52,64%	50,67%	45,88%	36,87%	25,43%
0,98	46,80%	45,88%	43,93%	39,07%	30,11%	19,33%
1,12	40,34%	39,51%	37,63%	32,84%	24,18%	14,30%
1,26	34,28%	33,56%	31,81%	27,20%	19,02%	10,19%
1,40	28,63%	28,05%	26,47%	22,13%	14,59%	6,91%
1,54	23,43%	23,00%	21,62%	17,62%	10,82%	4,33%
1,68	18,75%	18,46%	17,28%	13,69%	7,73%	2,49%
1,82	14,58%	14,43%	13,46%	10,30%	5,19%	1,13%
1,96	10,92%	10,89%	10,13%	7,43%	3,20%	0,30%
2,10	7,85%	7,91%	7,33%	5,10%	1,77%	0,00%
2,24	5,22%	5,36%	4,97%	3,20%	0,75%	0,01%
2,38	3,26%	3,43%	3,17%	1,83%	0,23%	0,46%
2,52	1,68%	1,86%	1,72%	0,81%	0,00%	1,11%
2,66	0,69%	0,84%	0,77%	0,24%	0,19%	2,11%
2,80	0,06%	0,17%	0,18%	0,00%	0,65%	3,29%
2,94	0,00%	0,00%	0,00%	0,12%	1,39%	4,67%
3,08	0,17%	0,10%	0,12%	0,53%	2,39%	6,24%
3,22	0,86%	0,64%	0,60%	1,24%	3,60%	7,93%
3,36	1,70%	1,35%	1,27%	2,11%	4,91%	9,61%
3,50	2,88%	2,37%	2,20%	3,14%	6,19%	10,97%
3,64	4,28%	3,60%	3,32%	4,33%	7,60%	12,43%
3,78	5,86%	5,01%	4,61%	5,67%	9,10%	13,94%
3,92	7,69%	6,65%	6,11%	7,18%	10,71%	15,50%
4,06	9,53%	8,32%	7,64%	8,66%	12,19%	16,77%

Tablo 3. 20 koridor için toplama listesi ve hız değer büyüklüklerine göre ortalama tur zamanları (s)

Hız	Toplama Listesi Büyüklüğü					
	5	10	20	40	80	160
0,70	496,60	699,70	1015,07	1455,88	1937,32	2368,08
0,84	419,43	592,56	862,68	1244,06	1671,83	2080,22
0,98	365,18	517,13	755,24	1094,6	1484,75	1878,77
1,12	325,25	461,54	675,96	984,32	1347,07	1731,67
1,26	295,11	419,46	615,81	900,56	1242,74	1621,23
1,40	271,76	386,79	568,99	835,36	1161,90	1536,98
1,54	253,39	361,03	532,02	783,88	1098,41	1471,97
1,68	239,08	340,82	502,80	743,11	1048,54	1422,62
1,82	227,80	324,78	479,50	710,56	1009,04	1384,66
1,96	218,91	312,05	460,86	684,51	977,84	1356,21
2,10	212,25	302,33	446,40	664,19	953,98	1336,54
2,24	206,97	294,59	434,84	647,99	935,43	1322,79
2,38	203,63	289,36	426,63	636,28	922,60	1315,99
2,52	201,13	285,37	420,28	627,28	913,28	1313,12
2,66	200,07	283,26	416,45	621,65	908,31	1315,72
2,80	199,74	282,20	414,17	618,28	906,34	1321,95
2,94	200,72	282,78	413,98	617,57	907,69	1332,14
3,08	202,04	283,99	414,90	618,66	911,66	1345,87
3,22	204,61	286,71	417,69	622,08	918,46	1362,99
3,36	207,43	289,89	421,24	626,70	926,93	1381,94
3,50	211,14	294,17	426,19	633,01	937,02	1400,98
3,64	215,38	299,19	432,17	640,74	949,01	1422,52
3,78	220,15	304,91	439,11	649,81	962,80	1446,31
3,92	225,76	311,68	447,37	660,56	978,67	1472,62
4,06	231,52	318,72	456,06	671,87	994,91	1497,67

Tablo 4. 20 koridor için toplama listesi ve hız değer büyüklüklerine göre optimal hız değeri için iyileştirme

Hız	Toplama Listesi Büyüklüğü					
	5	10	20	40	80	160
0,70	59,78%	59,67%	59,22%	57,58%	53,22%	44,55%
0,84	52,38%	52,38%	52,01%	50,36%	45,79%	36,88%
0,98	45,30%	45,43%	45,19%	43,58%	38,96%	30,11%
1,12	38,59%	38,86%	38,76%	37,26%	32,72%	24,17%
1,26	32,32%	32,72%	32,77%	31,42%	27,07%	19,00%
1,40	26,50%	27,04%	27,24%	26,07%	22,00%	14,56%
1,54	21,17%	21,83%	22,19%	21,22%	17,49%	10,79%
1,68	16,45%	17,20%	17,67%	16,89%	13,56%	7,70%
1,82	12,32%	13,11%	13,66%	13,09%	10,18%	5,17%
1,96	8,76%	9,57%	10,17%	9,78%	7,31%	3,18%
2,10	5,89%	6,66%	7,26%	7,02%	4,99%	1,75%
2,24	3,49%	4,21%	4,80%	4,69%	3,11%	0,73%
2,38	1,91%	2,47%	2,97%	2,94%	1,76%	0,22%
2,52	0,69%	1,11%	1,50%	1,55%	0,76%	0,00%
2,66	0,16%	0,37%	0,59%	0,66%	0,22%	0,20%
2,80	0,00%	0,00%	0,05%	0,11%	0,00%	0,67%
2,94	0,49%	0,21%	0,00%	0,00%	0,15%	1,43%
3,08	1,14%	0,63%	0,22%	0,18%	0,58%	2,43%
3,22	2,38%	1,57%	0,89%	0,72%	1,32%	3,66%
3,36	3,71%	2,65%	1,72%	1,46%	2,22%	4,98%
3,50	5,40%	4,07%	2,86%	2,44%	3,27%	6,27%
3,64	7,26%	5,68%	4,21%	3,62%	4,50%	7,69%
3,78	9,27%	7,45%	5,72%	4,96%	5,86%	9,21%
3,92	11,53%	9,46%	7,46%	6,51%	7,39%	10,83%
4,06	13,73%	11,46%	9,23%	8,08%	8,90%	12,32%



Journal of Turkish Operations Management

Scholarship recipient selection for higher education with AHP, SAW and TOPSIS

Okan Arslantaş¹, Mehmet Gümüş², Emir Hüseyin Özder^{3*}

¹Faculty of Engineering and Social Sciences, Sabancı University, Tuzla/İstanbul, Türkiye, e-mail: okanarslantas@sabanciuniv.edu, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-5237-0105>

²Rafet Kayış Faculty of Engineering, Alanya Alaaddin Keykubat University, Alanya/Antalya, Türkiye, e-mail: mehmet.gumus@alanya.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0003-2588-0270>

³Faculty of Engineering and Architecture, Ankara Science University, Çankaya/Ankara, Türkiye, e-mail: emir.ozder@ankarabilim.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-1895-8060>

*Corresponding Author

Article Info

Article History

Received: 05.07.2022
Revised: 02.03.2023
Accepted: 21.03.2023

Keywords:

AHP,
TOPSIS,
SAW,
Higher education,
Scholarship,
Public charity

Abstract

Higher education students need financial support from various sources to meet their needs throughout their education life. Besides non-profit organizations and governmental authorities, public charities provide scholarships to students with financial difficulties. These institutions give scholarships to a few students chosen from a pool of applicants based on various criteria. This study develops a model for selecting the most suitable higher-education students applying for a scholarship at a public charity organization. The organization takes applications on an annual basis. A total of eight selection criteria are determined based on literature review and expert opinions. Multi-criteria decision-making methods of AHP, SAW, and TOPSIS are employed to identify scholarship recipients. AHP is used to weigh the selection criteria. The ranking of applicants is achieved by SAW and TOPSIS. The opinions of the members of the organization's board of directors are used throughout the study. The proposed model provides a means for a time-efficient and more objective selection of scholarship recipients.

1. Introduction

Today, many students attend higher education, both undergraduate and graduate. These students experience problems in many ways. Financial difficulties are at the top of their problems. Students have nutrition, transportation, shelter, course materials, and social needs. It is often not possible for students to finance all these needs themselves. For this reason, undergraduate and graduate students apply for scholarships to various institutions and organizations to continue their education.

Many public and private institutions provide financial support to students in various ways. Students show great interest in these scholarships, which provide financial support for their student's academic life. These institutions, which cannot offer scholarship opportunities to all students who apply, try to decide on the most suitable ones by considering many criteria (Abalı et al. 2012).

Decision-making is the process of determining and selecting alternatives that will create the most appropriate solution in light of various factors and expectations of decision-makers. Decisions are typically made in an environment that combines knowledge, values, alternatives, and preferences. The compelling situation when deciding is the variety of criteria considered in evaluating alternatives. Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods are thus used to overcome such difficulties in the decision-making process. In this way, it becomes easier to solve complex decision-making problems (Aytaç & Gürsakal, 2015).

In this study, MCDM methods of Analytical Hierarchy Process (AHP), Simple Additive Weighting (SAW), and Technique For Order Preference By Similarity To An Ideal Solution (TOPSIS) are used to select scholarship

recipients among a pool of applicants pursuing undergraduate studies. The AHP method is chosen due to its ability to weight criteria efficiently. SAW and TOPSIS are used in order to compare and rank the applicants, and to identify the scholarship awardees. TOPSIS method is selected because it is thought to be a complex but better performing method for complicated problems with high number of alternatives and criteria. On the other hand, SAW is typically considered as a simple method and has generally not been measured against TOPSIS. Due to that, and to generate a new perspective, this study compares SAW and TOPSIS methods with a case study.

Rest of the paper includes five sections. The next section is a literature review which examines the papers that include AHP, TOPSIS, and SAW methods, and also the articles relevant to higher-educations scholarships. Next, the third section explains the concept of scholarship in Turkey. The MCDM methods of AHP, TOPSIS, and SAW are explained with their mathematical representations in the fourth section. The fifth section includes a case study that applies these methods to a particular dataset, and the last section provides the conclusions.

2. Literature review

This paper contributes to the literature by applying AHP, TOPSIS, and SAW methods for scholarship selection and explains the higher-education scholarships selection process in Turkey. Moreover, it compares the SAW and TOPSIS methods using a real life case. The following subsections are used to detail the literature on the methods used and on the problem studied separately.

2.1. Literature review for the suggested methods

This section provides related literature on the MCDM methods, including AHP and TOPSIS. To start with, Yeh (2003) formulates the scholarship student selection process as a multiattribute decision-making problem and presents suitable compensatory methods for solving the problem. A new empirical validity procedure is developed to deal with the inconsistent ranking problem caused by different multi-attribute decision-making methods.

Özkan (2007) used the AHP, ELECTRE, and TOPSIS methods to determine the most suitable candidate for the job in "Investigation of Decision-Making Methods in Personnel Selection."

Ertuğrul and Karakaşoğlu (2009) evaluated the performance of commercial banks by using multi-criteria decision-making methods in their study. The criteria that are effective in performance evaluation are weighted with the AHP method, and a ranking is made in terms of the performances of the banks examined by the VIKOR method. Ersöz et al. (2011) discussed the subject of course selection in undergraduate and graduate education. The criteria that were effective in the course selection process of the students were determined and weighted using the ANP method, and the weighted courses were arranged in the most appropriate way for the student with the Topsis method.

Kaya et al. (2011) evaluated the quality of life of the European Union and candidate countries for 2003, 2005, and 2007 with VIKOR, a multi-criteria decision-making method. Result of the study, our country, which is a candidate country for the European Union, seems to be in the last place in terms of quality of life for the three years of research.

In Christobal's (2011) study, the selection of investment projects for the Renewable Energy Plan to be implemented in Spain was carried out with the VIKOR method. The criteria were weighted with the AHP method, and the most suitable project was selected among the projects that were candidates for this plan with the VIKOR method.

Jati (2012) investigated webometrics rankings for world universities in his study. TOPSIS and VIKOR calculated webometrics rankings for world universities using two quantitative techniques. These calculations were made according to the website volume, visibility of the published information, rich content size, and information criteria. As a result of the study, webometric rankings of 20 universities worldwide were obtained using TOPSIS and VIKOR methods.

Mančev (2013) aims to analyze the quality of NIS university library services. In his study, the criteria for the time spent searching through the existing library databases and the size of the available library funds were evaluated to compare the quality of services. Then, NIS University libraries were ranked according to their service quality with the VIKOR method.

Ömürbek et al. (2014) used AHP, TOPSIS, and VIKOR methods to evaluate the performances of 10 ADIM universities in Anatolia, which were established in 1993. In evaluating the performances of the selected ADIM universities, 21 criteria were determined by taking the studies in the literature and expert opinion, and the weighting of these criteria was made with the AHP method. The weighted criteria were solved by TOPSIS and VIKOR

methods. The study of two different methods shows that the university with the highest performance among ADIM universities is Süleyman Demirel University.

Kittur (2015) discussed SAW, WP, and PROMETHEE methods to evaluate the optimal electricity generation time intervals from different local energy resources. The weight of each attribute is decided by using the AHP method. According to SAW and WP, 5 a.m. is the optimal generation time, but it is 6 a.m. based on the PROMETHEE method.

Urfalıoğlu (2015) used the ELECTRE, TOPSIS, and PROMETHEE methods to compare Turkey's performance with the European Union member states. Pekkaya (2015) examined the parameters that affect the career choice of students studying at Bülent Ecevit University. He reduced the criteria to 6 main criteria, and the students evaluated the criteria in pairwise comparison with the help of a questionnaire. He weighted the criteria with AHP and determined the degree of importance of the effective criteria at the end of the study.

Ameri et al. (2018) used morphometric parameter analysis on the sub-watershed of the Ghaemshahr Basin. Based on the results, they implement SAW, VIKOR, TOPSIS, and CF methods to prioritize sub-watersheds. In another study, Widianta et al. (2018) compared TOPSIS, SAW, AHP, and PROMETHEE methods for employee placement. Writers assigned different weights to each method. They calculated the accuracy score of each method, which ranged between %50 and %95. However, the results are almost identical for the first ten alternatives.

Ibrahim and Surya (2019) also used the SAW method to find the best school in Jambi. They conclude that the SAW method is capable of selecting the best schools. In their paper, Al Amin et al. (2019) explained the strengths and weaknesses of each MCDM process. Furthermore, they showed the steps of AHP and TOPSIS with a case study.

2.2. Literature review for the methods for allocation of scholarship

Sulaiman and Mohamad (2006) developed a fuzzy logic model for students applying for the scholarship selection process. The selection is based on specific criteria determined by the sponsor. An example is given at the end of the paper to illustrate the model. The MATLAB fuzzy logic toolbox is used to calculate the output. In his study, Hacıköylü (2006) used the AHP method, one of the multi-criteria decision-making methods, to select students studying at Anadolu University who will receive scholarships and food aid. In selecting students who will receive a scholarship and food aid, four main criteria were evaluated, and their weights were determined by the AHP method, and at the end of the study, the students who would receive scholarships and aid were compared according to the criteria weights.

Abalı et al. (2012). In the study titled Scholar Selection with Multi-Criteria Decision-Making Methods: Application in an Educational Institution, students who are eligible to receive scholarships with the AHP and TOPSIS methods were determined for the supporting scholarship to be given to the students studying at the Engineering Faculty of Kırıkkale University. The weight of the criteria to be evaluated in determining the students who will receive support scholarships was determined by AHP, and the most suitable candidate was selected with the TOPSIS method.

Wimatsari et al. (2013) use fuzzy Multi-Attribute Making Decision with Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) method for demonstrating the scholarship selection with cases in a University, Indonesia. Selection of recommended students with the highest level of eligibility for the scholarship based on the value preferences.

Pençe et al. (2017) use AHP and TOPSIS methods to determine the students studying at a Turkish University Faculty of Education and applying for a scholarship. Their study identifies the most suitable 27 candidates for the the scholarship. On a similar problem, Marbun et al. (2018), consider only four criteria for scholarship selection in Indonesia. They use SAW, WP, and TOPSIS methods on a case. applies them to a scholarship selection.

3. The concept of scholarship and scholarship applications in Turkey

3.1. The concept of scholarship

Scholarships are monthly payments made by government or private institutions for a certain period to support a student's education financially or to increase his/her knowledge and culture. Higher education students should have the financial means to meet their social, cultural, and physiological needs. Students obtain these financial

opportunities by getting support from their families, by working in a job, or by getting financial aid from some institutions and organizations that support students' education.

Most university students continue their education in different cities. Thus, higher education students typically face accommodation, transportation, and nutrition expenses. For many students, it is impossible to meet these expenses only with the contribution of their families. In addition to working part-time jobs, these students apply for financial support from institutions and organizations that provide scholarships. Scholarships can be for undergraduate or graduate students, reimbursed or non-refundable, and may be offered by public or private institutions either domestically or internationally. Indeed, various institutions that provide scholarships significantly contribute to students' living a more comfortable education life.

3.2. Higher-education Scholarships in Turkey

Many institutions, municipalities, universities, and organizations, including the Credit and Hostels Institution in Turkey, provide financial aid to undergraduate and graduate students with low income and high success status under scholarships.

Scholarships and aids given to university students in Turkey are generally described as follows.

- 1- Scholarships from the Higher Education Credit and Hostels Institution,
- 2- Ministry of National Education scholarships,
- 3- Scholarships that universities give,
- 4- Scholarships given by institutions such as municipalities and various associations and foundations,
- 5- Scholarships that individuals give.

The majority of students in Turkey seek financial support for their university education. A survey study conducted in 2001 with 5154 higher education students studying at 52 universities highlighted this. Survey results revealed that 54.4% of university students received education loans, 47.8% received contribution loans, 16.5% received scholarships from public institutions, 6.6% received scholarships from various non-governmental organizations, and individuals gave 3.3% of their scholarships. (Hacıköylü, 2006).

4. MCDM methods of AHP, TOPSIS and SAW

Decision-making includes identifying and selecting alternatives to achieve the best solution based on various factors and decision-makers expectations. The multi-criteria decision-making process in this study includes AHP and TOPSIS, which are explained in the following sections.

4.1. Analytical Hierarchy Process

The Analytical Hierarchy Process (AHP), developed by Thomas Saaty in the 1970s, is a Multi-Attribute Decision-Making method that enables complex decision problems to be dealt with in a hierarchical structure. In AHP, the decision maker can include his objective and subjective thoughts in the decision process. This will enable the decision maker to recognize their decision-making mechanisms by considering the observations in different psychological and sociological situations. This feature is an important feature that distinguishes AHP from other multi-qualified decision-making methods. Another feature of the method that distinguishes it from other multi-qualified decision-making methods is that it is the most widely used method in many areas, from political to individual decisions.

The Analytical Hierarchy Process includes the major following steps.

1. Defining the problem and identifying the information needed,
2. Establishing a decision hierarchy with the primary goal at the top, the criteria in between, and the alternatives at the bottom,
3. Creation of pairwise comparison matrices,
4. Determination of priorities for each level by using pairwise comparisons.

Step 1: With a detailed approach, the first step for finding criteria weights with AHP consists of creating an initial pairwise comparison matrix by assigning each comparison criterion to a 1-9 scale. 1-9 scale assignments made based on Table 1 and creating the initial pairwise comparison matrix formula shown in equation (1).

$$A = [a_{11} \cdots a_{1n} \quad \ddots \quad a_{m1} \cdots a_{mn}] \quad (1)$$

Table 1. Pairwise comparison values (Saaty, 1977)

1	3	5	7	9	2, 4, 6, 8
Equally Important	Moderately Important	Strongly Important	Very Strongly Important	Absolutely Important	Intermediate Values

Where A represents the initial pairwise comparison matrix, a_{ij} shows the importance of criteria i to criteria j.
 Step 2: Initial pairwise comparison matrix normalized by following equation (2):

$$N_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_i^n a_{ij}} \quad \text{where} \quad a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}} \tag{2}$$

N_{ij} shows the normalized matrix, a_{ij} shows the importance of criteria i to criteria j

Step 3: With using normalized decision matrix, criteria weights determined by using the following formula (3):

$$W_i = \frac{\sum_j^n N_{ij}}{n} \tag{3}$$

W_i represents the criteria weight, N_{ij} is normalized matrix value and n is number of criteria.

Step 4: To examine the consistency of the criteria weights, the Consistency Indicator (CI) and Consistency Ratio (CR) was calculated according to formula (4) and (5).

$$CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1) \tag{4}$$

“n” represents the number of criteria and “ λ_{max} ” represents the principal eigenvalue

$$CR = CI / RI \tag{5}$$

“CI” is the consistency indicator and “RI” is the Random Index that calculates the mean consistency indices of specific numbers of random number pairwise comparison matrices. “RI” can be determined from Table 2.

Table 2. Random Index Table (Saaty, 1980)

Number of elements	3	4	5	6	7	8
R.I.	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40

4.2. TOPSIS

The TOPSIS method, developed by Hwang and Yoon (1981), is based on ranking the alternatives in a decision-making problem according to specific criteria. The method relies on the chosen alternative being the closest to the ideal solution and the farthest from the negative ideal solution.

The first step in the TOPSIS method is to create a decision matrix with m alternatives evaluated according to n criteria. The alternatives are recorded from top to bottom, and the characteristics of that alternative according to the relevant criteria are written in front of each alternative. The general representation of this matrix is shown equation (6):

$$D = [x_{11} \cdots x_{1n} \vdots \vdots x_{m1} \cdots x_{mn}] \tag{6}$$

Here x_{ij} represents the performance measure of alternative i according to criteria j.

Further steps of the method are listed as follows:

Step 1: Normalize the decision matrix by taking the square root of the sum of squares of the criteria values. This process is structured as follows equation (7):

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m x_{kj}^2}} \tag{7}$$

r_{ij} represents the normalized matrix and x_{ij} is the criteria value.

Step 2: Build the weighted normalized matrix.

$$V = [w_{11}r_{11} \cdots w_{1n}r_{1n} \quad \vdots \quad w_{m1}r_{m1} \cdots w_{mn}r_{mn}] \quad (8)$$

Where V represents the weighted normalized matrix, r_{mn} represents the normalized matrix and w_{mn} shows the criteria weights.

Step 3: Identify the ideal and negative ideal solutions. The ideal solution is denoted as A^* , the negative ideal solution as A^- , and the alternatives (solutions) are defined as follows:

$$\begin{aligned} A^* &= \{(max_i v_{ij} \mid j \in J), (min_i v_{ij} \mid j \in J)\}, i = 1, 2, 3, \dots, m\} = \{V_1^*, V_2^*, V_3^*, \dots, V_n^*\} \\ A^- &= \{(min_i v_{ij} \mid j \in J), (max_i v_{ij} \mid j \in J)\}, i = 1, 2, 3, \dots, m\} = \{V_{1-}^*, V_{2-}^*, V_{3-}^*, \dots, V_{n-}^*\} \\ J &= \{j = 1, 2, 3, \dots, n \text{ and } j \text{ related to utility criteria}\} \\ |J| &= \{j = 1, 2, 3, \dots, n \text{ and } j \text{ related to cost (lost) criterion}\} \end{aligned}$$

Step 4: Calculate the distance to the maximum ideal point (9).

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_{*j})^2}; \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (9)$$

S_i^* represents the distance to the maximum ideal point, v_{ij} shows weighted alternatives and v_{*j} is the maximum ideal point.

Step 5: Calculate the distance to the minimum ideal point (10).

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_{j-})^2}; \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (10)$$

S_i^- is the distance to the minimum ideal point, v_{ij} shows weighted alternatives and v_{j-} is the minimum ideal point.

Step 6: Calculate the relative closeness to the ideal solution (11).

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^* + S_i^-}; \quad 1 \geq C_i \geq 0 \text{ and } i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (11)$$

C_i^* shows relative closeness to the ideal solution, S_i^* and S_i^- are distances to ideal maximum and minimum points, respectively.

Step 7: Rank the alternatives according to the obtained C_i^* values

4.3. SAW

Simple Additive Weighting is a commonly used method among the Multi-Criteria Decision Models. It is also known as the weighted sum method. Let i and j be the alternatives and selection criteria index, respectively. $i = 1, 2, \dots, M$ and $j = 1, 2, \dots, N$. Then the SAW method consists of three steps.

Step 1: Normalization of initial matrix based on the efficiency index R_{ij} (12).

$$R_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_i^M X_{ij}} \quad (12)$$

R_{ij} is the normalized value of the j th criterion, M is the number of the criteria, and X_{ij} is the initial value. R_{ij} formula changes depending on the type of the criteria as follows:

If the criteria are classified as a benefit, R_{ij} is maximized based on this formula (13):

$$R_{ij} = \frac{X_{ij}}{X_{ij}^{Max}} \quad (13)$$

If the criteria are classified as a cost, R_{ij} is minimized based on this formula:

$$R_{ij} = \frac{x_{ij}^{Min}}{x_{ij}} \quad (14)$$

Step 2: Calculate the normalized weights for each criteria (15).

$$w_j = \text{The weight obtained from AHP} \quad (15)$$

Note that w_j is the weight of criteria j . Although different methods may be used to obtain weights, this paper uses the previously calculated weights in the AHP method.

Step 3: Calculate the total preference value for each alternative and rank the alternatives (16).

$$V_i = \sum_{j=1}^N R_{ij} \times w_j \quad (16)$$

V_i is the final preference value of the i th alternative. Alternatives are then ranked based on their V_i score and sorted in descending order. The alternative that has the highest preference score is the best alternative.

5. Case Study

The discussed MCDM methods are applied in a public charity organization that awards scholarships to several university students nationwide every year. Many students need this scholarship application to the regional branches of the organization at the beginning of each year. In most cases, awards are entitled to receive the scholarship until the year they graduate as long as they are academically successful. Scholarship recipients are typically selected by the members of the administrative board of the branch, taking into account the applicants' information and subjective scoring and evaluation of each student.

Currently, the evaluation is made by considering many criteria and alternatives. Therefore, there is a high probability that the board of directors members makes mistakes in selecting the appropriate students when making the assessment. In addition, evaluating and scoring each student one by one causes an excessive waste of time.

In this study, eligibility ranking was made by establishing a model using AHP, TOPSIS, and SAW methods to identify the students most suitable for the scholarship. Application is carried out at a branch that wanted to select 23 scholarship students out of 335 applicants.

In the first stage of the study, through interviews with the members of the branch board of directors, the criteria for selecting scholarship awardees were determined. In the second stage, the weights of the criteria were determined by the AHP method. In the last stage, the TOPSIS and SAW methods were used to rank the applicants according to their eligibility levels, and the ones entitled to receive the scholarship were determined.

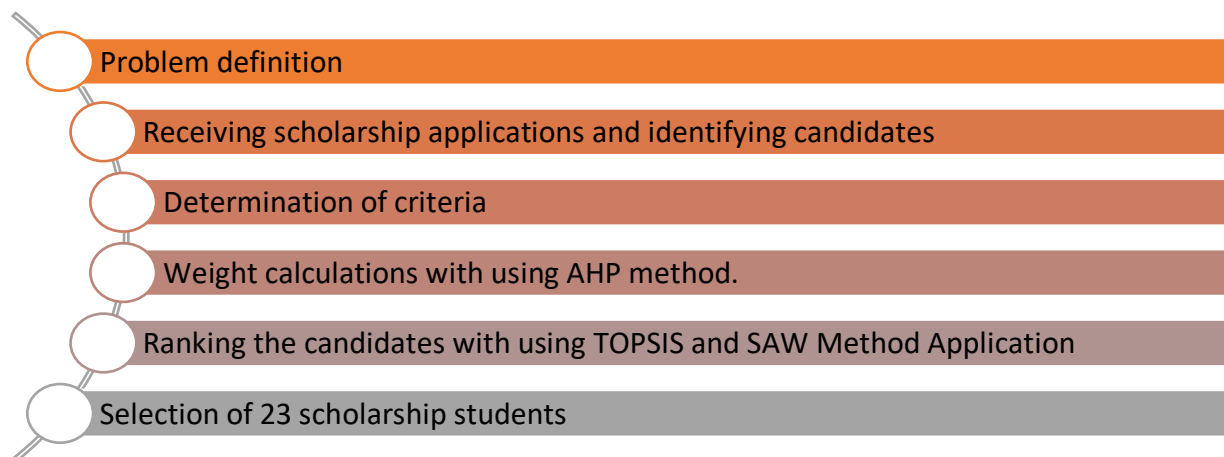


Figure 1. Application steps

5.1. Selection Criteria

While determining the criteria, a literature review was done for the important criteria in the scholarship process. Moreover, the scholarship application forms of the scholarship institutions were examined. A criteria table was created with the information obtained from the research. While examining the studies in the literature has been focused on the criteria determined during the selection, especially in the scholarship selection studies. The mentioned criteria are shown in Table 3.

Table 3. Selected studies

Authors	Selection Criteria
Wimatsari et al. (2013)	Economic capacity of parents GPA Student's status Proof for Bills and Payments
Abalı et al. (2012)	Number of dependent children in the family Total monthly income of the family Parent status Total number of properties owned by the family Student's working status
Sulaiman and Mohamad, (2006)	Academic Qualification Relevancy of area of study Performance in Interview
Yeh, (2003)	Community services Sports/Hobbies Work expenience Energy Communication skills Attitude to business Maturity Leadership

The opinions of the association's board of directors were then consulted to finalize the list of criteria they want to use awarding scholarships. The final criteria determined in line with their opinions are Grade point average (GPA), Total monthly income of the family (MI), student's class (SC), The student's family (parent) status (SPS), Number of people in the family (NPF), Number of students in the family (NSF), student's department (SD) and student's monthly income (SMI). We note that SPS and SD are subjective, and the rest are objective criteria. SPS and SD are subjective criteria because the status and social environment of the family and the quality of the department the student studies can be evaluated differently from person to person in terms of whether it is good or bad. In the evaluation phase of the alternatives, the students' data were used directly for the objective criteria, and the values were assigned by the board of directors using the "1-9 scale" and "1-5 scale" for the subjective criteria.

The so-called expert board consists of 9 people and each member has more than 20 years of experience in the field. The members of this board met 4 times in total, at the request and hosting of the institution that will provide the scholarship, to determine the criteria and to give the necessary ideas. In determining the criteria and comparing them with each other, each expert makes his/her own assessment. Finally, those assessments are combined by averaging the experts' individual evaluation scores.

Among the objective criteria, GPA is necessary to examine a student's course success. Since the 1st year students do not have a GPA yet, their high school graduation score was used instead. The student's GPA was converted to a percentage (i.e., out of 100) and used as an objective criterion. MI shows the total monthly income of the people working in the student's family, and SC shows the class the student is currently enrolled. NPF and NSF indicate the number of people and the number of students living in the applicant's family household, respectively. SMI shows the student's monthly income earned either by working in a job or getting a scholarship elsewhere.

SPS is a subjective criterion that shows the status of the student's parents. Its values are assigned by the board of directors using a 1-9 scale as follows: 1 if the mother and father are together; 3 if the parents are divorced; 5 if the mother is alive and the father is deceased; 6 if the mother is deceased and the father is alive; 9 if the mother and father are deceased.

SD is also a subjective criterion that shows the major the student is studying. Since some of the benefactors who donated scholarships to the association wanted to give scholarships to students studying in specific departments,

the department the students studied was considered as a criterion. Its values are assigned as per major by the board of directors using a 1-5 scale as follows: 5 for medicine; 4 for dentistry; 3 for engineering, architecture, physiotherapy and rehabilitation, nursing, and education; 2 for the other 4-year majors; 1 for two-year courses. In addition to the selection criteria described above, the organization's board members also conduct interviews with applicants before finalizing the list of awardees. As those members judge the interview results according to their experience and expectations, they are not included in this study.

5.2. Determining the Weights of the Criteria with AHP

While determining the criteria weights, the opinions of experts were consulted. The importance values of the criteria were determined according to the board of directors' members using the survey method for the criteria weights. By using these values, a pairwise comparison matrix was obtained. The criteria weights were reached using the pairwise comparison matrix and the AHP method. The pairwise comparison matrix shows the importance of the criteria relative to each other. Using this matrix, the processing steps of the AHP method were started. The pairwise comparison matrix is shown in Table 4.

Table 4. Binary comparison matrix for criteria

Criteria	GPA	MI	SC	SPS	NPF	NSF	SD	SMI
GPA	1.00	1.50	1.70	5.00	2.50	2.00	3.35	1.50
MI	0.67	1.00	1.15	3.50	1.75	1.50	2.30	1.00
SC	0.59	0.87	1.00	3.00	1.50	1.20	2.00	0.80
SPS	0.20	0.29	0.33	1.00	0.50	0.40	0.65	0.28
NPF	0.40	0.57	0.67	2.00	1.00	0.80	1.35	0.58
NSF	0.50	0.67	0.83	2.50	1.25	1.00	1.65	0.70
SD	0.30	0.43	0.50	1.54	0.74	0.61	1.00	0.40
SMI	0.67	1.00	1.25	3.57	1.72	1.43	2.50	1.00
TOTAL	4.32	6.33	7.43	22.11	10.96	8.93	14.80	6.26

The normalized decision matrix is then created, and the priority vectors are found. All elements in the pairwise comparison matrix is divided by the sum of the column they are in, and a normalized decision matrix is created with the resulting values. Priority vectors are obtained by averaging the rows of this matrix (5).

Table 5. Normalized decision matrix of criteria

Criteria	GPA	MI	SC	SPS	NPF	NSF	SD	SMI	Priority Vector
GPA	0.231	0.237	0.229	0.226	0.228	0.224	0.226	0.240	0.230
MI	0.154	0.158	0.155	0.158	0.160	0.168	0.155	0.160	0.158
SC	0.136	0.137	0.135	0.136	0.137	0.134	0.135	0.128	0.135
SPS	0.046	0.045	0.045	0.045	0.046	0.045	0.044	0.045	0.045
NPF	0.093	0.090	0.090	0.090	0.091	0.090	0.091	0.093	0.091
NSF	0.116	0.105	0.112	0.113	0.114	0.112	0.111	0.112	0.112
SD	0.069	0.069	0.067	0.070	0.068	0.068	0.068	0.064	0.068
SMI	0.154	0.158	0.168	0.162	0.157	0.160	0.169	0.160	0.161

The consistency of the pairwise comparison matrix created in line with the opinions of the board of directors is examined. The following formulas are used to examine consistency (17) (18):

$$\text{Indicator of Consistency (CL)} = (\lambda_{\max} - n) \div (n - 1) \quad (17)$$

$$Consistency\ Ratio\ (CR) = CL \div RI \tag{18}$$

“RI” represents the Randomness Indicator Value, and “n” is the number of benchmarks compared. The consistency ratio is calculated for the pairwise comparison matrix. To reach the λ_{max} value, first matrix multiplication is made between the pairwise comparison matrix and the priority vector values. The λ_{max} value is obtained by dividing the elements of this matrix into the priority vector matrix elements in order and taking the average. The λ_{max} value obtained as a result of these processes is 8.00198. So, CL is calculated as (19):

$$CL = (\lambda_{max} - n) \div (n - 1) = 0.000283 \tag{19}$$

The RI value for n equals 8, is obtained as 1.41 from the random indicators. CR was founded as (20)

$$Consistency\ Ratio\ (CR) = CL \div RI = 0.000201 \tag{20}$$

Since the Consistency Ratio is less than 0.10, the pairwise comparison matrix is consistent. When the weights of the criteria are examined, it can be said that the most important criterion is the GPA criterion with a weight of 0.230, and the criterion with the lowest weight is the SPS criterion with a weight of 0.045.

5.3. Application of TOPSIS

This study used the actual data of 335 university students who applied for scholarships. The codes S1 - S335 were used instead of the students' names. Using the application data of the students, the suitability-level ranking was made with the help of the TOPSIS method. The decision matrix prepared based on the applications is given in Table 6.

Table 6. Decision matrix for alternatives

Students	Criteria							
	GPA	MI	SC	SPS	NPF	NSF	SD	SMI
S1	57.3	1530	1	1	3	1	1	500
S2	79.93	1200	1	1	4	2	2	0
S3	53.8	1800	4	1	4	2	3	0
S4	96	0	2	5	4	2	5	0
S5	68	4200	1	1	5	3	3	0
S6	68.73	3700	3	1	4	2	2	0
S7	91.6	0	2	1	4	2	4	0
S8	64.06	1500	4	1	4	2	2	500
.
.
.
S335	60.00	6700	1	1	4	1	3	0

The decision matrix is then normalized, and the results are given in Table 7.

Table 7. Normalized decision matrix for alternatives

Students	Criteria							
	GPA	MI	SC	SPS	NPF	NSF	SD	SMI
S1	0.0443	0.0299	0.0203	0.0287	0.0319	0.0208	0.0167	0.0773
S2	0.0618	0.0235	0.0203	0.0287	0.0426	0.0416	0.0334	0
S3	0.0416	0.0352	0.0812	0.0287	0.0426	0.0416	0.0501	0
S4	0.0742	0	0.0406	0.1433	0.0426	0.0416	0.0835	0
S5	0.0526	0.0822	0.0203	0.0287	0.0532	0.0624	0.0501	0
S6	0.0531	0.0724	0.0609	0.0287	0.0426	0.0416	0.0334	0
S7	0.0708	0	0.0406	0.0287	0.0426	0.0416	0.0668	0
S8	0.0495	0.0294	0.0812	0.0287	0.0426	0.0416	0.0334	0.0773
.
.
.
S335	0.05	0.1311	0.0203	0.0287	0.0426	0.0208	0.0501	0

The weighted decision matrix is then obtained by multiplying the criteria weights obtained using the AHP method and the normalized decision matrix elements. The weighted normalized decision matrix obtained is shown in Table 8.

Table 8. Weighted normalized decision matrix for alternatives

Student s	Criteria							
	GPA	MI	SC	SPS	NPF	NSF	SD	SMI
S1	0.0102	0.0047	0.0027	0.0013	0.0029	0.0023	0.0011	0.0124
S2	0.0142	0.0037	0.0027	0.0013	0.0039	0.0047	0.0023	0.0000
S3	0.0096	0.0056	0.0109	0.0013	0.0039	0.0047	0.0034	0.0000
S4	0.0171	0.0000	0.0055	0.0065	0.0039	0.0047	0.0057	0.0000
S5	0.0121	0.0130	0.0027	0.0013	0.0048	0.0070	0.0034	0.0000
S6	0.0122	0.0115	0.0082	0.0013	0.0039	0.0047	0.0023	0.0000
S7	0.0163	0.0000	0.0055	0.0013	0.0039	0.0047	0.0045	0.0000
S8	0.0114	0.0047	0.0109	0.0013	0.0039	0.0047	0.0023	0.0124
.
.
S335	0.0107	0.0208	0.0027	0.0013	0.0039	0.0023	0.0034	0

Ideal and negative ideal solutions are then identified. In Table 9, an explanation has been made about whether each criterion is a benefit or a cost.

Table 9. Benefit – Cost criteria

Criteria	Status	Benefit - Cost Reasoning
GPA	Benefit	A high GPA score means a high level of success which is desired by the organization.
MI	Cost	Higher monthly income of the students' family indicates lesser need for scholarship.
SC	Cost	Organization intends to give scholarships to selected students until they graduate and hence aims for providing scholarships for a long time in order to contribute more to their needs. As the class of the students increases, the duration of benefiting from the scholarship will decrease.
SPS	Benefit	Applicants are scored by the board of directors considering their family status. Students with high scores have an advantage in assessment
NPF	Benefit	Higher number of people in the student's family cause lesser share of the family income per individual, which increases the student's need for scholarship.
NSF	Benefit	A high number of students in the family causes the family's income spared for education to be shared more, thus increasing the student's need for scholarship.
SD	Benefit	The majors of students are scored by the administrative board. Students with high scores have an advantage in assessment.
SMI	Cost	If the students earn income by working or by receiving a scholarship from another institution shows that they need the organization's scholarship less.

The A^+ and A^- values obtained by using the weighted decision matrix are given in Table 10.

Table 10. A^- and A^+ Values

	GPA	MI	SC	SPS	NPF	NSF	SD	SMI
IDEAL SOLUTION (A^+)	0.0175	0.0000	0.0027	0.0078	0.0136	0.0186	0.0057	0.0000
NEGATIVE IDEAL SOLUTION (A^-)	0.0029	0.0589	0.0109	0.0013	0.0010	0.0023	0.0011	0.0627

The distances of alternatives (students) to ideal and negative ideal solutions are then calculated for each alternative. The distance to the ideal point (S_i^+) and the negative ideal point (S_i^-) for the alternatives are shown in Table 11. The relative closeness (C_i^*) to the ideal solution are the calculated and depicted in Table 11.

Table 11. S_i^- , S_i^+ and C_i^* values of alternatives

Students	S_i^+	S_i^-	C_i^*
S1	0.0259241	0.07474	0.7425
S2	0.0191551	0.08479	0.8157
S3	0.0222993	0.08270	0.7876
S4	0.0172743	0.08772	0.8355
S5	0.0213852	0.07894	0.7868
S6	0.0230591	0.07932	0.7748
S7	0.0184663	0.08740	0.8256
S8	0.02496	0.07456	0.7492
·	·	·	·
·	·	·	·
·	·	·	·
S335	0.02974	0.07434	0.7142

Ranking of the alternatives for awarding a scholarship is then made by ordering the C_i^* values from highest to lowest. The results are given in Table 11.

5.4. Application of SAW

Similar to the TOPSIS method, the decision matrix for alternatives (Table 6) and the cost-benefit criteria (Table 9) are also used for the SAW method. As the weights come from the AHP method, we next show the calculations for the R_{ij} 's and V_i 's. To start with, the normalized matrix created based on the R_{ij} values of each alternative is given in Table 12.

Table 12. Normalized Matrix base on R_{ij}

Students	Criteria							
	GPA	MI	SC	SPS	NPF	NSF	SD	SMI
S1	0.58	0.00006	1	0.17	0.21	0.13	0.2	0.0002
S2	0.81	0.00008	1	0.17	0.29	0.25	0.6	1
S3	0.55	0.00005	0.25	0.17	0.29	0.25	0.6	1
S4	0.98	1	0.5	0.83	0.29	0.25	1	1
S5	0.69	0.00002	1	0.17	0.36	0.38	0.6	1
S6	0.7	0.00002	0.33	0.17	0.29	0.25	0.4	1
S7	0.93	1	0.5	0.17	0.29	0.25	0.8	1
S8	0.65	0.00006	0.25	0.17	0.29	0.25	0.4	0.0002
·	·	·	·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·	·	·	·
S335	0.61	0.00001	1	0.17	0.29	0.13	0.6	1

To obtain the weighted normalized decision matrix, the R_{ij} 's are then multiplied by the criteria weights which were obtained by the AHP method, and the results are given in Table 13.

Table 13. Weighted Normalized Decision Matrix

Students	Criteria							
	GPA	MI	SC	SPS	NPF	NSF	SD	SMI

S1	0.134073	0.000010	0.134729	0.007511	0.019490	0.013992	0.013538	0.000032
S2	0.187023	0.000013	0.134729	0.007511	0.025987	0.027984	0.027075	0.160979
S3	0.125883	0.000009	0.033682	0.007511	0.025987	0.027984	0.040613	0.160979
S4	0.224625	0.158498	0.067364	0.037556	0.025987	0.027984	0.067688	0.160979
S5	0.159109	0.000004	0.134729	0.007511	0.032484	0.041977	0.040613	0.160979
S6	0.160817	0.000004	0.044910	0.007511	0.025987	0.027984	0.027075	0.160979
S7	0.214329	0.158498	0.067364	0.007511	0.025987	0.027984	0.054150	0.160979
S8	0.149890	0.00001	0.033682	0.007511	0.02587	0.027984	0.02707	0.0000320
.
.
.
S335	0.14390	0.00002	0.134729	0.007511	0.025987	0.013992	0.040613	0.1609790

Then sum all the values in the row is the V_i score for given alternative. Ranking of the alternatives are performed based on the V_i values (from the highest to the lowest) as given in Table 13.

5.5. Ranking with TOPSIS and SAW

Ranking of the alternatives based on TOSIS and SAW are given in a single table for comparison purposes. Those ranking are provided in Table 14.

Table 14. Rank of each alternative

Rank	Ranking with TOPSIS		Ranking with SAW	
	Student #	TOPSIS Value	Student #	SAW Value
1	82	0.89528	4	0.77068
2	194	0.88406	320	0.75363
3	31	0.86657	277	0.73748
4	248	0.85742	298	0.73298
5	251	0.85662	7	0.71680
6	244	0.85441	82	0.70074
7	168	0.85076	100	0.69369
8	245	0.84646	329	0.66060
9	217	0.84528	306	0.66000
10	277	0.84357	264	0.65286
11	298	0.84084	16	0.65028
12	103	0.83965	257	0.65001
13	9	0.83775	106	0.63450
14	126	0.83727	301	0.63437
15	83	0.83710	299	0.62319
16	4	0.83548	163	0.61754
17	100	0.83461	155	0.60463
18	90	0.83416	208	0.60357
19	55	0.83415	103	0.60218
20	320	0.83394	249	0.60012

21	87	0.83187	44	0.59934
22	16	0.83093	31	0.59333
23	82	0.89528	260	0.59060
.
.
.
335	215	0.44908	133	0.25829

When the ranking results are, TOPSIS finds that the most suitable student to receive the scholarship is student # 82 with a C_i^* value of 0.89528, and the least suitable one is student # S215 with a C_i^* value of 0.44908. As for SAW, the best candidate is student # 4, with a V_i value of 0.77068, and the worst candidate on the list is student # 133, with a V_i value of 0.25829.

Note that the ranking list purposely includes the first 23 as the maximum number of scholarships planned to be granted. The first 23 candidates in SAW and TOPSIS rankings have 12 common candidates: students # 4, 16, 31, 82, 100, 103, 194, 208, 257, 277, 298, and 320. This makes a 52.17% commonality in the results of two different methods when the first 23 candidates are considered.

6. Conclusions

This study used MCDM methods to select scholarship students for a public charity organization that provides scholarships to higher education students for financial support and aims to reach eligible students. While the organization's directors select the most suitable students among the applicants, they examine the application information for each student individually. As a result of this examination, subjective evaluation by the board of directors members determined that the students be awarded scholarships. This decision-making process includes many objective and subjective parameters and poses a problem to which MCDM methods can be applied.

MCDM methods evaluate many criteria and parameters together. It enables sorting and selection by evaluating the alternatives considered. This study proposed a model that included AHP, TOPSIS, and SAW methods to select the most suitable students for scholarships among university students who apply for a scholarship.

The study started by determining the criteria to be considered in the granting process. Studies in the literature that included scholarship criteria were examined. After taking the opinions of the board of directors, eight criteria were determined. Firstly, the opinions of the board of directors were taken to determine the weights of the criteria. Then, the weights of the criteria were calculated using the AHP method. From the results obtained, it was determined that the most important criterion was the grade point average, with a weight of 0.230, and the least important criterion was the status of the student's parents, with a weight of 0.047. After that, the TOPSIS and SAW methods were applied separately using the data of 335 students, and the students were ranked according to their suitability. These rankings identify the 23 students to whom the branch can grant scholarships.

Ten students in the first 23 students obtained in SAW and TOPSIS rankings are the same, which makes around a 43 % commonality in the two separate lists. Although not low, this percentage would naturally be preferred to be higher. It is important to note that the calculation of the normalization matrix is different in SAW and TOPSIS. Moreover, SAW does not consider the closeness to the ideal solution, whereas TOPSIS does. Hence, the intuition suggests that TOPSIS is a preferred method over SAW. Nevertheless, it is better if the first 23 in both lists (i.e., 36 students, as ten are common) are all invited for an interview.

The proposed models provide benefits and convenience to the organization's directors while choosing the scholarship recipients. The high number of applications made to the organization and the evaluation process made by the board of directors by examining the students is inefficient and open to mistakes. With the proposed model, the time allocated by the branch directors for evaluation is expected to be considerably shortened. In addition, since the proposed selection is made through a scientific method, it is anticipated that it will contribute significantly to the transparency of the selection process.

Contribution of Researchers

Okan Arslantaş carried out model calibrations and data analysis. Mehmet Gümüş and Emir Hüseyin Özder reviewed the literature and contributed to the interpretation of model results.

Conflicts of Interest

The authors declared that there is no conflict of interest.

References

- Abalı Y.A., Kutlu, B. S., and Eren, T. (2012), Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri ile Bursiyer Seçimi: Bir Öğretim Kurumunda Uygulama. Atatürk Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Dergisi, 26(3-4): 259-272. Access Link: <https://dergipark.org.tr/pub/atauniiibd/issue/2707/35752>
- Al Amin M.D., Das A., Roy S., and Shikdar I. M.D. (2019), Warehouse Selection Problem Solution by Using Proper MCDM Process, International Journal of Science and Qualitative Analysis 5(2), 43-51. DOI: <https://doi.org/10.11648/j.ijsga.20190502.13>
- Ameri, A.A., Pourghasemi H.R., and Cerda A., (2018), Erodibility prioritization of sub-watersheds using morphometric parameters analysis and its mapping: A comparison among TOPSIS, VIKOR, SAW, and CF multi-criteria decision-making models, Science of Total Environment, 613-614: 1385-1400. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.210>
- Ibrahim, A. and Surya, R.A. (2019), The Implementation of Simple Additive Weighting (SAW) Method in Decision Support System for the Best School Selection in Jambi, Journal of Physics: Conference Series. Access Link: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1338/1/012054/pdf>
- Aytaç, M. and Gürsakal, N. (2015), Karar Verme, 243 - 270. Bursa: Dora Yayınları. Access Link: <https://dorayayincilik.com.tr/kitap-karar-verme-284.html>
- Cristobal, J. S. (2011), Multi-Criteria Decision-Making in The Selection of a Renewable Energy Project in Spain: The VIKOR Method. Renewable Energy, 36: 498-502. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.07.031>
- Ersöz, F., Kabak, M. and Yılmaz, Z. (2011), Lisansüstü Öğretimde Ders Seçimine Yönelik Bir Model Önerisi. Afyon Kocatepe Üniversitesi İİB Dergisi, 13(2): 227-249. Access Link: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/18922>
- Ertuğrul, İ. and Karakaşoğlu, N. (2009), Banka Şube Performanslarının VIKOR Yöntemi İle Değerlendirilmesi. Journal Of Industrial Engineering (Turkish Chamber of Mechanical Engineers, 20(1):19-28. Access Link: <https://app.trdizin.gov.tr/makale/T1RJMU1UTXo/banka-sub-performanslarinin-vikor-yontemi-ile-degerlendirilmesi>
- Hacıköylü, E. B. (2006), Analitik Hiyerarşi Karar Verme Süreci İle Anadolu Üniversitesi'nde Beslenme Ve Barınma Yardımı Alacak Öğrencilerin Belirlenmesi. Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir. Access Link: <https://earsiv.anadolu.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/11421/9324/354210.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hwang, C. L. and Yoon, K (1981), Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications, Springer-Verlag, New York. Access Link: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-48318-9>
- Jati, H. (2011), Web Impact Factor: A Webometric Approach for Indonesian Universities. In International Conference for Informatics for Development. Access Link: http://staffnew.uny.ac.id/upload/132231621/penelitian/C1_74-77+Web+Impact+Factor+-+a+Webometric+Approach+for+Indonesian+Universities.pdf
- Kittur Javeed (2015), Optimal Generation Evaluation using SAW, WP, AHP and PROMETHEE Multi-Criteria Decision-Making Techniques, IEEE International Conference on Technological Advancements in Power & Energy. DOI: <https://doi.org/10.1109/TAPENERGY.2015.7229636>
- Mančev, M.D. (2014). Ranking the Libraries of the University of Niš Faculties Using the VIKOR Method. Canadian Journal of Information and Library Science 38(1), 22-36. DOI: <https://doi.org/10.1353/ils.2014.0007>

- Marbun, M. Zarlis M., and Nasution Z. (2018), Analysis of Application of the SAW, WP and TOPSIS Methods in Decision Support System Determining Scholarship Recipients at University, Journal of Physics: Conference Series. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1830/1/012018>
- Widianta, M. M. D., Rizaldi, T., Setyohadi D. P. S. and Riskiawan H. Y. (2018), Comparison of Multi-Criteria Decision Support Methods (AHP, TOPSIS, SAW & PROMENTHEE) for Employee Placement, Journal of Physics: Conference Series. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/953/1/012116>
- Ömürbek, N., Karaatli, M. and Yetim, T. (2014), Analitik Hiyerarşi Sürecine Dayalı Topsis Ve Vikor Yöntemleri ile ADIM Üniversitelerinin Değerlendirilmesi. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, (Dr. Mehmet Yıldız Özel Sayısı),189-207. Access Link: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/susbed/issue/61810/924747>
- Özkan, Ö., (2007), Personel Seçiminde Karar Verme Yöntemlerinin İncelenmesi: AHP, TOPSIS, ELECTRE Örneği (Yüksek Lisans Tezi), Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul. Access Link: https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=9B2V9_dZ-ivmbUPDCRmqCg&no=pyIqmEK65_X-XKWRwSLNvQ
- Pençe, İ., Tarhan, L. and Çetinkaya, Ö. (2017), Türk Eğitim Vakfı Bursu Verilecek Uygun Adayların AHP ve TOPSIS Yöntemi Kullanılarak Belirlenmesi: Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Eğitim Fakültesi Örneği. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Dergisi, 1(1), 37-49. Access Link: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/358096>
- Pekkaya, M., Çolak N., (2015), Üniversite Öğrencilerinin Meslek Seçimini Etkileyen Faktörlerin Önem Derecelerinin AHP İle Belirlenmesi. International Journal of Social Science, 6(2), 797-818. DOI: https://doi.org/10.9761/jasss_643
- Saaty, T.L. (1977) A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures. Journal of Mathematical Psychology, 15, 234-281. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](http://dx.doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5)
- Saaty, T. L., The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill, USA, 1980. Access Link: https://books.google.com.tr/books/about/The_Analytic_Hierarchy_Process.html?id=Xxi7AAAAIAAJ&redir_esc=y
- Sulaiman, N.H., Mohamad, D., (2006), A Fuzzy Logic Model for Students' Scholarship Selection, Jurnal Teknologi Maklumat Dan Sains Kuantitatif, 8,1, 35-41. Access Link: https://ir.uitm.edu.my/id/eprint/11655/1/AJ_NOR%20HASHIMAH%20SULAIMAN%20JTMSK%2006%201.pdf
- Urfalıoğlu, F. and Genç, T. (2015), Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ile Türkiye'nin Ekonomik Performansının Avrupa Birliği Üye Ülkeleri ile Karşılaştırılması. Marmara Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Dergisi, 35 (2), 329-360. Access Link: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/muiibd/issue/494/4376>
- Wimatsari G.A.M.S., Putra, I.K.G.D., Buana, P.W. (2013), Multi-Attribute Decision Making Scholarship Selection Using A Modified Fuzzy TOPSIS, IJCSI International Journal of Computer Science Issues, 10,(1)2,309-317. Access Link: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.697.9152&rep=rep1&type=pdf>
- Yeh, C.H., (2003), The Selection of Multiattribute Decision Making Methods for Scholarship Student Selection, International Journal of Selection and Assessment, 11,4, 289-296. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.0965-075X.2003.00252.x>



Journal of Turkish Operations Management

Türkiye orman ürünleri sektörünün döngüsel ekonomi ve endüstriyel simbiyoz bağlamında değerlendirilmesi

Murat Yeşilkaya^{1*}, Gülesin Sena Daş² Mehmet Fatih Yaşın³

¹Niksar Meslek Yüksekokulu, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat, Türkiye

e-mail: murat.yesilkaya@gop.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-4440-1311>

²Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, Türkiye

e-mail: senadas@kku.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-7865-3162>

³Türkiye Büyük Millet Meclisi (TBMM), Ankara, Türkiye,

e-mail: mfyasin@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-8656-7264>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 31.08.2022

Revize: 23.03.2023

Kabul: 10.04.2023

Anahtar Kelimeler:

Endüstriyel simbiyoz,
Eko-endüstriyel park,
Orman ürünleri endüstrisi,
SWOT analizi

Özet

Dünya nüfusunun artması ve teknolojik gelişmeler hızlı kentleşme ve sanayileşmeye yol açmıştır. Ancak artan sanayileşme nedeniyle ortaya çıkan çevre sorunları daha büyük bir endişe haline gelmiştir. Günümüzde birçok ülke, üretime bağlı çevre sorunlarını ortadan kaldırmak için Döngüsel Ekonomi politikalarıyla temiz ve sürdürülebilir üretimi desteklemektedir. Bu ülkeler, Döngüsel Ekonomi bağlamında çeşitli endüstrilerde Endüstriyel Simbiyoz (ES) uygulamalarını desteklemektedir. Orman ürünleri endüstrisi, Dünya'daki başarılı ES uygulamalarının odak noktasındaki sektörlerden biridir. Bu sektörün doğal hammaddelere bağımlılığı, orman varlığının yüksek olduğu ülkeler için bu sektörü daha kritik hale getirmiştir. Bu çalışmanın amacı Türkiye'deki orman ürünleri endüstrisinin ES'nin uygulanabilirliğini tartışmaktır. İlk olarak orman ürünleri endüstrisine dayalı Dünya'da yapılmış iyi ES uygulamalarını incelenmiştir. Ardından, bu ES ağlarındaki iş birlikleri ve potansiyel malzeme, yan ürün ve atık akışlarını belirlenmiştir. Bu değerlendirmenin ışığında, ES'nin Türk orman endüstrisi için uygulanabilirliğine ilişkin bir SWOT analizi sunulmuştur. SWOT analizi sonuçları, Türkiye orman ürünleri sektörüne dayalı ES ağları kurmanın mümkün olduğunu göstermektedir. Ancak işletmeler, ES hakkında farkındalık yaratarak bu ağlara katılmaya teşvik edilmelidir. Bu ağlara katılımı artırmak için vergi muafiyetleri, girdi fiyatlarında indirim gibi destekler tasarlanmalıdır.

Evaluation of the Turkish forest products industry in the context of circular economy and industrial symbiosis

Article Info

Article History:

Received: 31.08.2023

Revised: 23.03.2023

Accepted: 10.04.2023

Keywords:

Industrial symbiosis,
Eco-industrial park,
Forest product industry,
SWOT analysis

Abstract

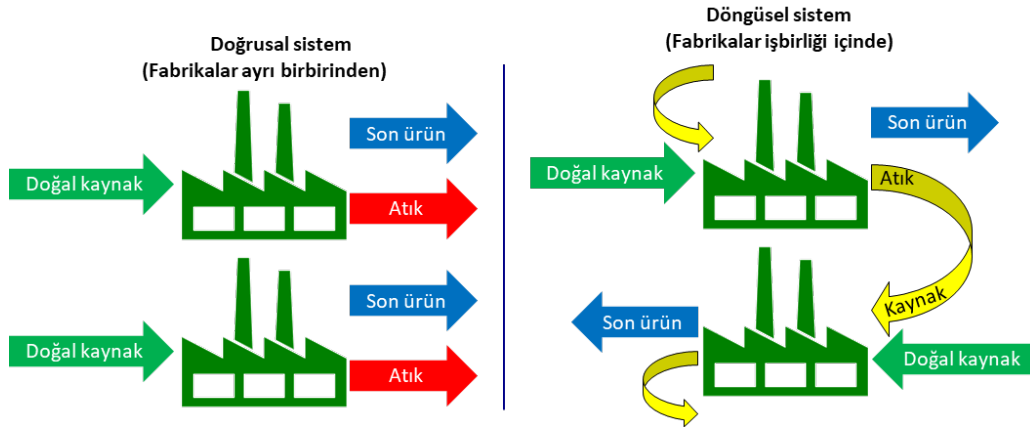
The increase in the world population and technological developments have led to rapid urbanization and industrialization. However, environmental problems arising due to increased industrialization have become a greater concern. Today, many countries support clean and sustainable production with Circular Economy policies to eliminate environmental problems related to production. These countries support Industrial Symbiosis (ES) applications across various industries in the context of the Circular Economy. The forest products industry is one of the sectors in the focus of successful ES applications in the world. The dependency of this sector on natural raw materials has made this sector more critical for countries with high forest existence. The aim of this study is to discuss the applicability of ES in the forest products industry in Turkey. First, good ES examples in the world based on the forest products industry are reviewed. Then, collaborations and potential material, by-product and waste flows in these ES networks are determined. In the light of this evaluation, a SWOT analysis on the applicability of ES for the Turkish forest industry is presented. The SWOT analysis results show that it is possible to establish ES networks based on the Turkish forest products sector. However, businesses should be encouraged to participate in these networks by raising awareness about ES. In order to increase participation in these networks, supports such as tax exemptions and reductions in input prices should be designed.

1. Giriş

Son yıllarda dünya nüfusundaki artış ve teknolojik gelişmeler hızlı kentleşme ve sanayileşmeye yol açmıştır. Bu hızlı değişimlere bağlı olarak ortaya çıkan çevre sorunları günümüzde giderek artan bir endişeyi de beraberinde getirmektedir. Zira, büyük miktarlarda malzeme ve enerji tüketmeye başlayan ülkelerin ortaya çıkardıkları atık miktarı da önemli ölçüde artmıştır (Satterthwaite, 2008; Grimm vd., 2008). Dünya Bankası verilerine göre, Dünya’da 2040 yılına kadar fosil enerjinin %80’inin kullanılacağı (Shell, 2014) ve 2025 yılına kadar atık üretiminin ikiye katlanacağı öngörülmektedir (World Bank, 2012). Avrupa Komisyonu raporlarına (2016) göre Avrupa Birliği ülkeleri her yıl, potansiyel olarak geri dönüştürülebilecek veya yeniden kullanılabilir atıkları bertaraf ederek yaklaşık 600 milyon ton değerli malzemeyi kaybetmektedir. Avrupa Birliği Atık Veri Merkezi’ne göre (2016) ise, ortaya çıkan bu atıkların yaklaşık %60’tan fazlası geri dönüştürülebilecek özelliktedir. Amerika ve birçok Avrupa ülkesinin bu atıkları bertaraf etmek için düzenli depolama alanlarını yoğun bir şekilde kullanmaktadır (EPA, 2014; EUROSTAT, 2014). Fakat bu depolama alanları metan gazı emisyonlarından, hava, su, topraktaki kimyasal ve mikrobiyolojik kirleticilere kadar birçok çevresel sorunu ortaya çıkarmaktadır (Kjeldsen vd., 2002). Dolayısıyla atıkları bertaraf için kullanılan depolama alanları da çevresel sürdürülebilirlik sorunlarına çözüm olmamıştır.

Atıkların yeniden kullanımı, sürdürülebilirlik ve temiz üretim bakımından yetersiz kalan Doğrusal Ekonomi modelindeki “al-yap-at” (take-make-dispose) düşüncesi Döngüsel Ekonomide yerini “azalt-yeniden kullan-geri dönüştür” (reduce-reuse-recycle) düşüncesine bırakmıştır (Kirchherr vd., 2017). Döngüsel ekonomi modelinin merkezindeki bu yaklaşım kaynak kullanımında verimlilik, atıkların azaltılması, yeniden kullanılması ve geri dönüşüm gibi yollarla sürdürülebilir kalkınmaya hizmet etmektedir (Polverini ve Miretti, 2019).

Avrupa Çevre Ajansı (EEA, 2016) kaynak-yoğun endüstrilerde atık emisyonlarının ve birincil kaynak kullanımının azaltılmasını, sürdürülebilir kalkınmayı hızlandırmanın kritik yollarından biri olarak önermektedir. Bu anlamda endüstriyel ekoloji (EE) ve endüstriyel simbiyoz (ES) doğrusal ekonomiden döngüsel ekonomiye geçişte israfın nasıl azaltılacağına dair bir bakış açısı sunmaktadır. Şekil 1’de doğrusal ve döngüsel sistemlerin işleyişi ve potansiyel akışı verilmiştir.



Şekil 1. Doğrusal ve döngüsel sistem (Kim vd., 2018)

Döngüsel Ekonomi modelindeki kaynak yönetimi ve sürdürülebilirlik çabalarının temelinde EE kavramı vardır. Ayres (1989) EE kavramıyla ilişkili diğer bir kavram olan endüstriyel metabolizma kavramını ortaya atmıştır. Bu kavram, endüstride kullanılan malzeme, enerji ve diğer etmenlerin son ürüne ve atığa dönüştürülme sürecini doğal organizmaların yaşam şekillerine benzetmektedir. Frosch ve Gallopoulos (1989) ise endüstriyel metabolizma tanımından yola çıkarak EE kavramını ortaya koymuştur. Bu sayede işletmeler üretim süreçlerinde biyolojik ekosisteme benzer şekilde hareket ederek doğal kaynakların yok olma tehdidine karşı konumlanabilirler.

EE, sürdürülebilir kalkınma ve kaynak kullanımını destekleyen ve endüstri-doğa ilişkilerinden esinlenen bir çevre yönetim modelidir (Frosch ve Gallopoulos 1989; O'Rourke vd., 1996). EE kapsamında ele alınabilecek ES kavramı ise işletmeler arası seviyede gerçekleşir. Avrupa Komisyonu, ES'yi Döngüsel Ekonomiye kolaylaştırmak için potansiyel bir bileşen olarak tanımlamıştır. Aslında Avrupa uyum politikalarında ve yenilik programlarında,

ES'nin fosil yakıt ve doğal kaynakların tüketilmesiyle ilgili sorunların çözümünde kilit bir rol oynayacağı vurgulanmıştır (Iacondini vd., 2015).

ES kavramı doğadaki simbiyotik yaşamın birbirinden bağımsız hareket eden endüstriyel işletmelere uyarlanması olarak tanımlanabilir. ES hammaddenin, enerjinin, suyun ve/veya yan ürünlerin fiziksel olarak işletmeler arası değişimiyle meydana gelir (Chertow, 2000). ES ağları, kapalı ve sürdürülebilir yaşam döngüleri aracılığıyla kaynakları, varlıkları ve hizmetleri değiş tokuş eder (Cecelja vd., 2014). Birçok araştırmacıya göre bu sistemin temel taşları işletmelerin fiziksel yakınlığı, işletmeler arası iş birliği ve sinerjidir.

EE ve ES kavramları klasik endüstriyel parkları daha sürdürülebilir ve çevreci parklara dönüştürmek için de yenilikçi yollar sunmaktadır. Bu durumda Eko-Endüstriyel Park (EEP) kavramı ortaya çıkmıştır. EEP'ler ES fikrini uygulamanın en yaygın yoludur. Lowe, (1997)'a göre EEP, enerji, su ve malzemelerin değişimi yoluyla gelişmiş çevresel ve ekonomik fayda arayan üretim ve hizmet işletmelerinden oluşan bir sanayi parkı olarak ifade edilir. EEP'leri geliştirmede amaç; ağa dahil olacak üye işletmelerin ekonomik faydalarını artırırken çevresel faydalarını da en aza indirmektir. EEP'lerde ES çalışmalarının yürütülebilmesi için park altyapısının ve tesislerinin stratejik tasarımı yapılmalı, çevresel zararların önlenmesini sağlayacak destekler tasarlanmalı, enerji tasarrufu teşvik edilmeli ve katılımcılar arası iş birliği desteklenmeli ve kolaylaştırılmalıdır. Ancak bu şekilde bu parklarda yer alan işletmeler topluluğu bir endüstriyel ekosistem haline gelebilir.

Bir EEP'de yer alan ilk ve en gelişmiş ES örneği, 1961 yılında Danimarka sahilinde küçük bir sanayi bölgesinde kurulan Kalundborg EEP'sidir. 1989 yılına kadar Kalundborg ES bölgesi Dünya'da çok fazla ilgi uyandırmamıştır. Ancak, bu tarihten sonra bölgenin sürdürülebilirlik ve çevre yönetimi için önemi anlaşılmış ve bölgeye çeşitli ülkelerden ES'yi anlamak için araştırmacılar gönderilmiştir (Grann, 1997). Bu proje ile üye işletmeler arasında atık yönetimi sayesinde sanayi ortaklığı başlatılmış, su kaynaklarını daha etkin kullanmanın yeni yolları aranmış ve maliyet azaltma çabaları geliştirilmiştir (Dunn ve Steinemann, 1998). Sonuç olarak bu parkta yaklaşık 20 farklı yan ürün değişimi sağlanmıştır (Jacobsen, 2006).

ES'nin uygulandığı en önemli sektörlerinden biri orman ürünleri endüstrisidir. Sektördeki ana hammadde olan odun doğal bir kaynak olduğundan üretim sürecinde oluşan atık ve yan ürünler birçok sektörde enerji veya yan ürün olarak kullanılabilir (Paixao vd., 2017). Son yıllarda, sınırlı orman kaynakları ve çevresel faktörler dikkate alındığında odun yan ürünlerinin veya atıklarının verimli kullanımını zorunlu hale gelmiştir (Pokharel vd., 2017). Küresel pazarda, düşük değerli odun atıkları biyoenerji veya katma değerli ahşap mühendislik levha üretiminde kullanılabilir (Jahan ve Roohnia 2010). Bu durum orman ürünleri endüstrisinde ES sinerjilerini ortaya çıkartmıştır. Orman endüstrisindeki ilk ES örneği, 1990'ların sonlarında Avustralya'nın Styria bölgesindeki bir sanayi parkıdır. Orman endüstrisi temelli diğer EEP'ler ise Finlandiya'daki Uimaharju ve Kymi ile Çin'de Guitang parklarıdır.

Ahşap malzemenin mobilya, kereste gibi orman ürünleri endüstrilerinde işlenmesi sürecinde yonga, atık odun, odun tozu, kabuk gibi birçok yan ürün/atık malzeme ortaya çıkar. Bu yan ürünler farklı veya benzer sektörlerde enerji kaynağı ya da hammaddeye alternatif bir ürün olarak değerlendirilebilir. Örneğin, mobilya endüstrisinde 1 ton ahşabın işlenmesi sürecinde, hammaddenin yaklaşık yarısı (0,5 ton) atık odun ortaya çıkmaktadır. (Kauppi, vd., 2018). Bu yüksek atık miktarı ile sürdürülebilir orman yönetimini sağlamak mümkün değildir. Dolayısıyla orman endüstrisinde atık ve yan ürünlerin kullanımını benimseyen ES uygulamaları önem arz etmektedir.

Bu çalışmanın amacı; temiz üretim ve sürdürülebilir kaynak yönetimini destekleyen ES uygulamalarının odağındaki orman ürünleri endüstrisinde yer almış olan uygulamaları incelemek ve sektörü analiz etmektedir. Bu kapsamda ilk olarak orman ürünleri endüstrisini içeren ve genellikle bir EEP'de yer alan ES ağları incelenmiş ve bu ağlardaki muhtemel yan ürün, enerji, su vb. akışlar belirlenmiştir. Sonrasında ise orman endüstrisindeki olası iş birlikleri tartışılmıştır. Son olarak ise incelenen iyi ES uygulama örneklerinden hareketle Türkiye orman ürünleri endüstrisi için yapılmış bir SWOT analizi sunulmuştur.

2. Orman Ürünleri Endüstrisine Bakış

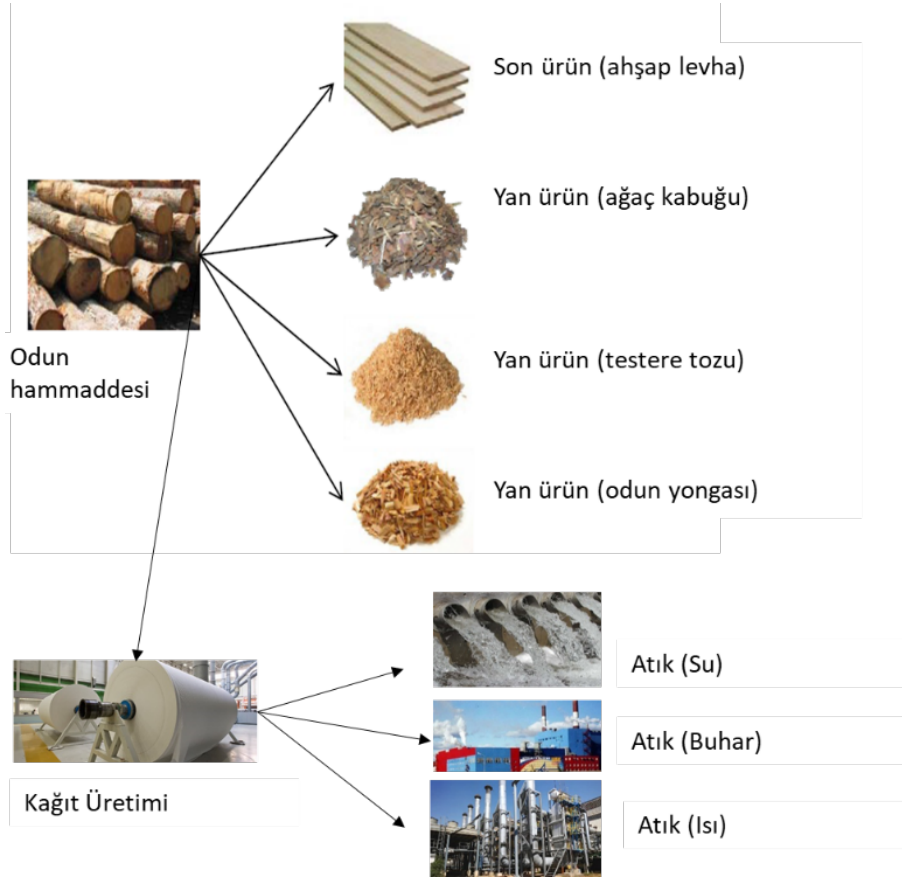
Orman ürünleri endüstrisi üretim süreçlerinde odun hammaddesini çeşitli mekanik (biçme, kesme, bükme, yongalama, soyma, vb.) veya kimyasal (liflendirme, pişirme vb.) yollarla işleyen, son ürün veya yarı mamul üreten entegre nitelikte bir üretim endüstrisidir. BM Gıda ve Tarım Örgütü (FAO, 1982) orman ürünleri endüstrisini temel olarak şu şekilde sınıflandırmıştır;

- Yuvarlak odun (kereste, kaplama vb.),
- Ahşap esaslı paneller (kontrplak, parke, yongalevha, liflevha vb.),
- Kağıt ve karton (kâğıt hamuru, gazete, baskı, yazı kağıtları vb.).

Ayrıca bu sınıflandırmaya mobilya endüstrisi ve biyoyakıt endüstrisi de dahil edilebilir (D'Amours, vd., 2008).

Orman ürünleri endüstrisinde yenilenebilir bir hammadde olan odununun kullanılıyor olması son yıllarda sektöre yönelik küresel talebin artmasına ve çevresel kaygılara yol açmıştır. Bu durum, orman ürünleri endüstrisinde daha sürdürülebilir ve çevre dostu bir üretim anlayışının benimsenmesini zorunlu kılmıştır. Bu nedenle orman ürünleri endüstrisi, ES'nin en sık uygulandığı sektörlerden biri olmuştur. Sektörde hem hammadde hem de yakıt olarak ağırlıklı yenilenebilir kaynaklar kullanılmaktadır (Murphy vd., 2015).

Ahşabın işlenmesi sonucu ortaya çıkan atıklar (ağaç kabuğu, kül, atık su, enerji vb.) ve yan ürünler (yonga, talaş, odun tozu, vb.), orman ürünleri endüstrisinin yanı sıra kimya, çimento, enerji ve tarım gibi diğer endüstri dallarında da kullanılabilir. Orman ürünleri endüstrisinde elde edilen atık ve yan ürünler diğer endüstriler için hammadde veya yarı mamul olarak kullanılabilir. Bu nedenle orman ürünleri endüstrisi kendi içinde veya diğer sektörlerle alışveriş halindedir. Şekil 2'de orman endüstrisinde oluşan bazı atık ve yan ürünlerin görselleri verilmiştir. Odun hammaddesinin çeşitli üretim süreçlerinde çeşitli yan ürün ve son ürünler oluşur. Özellikle kağıt endüstrisinde yoğun atık su, buhar ve ısı oluşur.



Şekil 2. Orman endüstrisinde oluşan bazı atık ve yan ürünler

Ahşabın ve yan ürünlerinin etkin kullanımı, sınırlı doğal kaynaklar nedeniyle son yıllarda artan bir ilgi görmüştür (Pokharel vd., 2017). Örneğin, mobilya üretiminde 1 m³ ahşap işlendikten sonra yaklaşık 0,5 m³ ahşap atık olarak ortaya çıkar (Kauppi, vd., 2018). Küresel pazarda, genelde odun atıkları yakılarak değerlendirilir ve basit bir şekilde biyoenerji elde edilir (Paixao vd., 2018). Fakat atıkların bu şekilde değerlendirilmeleri orman ürünleri endüstrisinin gelişimine ve çevre koruma politikalarına uygun değildir (Wang vd. 2010). Özellikle son yarım asırda gelişen ahşap levha endüstrisi (yongalevha, liflevha, vb.) orman ürünleri atıklarını odun hammaddesine alternatif olarak kullanıp katma değerli son ürünler üretmektedirler (Jahan-Latibari ve Roohnia, 2010).

Orman endüstrisi atıkları katma değerli ürünlere dönüştürülebilmesine rağmen bu atıkların geri dönüşümü ve yeniden kullanımı için modern entegre sistemler çok fazla gelişmemiştir. Dünya'nın ciddi bir odun arzı sıkıntısı ile karşı karşıya kaldığı son dönemlerde (Pokharel, vd., 2017), sektör için ekonomik değeri olan atık ve yan ürünlerin verimli bir şekilde değerlendirilmesini sağlayan ES modelleri orman endüstrisi için çok önemli bir uygulama alanıdır.

3. Orman Ürünleri Endüstrisinde Endüstriyel Simbiyoz

“Orman ürünleri”, “orman endüstrisi”, “odun ürünleri”, “endüstriyel simbiyoz”, eko-endüstriyel park” anahtar kelimelerini kullanarak yapılan literatür taramasında, orman ürünlerinde ES alanında yapılan 23 çalışmaya rastlanmıştır. Yayınlanan çalışmalar ile ilgili detaylı bilgiler ise Tablo 1'de sunulmuştur.

İlk olarak ES çalışmalarının yapıldığı bölgeler incelendiğinde, Kuzey Avrupa ülkeleri (Wernick vd., 1997; Korhonen, 2000; Korhonen vd., 2001; Korhonen ve Niutanen, 2003; Mirata, 2004; Illsley vd., 2007; Wolf ve Petersson, 2007; Karlsson ve Wolf, 2008; Sokka vd., 2011a; Pakarinen vd., 2010; Sokka vd., 2011b; Rosa ve Beloborodko, 2015) yüksek orman varlığı ile ön plana çıkmaktadır. Toplam yüzölçümünün %72'si (URL, 2019b) ormanlarla kaplı olan Finlandiya bölgesinde orman endüstrisindeki ES uygulamalarının yaklaşık %30'u yapılmıştır (Korhonen, 2000; Korhonen vd., 2001; Korhonen ve Niutanen, 2003; Sokka vd., 2011a; Pakarinen vd., 2010; Sokka vd., 2011b). Türkiye'de ise bünyesinde orman ürünleri endüstrisinden işletmeleri barındıran bir ES uygulaması bulunmamaktadır.

ES'nin ağlarına dahil olan işletmelerin sektörleri incelendiğinde, çalışmaların yaklaşık yarısında (Wernick vd., 1997; Korhonen, 2000; Korhonen vd., 2001; Korhonen ve Niutanen, 2003; Jackson, 2005; Illsley vd., 2007; Wolf ve Petersson, 2007; Karlsson ve Wolf, 2008; Rosa ve Beloborodko, 2015; Wahrlich ve Simioni, 2019; da Silva vd., 2020) ES ağı sadece orman ürünleri endüstrisinde faaliyet gösteren işletmeler arasında kurulmuştur. Bu ağlar genel olarak kereste, kontrplak, mobilya ve ahşap panel gibi fabrikalarından çıkan odun yongası, kabuk vb. yan ürünlerin biyoyakıt olarak kullanılması için malzeme alışverişi amacıyla kurulmuştur.

İncelenen ağlarda (Schwarz ve Steininger, 1997; Mirata, 2004; Zhu vd., 2007; Park vd., 2008; Sokka vd., 2011a; Pakarinen vd., 2010; Sokka vd., 2011b; Yu vd., 2015b; Li, Pan vd., 2015; Hildebrandt vd., 2019) kimya, tarım, gübre, çimento, demir ve çelik gibi çeşitli sektörlerden işletmeler de mevcuttur. Birçok araştırmacı atıkların ve yan ürünlerin yüksek değişkenliği nedeniyle sürdürülebilir bir ES ağının oluşturulma olasılığının daha yüksek olduğunu savunmaktadır. Örneğin, kâğıt ve kağıt hamuru tesisinden elde edilen buhar ve atık su, kimyasal tesisler ve/veya çelik endüstrisi tarafından kullanılmaktadır. Kâğıt tesisinden gelen kimyasal atıklar kimyasal tesislerde yan ürün olarak kullanılabilir, odun kabukları ve odun yongaları tarımsal amaçlarla veya çimento fabrikaları tarafından kullanılmaktadır. İncelenen ES ağlarında yan ürün olarak genellikle odun kökenli olan odun tozu, odun yongası ve ağaç kabuğu alışverişi gözlenmiştir. Bunun yanında çamur, cüruf, kül gibi kimyasal atıkların da değişiminin olduğu gözlenmiştir. Ayrıca atık su, ısı ve buhar paylaşan işletmeler arasında enerji simbiyozu da gerçekleşmektedir.

ES ağlarında fiziksel yan ürün veya enerji değişiminin yanı sıra, teknik bilgi (Mirata, 2004; Korhonen, 2000) ve işgücü (Rosa ve Beloborodko, 2015; Jackson, 2005) değişimi de gözlenmiştir. Bu fiziksel olmayan sinerjiler, ağdaki işletmeler arasında Ar-Ge faaliyetlerini arttırdığından ve iş birliği kültürünü geliştirdiğinden önemlidir. İncelenen ES uygulamalarındaki ağ yapılarından sadece %39'u gerçek bir EEP'de (9 makale) bulunmaktadır. Orman endüstrisi temelli EEP'ler ise; Avusturalya'da Styria EEP'si, Finlandiya'da Uimaharju ve Kymi EEP'si, Çin'de Guitang EEP'si, Kore'de Ulsan EEP'si, Tayvan'da REDA EEP'si ve Letonya'da Linhai EEP'sidir. Yukarıda sayılanların dışındaki çalışmaların hepsi işletmeler arasında oluşturulan ES ağlarıdır. Yani bir EEP içerisinde değil farklı konumlarda bulunan işletmeler arasındaki iş birliğidir. Bu ağlar hakkında detaylı bilgi sonraki bölümde sunulmuştur.

Tablo 1'de özetlenen ES çalışmalarının genel olarak amacı; sürdürülebilir kaynak kullanımı ve iş birliği yoluyla çevresel etkiyi en aza indirmek, işletmelerin veya ağdaki diğer kuruluşların ekonomik faydalarını en üst düzeye çıkarmaktır. Öte yandan literatürdeki çalışmalar incelendiğinde farklı amaçlarla karşılaşılmıştır. Bu ağların birçoğunda öncelikli amaç ağdaki katılımcılara sağlanan ekonomik faydalardır (Eko). Beklenen ekonomik faydalar, hammadde kullanımından tasarruf, atık yönetimi maliyetlerinin düşüşü ve yan ürün ve enerji alışverişi ile yeni gelirler elde etmek olarak sayılabilir. Diğer ekonomik faydalar ise vergi maliyetlerinin düşürülmesi (Li vd., 2015; Mirata, 2004; Yu vd., 2015a; Zhu vd., 2007) ekonomik teşvikler, vergi indirimleri, krediler ve mali sübvansiyonlar gibi devlet tarafından sağlanan mali desteklerdir (Li vd., 2015; Mirata, 2005; Yu vd., 2015a).

Ayrıca çevresel beklentilerin ekonomik faydalara yol açtığı fikri de literatürde kabul görmektedir (Jacobsen, 2006).

Bunun yanı sıra çalışmalarda atık ve emisyon azaltımları ile yakıt ve enerji ekonomisi gibi çevresel amaçlara (Çev) odaklanan çalışmalar da (Korhonen, 2000; Sokka vd., 2011b) mevcuttur. Bu amaçlara ek olarak, yeni iş fırsatlarının yaratılması (Illsley vd., 2007; Jackson, 2005; Li vd., 2015; Mirata, 2004), işgücü iş birliği (Jackson, 2005; Rosa ve Beloborodko, 2015) ve ortak alt yapı kullanımı (Jackson, 2005; Mirata, 2004) gibi ES'nin yaratabileceği sosyal (Sos) fırsatları hedefleyen çalışmalar da mevcuttur.

Tablo 1. Orman endüstrisinde ES uygulamaları

Yazarlar	Ülkeler	Symbioz		Sektörler						EEP		Ağ	Amaçlar			Method	
		Yan ürün	Enerji	İşbirliği	Kağıt	Kereste	Ahşap levha	Mobilya	Biyoyakıt	Diğer*	Gerçek	Teorik	Teorik ES	Eko	Çev	Sos	MM.
Schwarz ve Steininger (1997)	Avusturya	C,E	X,Z		✓						Styria		✓	✓			
Wernick vd., (1998)	İngiltere	A	X		✓	✓		✓	✓			✓	✓	✓			✓
Korhonen (2000)	Finlandiya	A		K	✓							✓		✓			
Korhonen vd., (2001)	Finlandiya	B,C,D,E	X,Y		✓	✓			✓			✓	✓	✓			
Korhonen ve Niutanen (2003)	Finlandiya	B,C,D,E	X,,Y		✓	✓						✓	✓	✓			✓
Mirata (2004)	Finlandiya	A,B,C,E	Y,Z					✓	✓			✓	✓	✓			
Jackson (2005)	Kolombiya			L		✓						✓	✓	✓	✓		
Korhonen ve Snakin (2005)	Finlandiya	B,C,D,E	X, Y, T		✓	✓			✓	✓	Uimaharju		✓	✓			
Illsley vd., (2007)	İngiltere		X						✓			✓	✓	✓	✓		
Wolf ve Petersson (2007)	İsveç	B,C,D	X,Y,Z		✓	✓	✓		✓			✓	✓	✓			
Zhu vd., (2007)	Çin	E			✓				✓		Guitang		✓	✓			
Karlsson ve Wolf, (2008)	İsveç	B,C,D	Z,Y		✓	✓			✓			✓	✓	✓			
Park vd., (2008)	Kore		Y,T		✓				✓		Ulsan		✓	✓			
Sokka vd., (2010)	Finlandiya	E	X,Y		✓				✓		Kymi		✓	✓			✓
Pakarinen vd., (2010)	Finlandiya	B,C,D,E	Y,T		✓	✓			✓		Kymi		✓	✓			
Sokka vd., (2011)	Finlandiya	E	X,Y		✓				✓		Kymi			✓			✓
Yu vd., (2015b)	Çin	C,E	T,Z		✓				✓		REDA		✓	✓			
Lie vd., (2015)	Tayvan	E	X,Y,T		✓				✓		Linhai		✓	✓	✓		✓
Rosa ve Beloborodko, (2015)	Letonya	B,C,D		L		✓	✓	✓				✓	✓	✓			✓
Hildebrandt vd., (2018)	Almanya	B,C,E	X		✓	✓	✓	✓	✓			✓		✓			✓
Wahrlich ve Simioni (2019)	Brezilya	B,C,D,E	X		✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓		
Da Silva, vd., (2020)	Portekiz, İspanya	B,C,D,E	X		✓		✓		✓			✓	✓	✓			
Yeşilkaya vd. (2020)	Türkiye	A, B,C,D,E	X,Y,T		✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓

* Diğer (Kimya, Şeker, Tekstil, Çimento, Enerji, Tarım, Gıda, Demir-çelik, Gübre vb.), A: Atık Malzeme, B: Odun tozu C: Odun yongası, D: Kabuk, E: Kimyasal atık (Çamur, CO₂, Cüruf, Kül vb.) X: Isı, Y: Buhar, Z: Elektrik, T: Atık su, K: Know-How, Bilgi, L: İşgücü

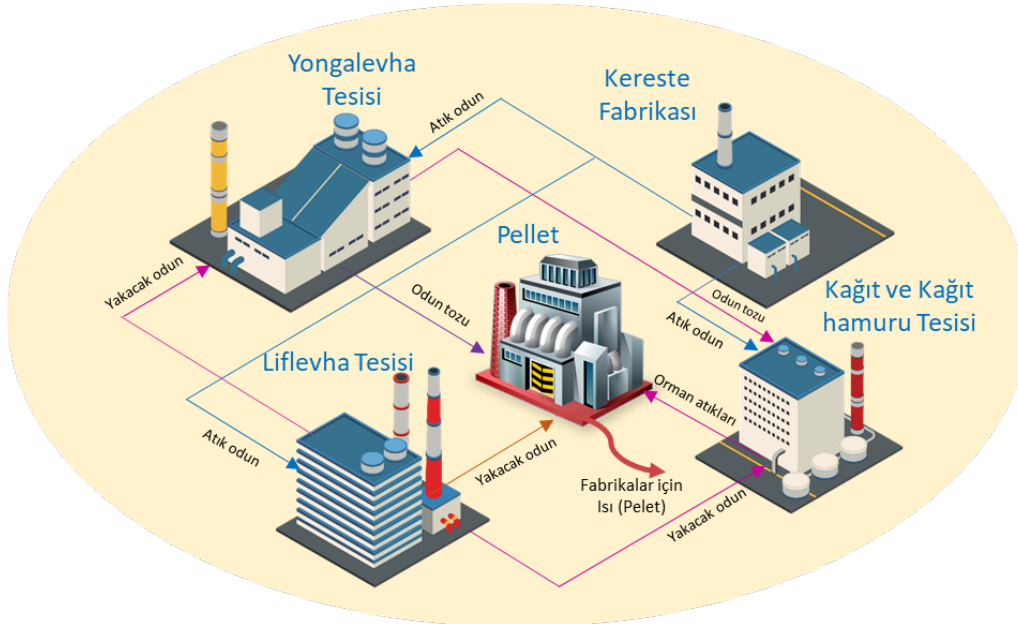
Tablo 1'den de görüleceği üzere bahsi geçen ağları analiz etmek Matematiksel Modelleme (MM) ve Yaşam Döngüsü Analiz (YDA) kullanılmıştır. Yöntem olarak genellikle YDA kullanılmıştır (Sokka vd., 2011b; Li, Pan, vd., 2015; Rosa ve Beloborodko, 2015; Hildebrandt vd., 2019). Buna karşın MM kullanımı oldukça kısıtlıdır. Halbuki atık, yan ürün, enerji ve bilgi alışverişinin, ES ağına dahil olan işletmeler arasında karmaşık bir kapalı döngü tedarik zinciri oluşturduğu bilinmektedir (Herczeg vd., 2018; Turken ve Geda, 2020). Bu nedenle, bu ağın iyi bir şekilde planlanması için optimizasyon Tablo 1'den de görüleceği üzere bahsi geçen ağları analiz etmek Matematiksel Modelleme (MM) ve Yaşam Döngüsü Analiz (YDA) kullanılmıştır. Yöntem olarak genellikle YDA kullanılmıştır (Sokka vd., 2011b; Li, Pan, vd., 2015; Rosa ve Beloborodko, 2015; Hildebrandt vd., 2019). Buna karşın MM kullanımı oldukça kısıtlıdır. Halbuki atık, yan ürün, enerji ve bilgi alışverişinin, ES ağına dahil olan işletmeler arasında karmaşık bir kapalı döngü tedarik zinciri oluşturduğu bilinmektedir (Herczeg vd., 2018; Turken ve Geda, 2020). Bu nedenle, bu ağın iyi bir şekilde planlanması için optimizasyon tekniklerinin kullanılması kaçınılmazdır (Wolf ve Karlsson, 2008). Ayrıca atıkların azaltılması ve çevrenin korunması için ortaya konan yeşil tedarik zinciri yapısının (Lin, vd., 2015; Zaralı, 2021; Çalık 2021) ES ağlarının kurulmasına katkı sağlayabileceği bilinmektedir.

Tablo 1’den de görüleceği üzere bahsi geçen ağları analiz etmek Matematiksel Modelleme (MM) ve Yaşam Döngüsü Analiz (YDA) kullanılmıştır. Yöntem olarak genellikle YDA kullanılmıştır (Sokka vd., 2011b; Li, Pan, vd., 2015; Rosa ve Beloborodko, 2015; Hildebrandt vd., 2019). Buna karşın MM kullanımı oldukça kısıtlıdır. Halbuki atık, yan ürün, enerji ve bilgi alışverişinin, ES ağına dahil olan işletmeler arasında karmaşık bir kapalı döngü tedarik zinciri oluşturduğu bilinmektedir (Herczeg vd., 2018; Turken ve Geda, 2020). Bu nedenle, bu ağın iyi bir şekilde planlanması için optimizasyon tekniklerinin kullanılması kaçınılmazdır (Wolf ve Karlsson, 2008). Ayrıca atıkların azaltılması ve çevrenin korunması için ortaya konan yeşil tedarik zinciri yapısının (Lin, vd., 2015; Zaralı, 2021; Çalık 2021) ES ağlarının kurulmasına katkı sağlayabileceği bilinmektedir.

Tablo 1’den de görüleceği üzere bahsi geçen ağları analiz etmek Matematiksel Modelleme (MM) ve Yaşam Döngüsü Analiz (YDA) kullanılmıştır. Yöntem olarak genellikle YDA kullanılmıştır (Sokka vd., 2011b; Li, Pan, vd., 2015; Rosa ve Beloborodko, 2015; Hildebrandt vd., 2019). Buna karşın MM kullanımı oldukça kısıtlıdır. Halbuki atık, yan ürün, enerji ve bilgi alışverişinin, ES ağına dahil olan işletmeler arasında karmaşık bir kapalı döngü tedarik zinciri oluşturduğu bilinmektedir (Herczeg vd., 2018; Turken ve Geda, 2020). Bu nedenle, bu ağın iyi bir şekilde planlanması için optimizasyon tekniklerinin kullanılması kaçınılmazdır (Wolf ve Karlsson, 2008). Ayrıca atıkların azaltılması ve çevrenin korunması için ortaya konan yeşil tedarik zinciri yapısının (Lin, vd., 2015; Zaralı, 2021; Çalık 2021) ES ağlarının kurulmasına katkı sağlayabileceği bilinmektedir. tekniklerinin kullanılması kaçınılmazdır (Wolf ve Karlsson, 2008). Ayrıca atıkların azaltılması ve çevrenin korunması için ortaya konan yeşil tedarik zinciri yapısının (Lin, vd., 2015; Zaralı, 2021; Çalık 2021) ES ağlarının kurulmasına katkı sağlayabileceği bilinmektedir.

Karlsson ve Wolf (2008), orman endüstrisi işletmeleri içeren bir ES ağında işletmelerin üretim maliyetini en aza indirmeyi amaçlamıştır. Çalışmada bir matematiksel modele yer verilmemiş ama bir paket programı kullanılarak çözülen matematiksel modelin sonuçları paylaşılmıştır. Yeşilkaya vd. (2020) ise orman ürünleri endüstrisine dayalı bir ES ağının işletmelere ve çevreye potansiyel faydalarını ve katkılarını analiz etmek için çok amaçlı çok dönemli bir model önermiştir. Önerilen model ile elde edilecek kazanımları değerlendirmek için teorik bir EEP tasarlanmıştır. Tasarlanan bu EEP’deki işletmelerin potansiyel yan ürünlerini ve atıklarını değerlendirmek için YDA kullanmıştır. Sonrasında ise bu işletmeleri kapsayan bir ES ağı kurulmuş ve bu ağda olmanın çevreye ve işletmelere olan etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre elde edilecek çevresel faydaların sadece karbon emisyonlarındaki azalma ile sınırlı olmadığı ağda işletmeler arasında önemli miktarda su, atık ve yan ürün değişimi olabileceği ifade edilmektedir. Kurulan bu ağda yaklaşık 400 bin ton yan ürün değişimi, yaklaşık 60 bin ton akaryakıt tasarrufu ve 220 bin tondan fazla temiz su tasarrufu sağlandığı görülmüştür. Ortaya çıkan kül ve lif çamuru gibi atıklar bertaraf edilmek yerine organik gübre üretimi için kullanılmıştır.

Oluşturulan bu ES ağı Daş vd. (2021) tarafından iki seviyeli bir programlama modeli kullanarak da analiz edilmiştir. Bu modelin amacı üst seviye karar verici olan park yöneticisi ile alt seviye karar vericileri konumundaki orman ürünleri işletmeleridir. Şekil 3’de modeldeki yan ürün akışları verilmiştir. Park yöneticisi, ağda yan ürün kullanımını teşvik etmek için toplam hammadde kullanımını en aza indirmek hedeflemektedir. Öte yandan, takipçi konumundaki işletmeler karlıklarını maksimize etmeyi amaçlamaktadır. Ağda karbon salınımı azalmasının yanı sıra 500 bin ton üzerinde odun kökenli yan ürün değişimi gözlenmiştir. Sonuçta önerilen iki seviyeli model kullanarak işletmelerin hem karlı olabileceği hem de ağdaki hammadde kullanımının azaltılabileceği bir üretim seviyesi belirlenmiştir.

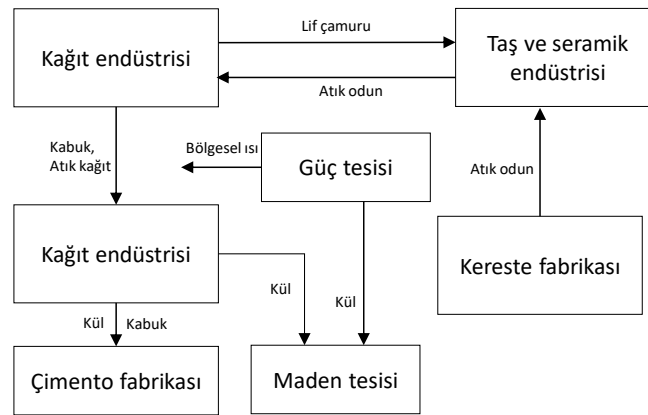


Şekil 3. Orman endüstrisi temelli ES ağı (Daş vd., 2021)

3.1. Orman Ürünleri Endüstrisinde ES Akışları

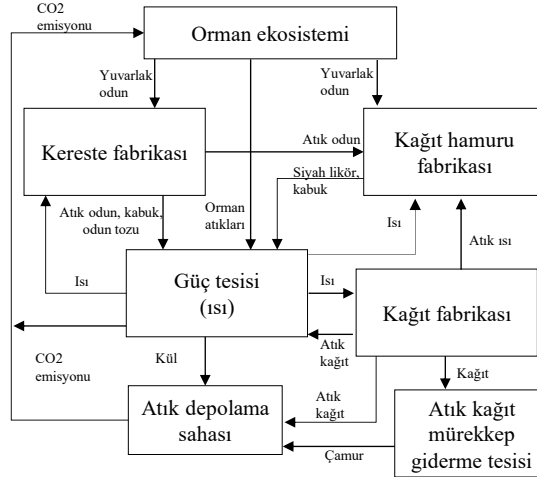
Bu bölümde orman endüstrisinde faaliyet gösteren işletmelerin bulunduğu EEP'ler ve ES uygulama çalışmaları incelenmiştir. Çalışma kapsamında orman endüstrisinden işletmeleri içeren ES ağlarındaki işletmeler arasındaki akışlar da detaylı olarak sunulmuştur. Şekillerdeki dikdörtgenler farklı tesis ve fabrikaları gösterirken oklar yan ürün, enerji, su, hammadde gibi ES akışlarını göstermektedir. Bilindiği gibi ES düşüncesinin temelini bu akışlar oluşturmaktadır.

Schwarz ve Steininger (1997)'in çalışması bilindiği kadarıyla orman ürünleri endüstrisinin de temelinde olduğu ilk gerçek ES uygulamasıdır. Avusturya'nın Styria Bölgesi'ndeki EEP'de geliştirilen bu ES ağında kâğıt, kereste, taş, seramik, enerji, çimento, maden, atık su arıtımı, petrol, kimya ve geri dönüşüm gibi alanlarda faaliyet gösteren 50'den fazla işletme bulunmaktadır. ES ağındaki sektörler arasındaki akışlar Şekil 4'de sunulmuştur. Atık bertaraf maliyetlerinden tasarruf sağlamak ve yan ürünlerden/atıklardan gelir etmek isteyen işletmeler bu ES ağına dahil olmuştur. Styria ES ağına kurulmasında sonra yıllık (1993-1994 yılı); 159 bin ton ağaç kabuğu külü ve ağaç kabuğu çimento tesislerinde kullanılırken, 11 bin ton ham kül ise maden tesisinde kullanılmıştır. 437 bin ton atık kâğıt, kâğıt tesisinde geri dönüştürülerek ve 447 bin ton atık odun çeşitli endüstrilerde tekrar kullanılmıştır. Ayrıca çamur, demir atığı, petrol atığı gibi yaklaşık 1,5 milyon ton atık/yan ürün geri kazanılarak ağıdaki işletmelere kullanılmıştır.



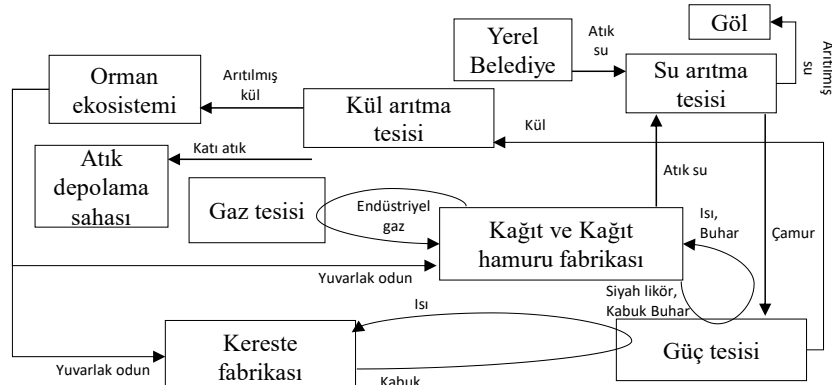
Şekil 4. Avusturya'daki Styria ES ağındaki akışlar (Schwarz ve Steininger, 1997).

Şekil 4’de verilen ES ağına benzer bir ağ Korhonen vd (2001), Finlandiya’da orman endüstrisi işletmeleri için önermiştir. Ağdaki kereste fabrikası atıkları, kağıt hamuru (selüloz) üretiminde (11,4 milyon m³) ve enerji üretiminde (1,6 milyon m³) kullanılmaktadır. Kağıt fabrikasından çıkan siyah likör ise güç tesisinde yakıt olarak (11 milyon ton), atık kağıtlar tekrar kağıt tesisinde (0,6 milyon ton) kullanılmak üzere geri dönüştürülmektedir. Korhonen ve Ville Niutanen (2003) ise Korhonen vd (2001)’den önerilen model genişletilerek malzeme, enerji ve karbon için ES ağı verilmiştir. Bu çalışmalarda incelenen ağ Şekil 5’de görülmektedir.



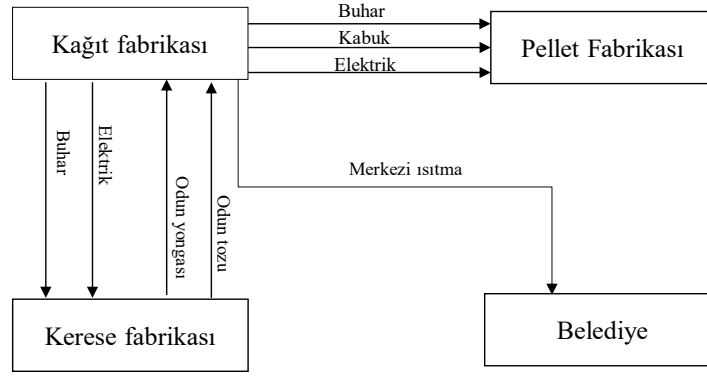
Şekil 5. Finlandiya’daki orman endüstrisi temelli bir ağdaki akışlar (Korhonen ve Niutanen, 2003)

Diğer bir çalışma ise, Korhonen ve Snäkin, (2005) tarafından Finlandiya’nın batısında yer alan orman ürünleri endüstrisi temelli Uimaharju EEP’sini analiz etmiştir. Şekil 6’da da görüldüğü üzere bu ağda kağıt ve kağıt hamuru, kereste, kontrplak fabrikaları, su arıtma tesisi, gaz tesisi, kül arıtma tesisi, enerji ve ısı santralleri bulunmaktadır. Bu ağdaki katılımcılar arasında atık kül, atık su, atık buhar ve ısı, odun yongası, kabuk ve kimyasalların değişimi ile sağlanmıştır. Bu parktaki ES’nin malzeme ve enerji değişimini artırdığı ve CO₂ emisyonlarını azalttığı bildirilmiştir.



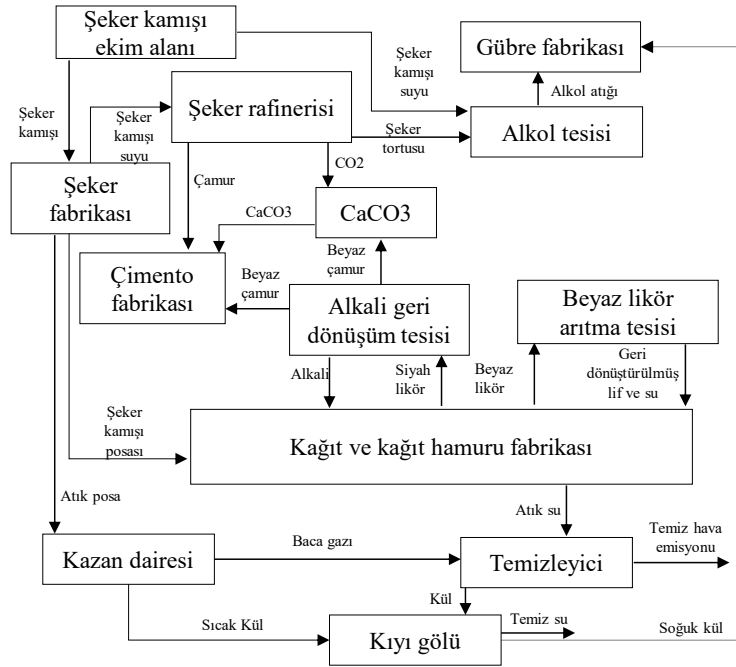
Şekil 6. Finlandiya Uimaharju parkındaki ES ağı (Korhonen ve Snäkin, 2005)

Wolf ve Peterson (2007) ise İsveç orman endüstrisindeki malzeme ve enerji alışverişlerinin bir değerlendirmesini yapmıştır. Çalışma için 63 kereste fabrikası, 13 selüloz fabrikası, 21 kağıt tesisi, 25 entegre selüloz ve kağıt tesisi ve 26 biyoyakıt üreticisi ile görüşülmüş ve mevcut akışlar belirlenmiştir. Sonuçlar, işletmelerin üçte birinden fazlasının birbirine yakın işletmelerle malzeme veya enerji alışverişi yaptığını işaret etmektedir. Ayrıca çalışmada Sundsvall-Timrå ve Mönsterås şehirleri için ES önerisinde bulunulmuştur. Södra grup şirketi bünyesinde bulunan işletmeler arasında Mönsterås için önerilen ES’deki akışlar Şekil 7’de verilmiştir. Ağda, kağıt, kereste ve biyoyakıt (pelet) üretim tesisleri ile yerel bir belediye arasında simbiyoz gerçekleştirilmiştir. Kağıt ve kereste fabrikalarından çıkan odun yongası ile ağaç kabuğu gibi yan ürünler biyoyakıt tesisine gönderilmiştir. Biyoyakıt tesisi ise bu yan ürünleri kullanarak elde ettiği ısıyı bu tesislere geri göndermiştir. Bunlara ek olarak tesis binası ve personel paylaşımı da gerçekleştirilmiştir. Kağıt tesisinden gelen buhar ve atık ısı ise kereste fabrikası ve yerel belediye tarafından kullanılmıştır.



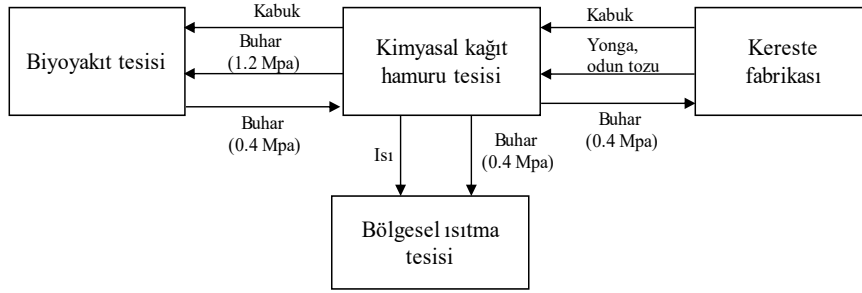
Şekil 7. İsveç'teki ES ağında yan ürün değişimi (Wolf ve Peterson, 2007)

Zhu vd. (2007) ise Çin'in en büyük şeker üreticilerinden biri olan Guitang Grubu için tasarlanan ve Şekil 8'de görülen ES ağını incelemiştir. Çin hükümeti tarafından desteklenmekte olan bu EEP'de simbiyoz bir şirket bünyesindeki farklı fabrikalar arasında gerçekleşmektedir. Ana faaliyet konusu şeker üretimi olan şirket, üretim esnasında oluşan yan ürün olan şeker şurubundan alkol üretimi ve diğer bir yan ürün olan şeker kamışı posasından kağıt üretimi üretmek için yatırım yapmıştır. Ayrıca şirket bünyesinde ES olanaklarını arttırmak için enerji, gübre, çimento ve geri dönüşüm tesisleri de kurulmuştur. Bu sayede şeker kamışı posasının %80'i tekrar kullanılmıştır.



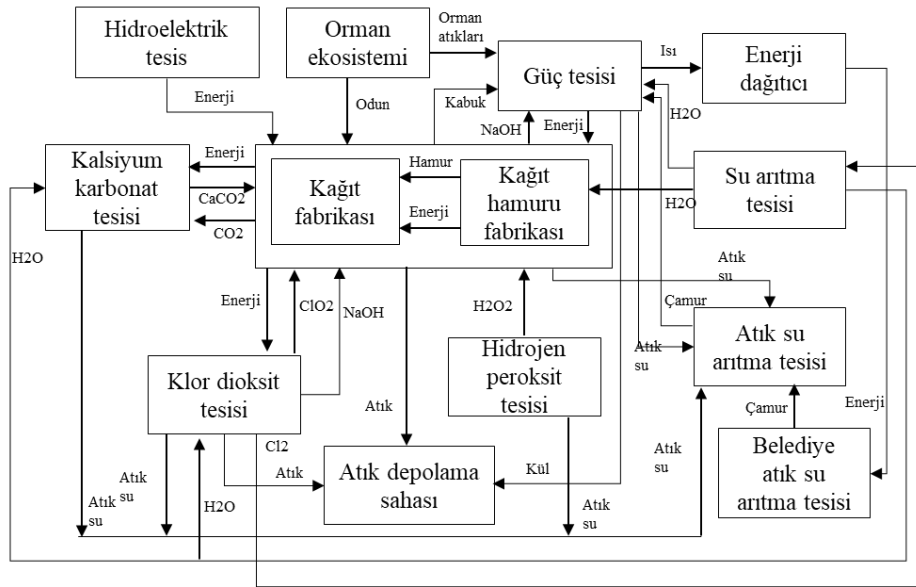
Şekil 8. Çin'deki Guitang ES ağı akışları (Zhu vd., 2007)

Karlsson ve Wolf (2008) ise İsveç'te bir kağıt üretim tesisi, bir kereste fabrikası, bir biyoyakıt tesisi ve bölgesel ısıtma tesisini içeren bir ES ağı tasarlamıştır. İşletmeler arasındaki yan ürün, atık ve enerji akışları Şekil 9'da görülmektedir. Bu işletmeler arasındaki akışlar karma tamsayılı bir matematiksel model ile değerlendirilmiş ve MIND adlı paket programı ile çözülmüştür. Bu çalışmanın sonuçları bağımsız çalışan işletmelerin ES ağına dahil olmasıyla işletmeler için ekonomik kazanımların mümkün olduğunu göstermiştir.



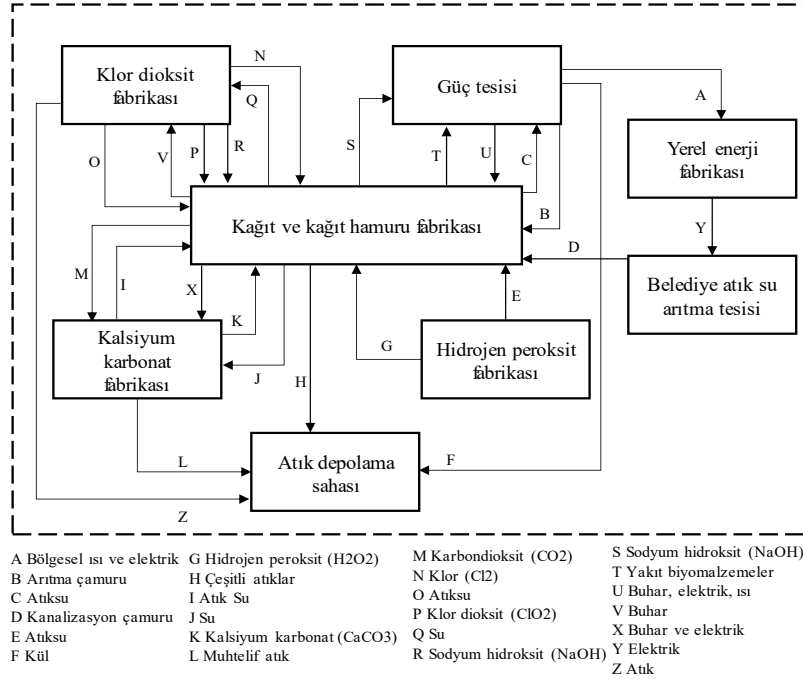
Şekil 9. İsveç'te bulunan bir ES ağındaki akışlar (Karlsson ve Wolf, 2008)

Şimdiye kadar sunulan ES ağları genelde odun, odun yan ürünleri, su ve enerji simbiyozuna odaklanmıştır. Pakarinen vd. (2010) ise Finlandiya'da Kymi şirketi bünyesinde bulunan kağıt ve kağıt hamuru tesisi etrafında oluşan çoğunlukla kimyasal yan ürünlerin simbiyozunu incelemiştir. Şekil 10'da görüleceği üzere ağda odun atıklarının yanında, CaCO_2 , ClCO_2 , H_2O_2 gibi kimyasalların simbiyozu söz konusudur. Bu ağda karbon emisyonunun azalmasını teşvik eden simbiyoz ağının kurulması değil hükümetin çevre mevzuatı düzenlemeleri olmuştur. Bu simbiyoz ağının kurulmasının temel amacı ise ağdaki işletmelerin ekonomik kazanımlarını arttırmaktır. Buna rağmen kurulan ağ sayesinde dolaylı olarak çevresel kazanımlar da sağlanmıştır.



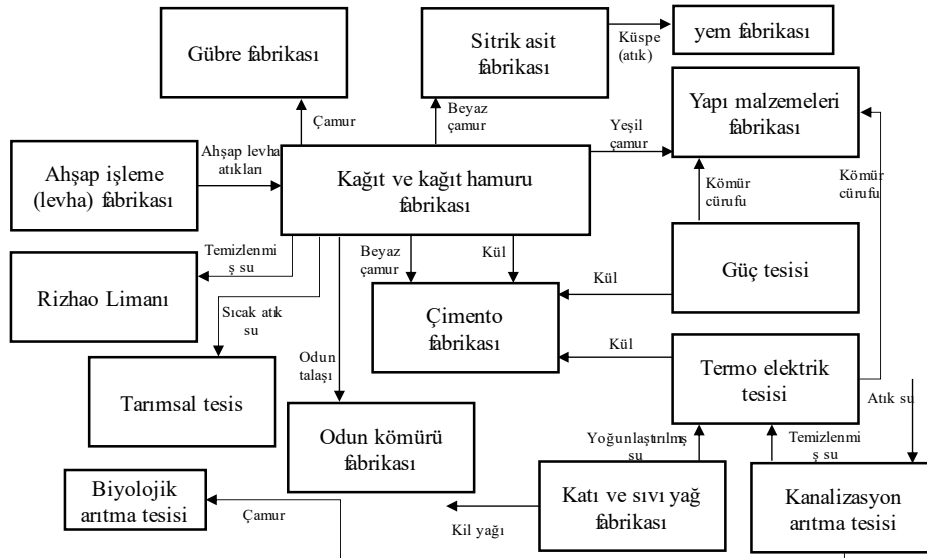
Şekil 10. Finlandiya'da bulunan Kymi parkındaki akışlar (Pakarinen vd. 2010)

Şekil 10 Kymi şirketinin bünyesinde 2010 yılındaki akışları gösterirken; Şekil 11, 2011 yılındaki akışlar göstermektedir. Bu iki yapı arasındaki temel fark Sokka vd., (2011a; 2011b)'e göre Şekil 11'de görüldüğü gibi odun ve atıklarının artık ağda paylaşılmasıdır. Bu ağda Finlandiya'daki Kymi EEP'de entegre kâğıt ve kağıt hamuru tesisi ile, bu tesisle işbirliği içinde çalışan ve tamamen kimyasal ürün üreten üç kimya tesisi bulunmaktadır. Ayrıca enerji üretim tesisi, su arıtma tesisi ve atık depolama alanı gibi tesisler de bulunmaktadır. İşletmelerin bu ES ağına dahil olmasıyla enerji ve malzeme verimliliğinin arttığı buna ek olarak emisyonların azaldığı görülmüştür.



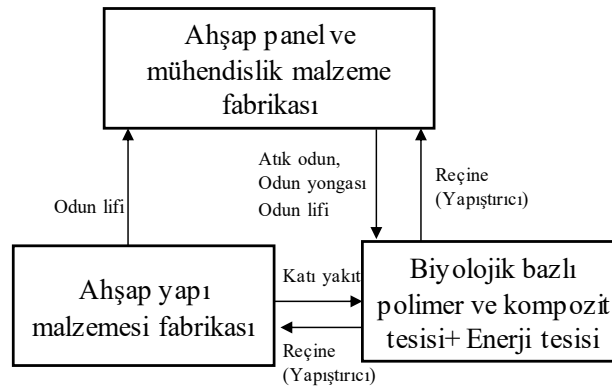
Şekil 11. Finlandiya Kymi parkındaki akışların son hali (Sokka vd., 2011a)

Yu vd. (2015a, 2015b) ise Çin'de kurulan REDA parkını incelemiştir. Şekil 12'de akışı verilen REDA parkı Şekil 10 ve 11'de verilen Kymi parkına benzer şekilde kağıt fabrikası etrafındaki tesislerin arasında kurulan bir ES ağıdır. Bu ağda tahıl yağı ve gıda, makine, kağıt hamuru ve kağıt, tekstil içeren 31 işletme arasında kurulan simbiyoz ağı sayesinde bu ağa hazır giyim, şarap rafinasyonu ve biyokimyasal endüstriler de katılmıştır. Devlet destekli bu ES ağına işletmelere sağlanan ekonomik teşvikler (vergi, malzeme fiyatı indirimleri, vb.), işletmelerin ES ağına katılmalarında itici bir güç olmuştur.



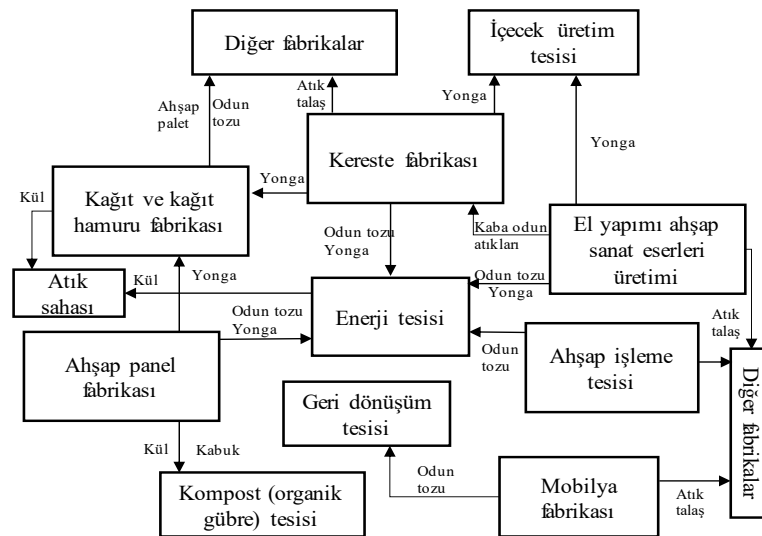
Şekil 12. Çin REDA parkındaki ES ağı (Yu vd., 2015a)

Diğer bir çalışmada ise Hildebrandt vd., (2018) Alman hükümeti tarafından biyoekonomi bölgeleri için sağlanan stratejik finansal desteklerle kurulan pilot bir ES ağını incelemiştir. Şekil 13'de görülebilen bu ağda sadece odun ve atıklarının simbiyozunun yapıldığı görülmektedir. Bu ağı değerlendirmek için YDA kullanılmıştır. Sonuçlar, doğal kaynak kullanan endüstrilerin bulunduğu bu ağdaki işletmelerin fosil kaynak kullanan işletmelere oranla daha iyi performans gösterdiğini ve çevresel etkilerin %130'a kadar azaltıldığını göstermiştir.



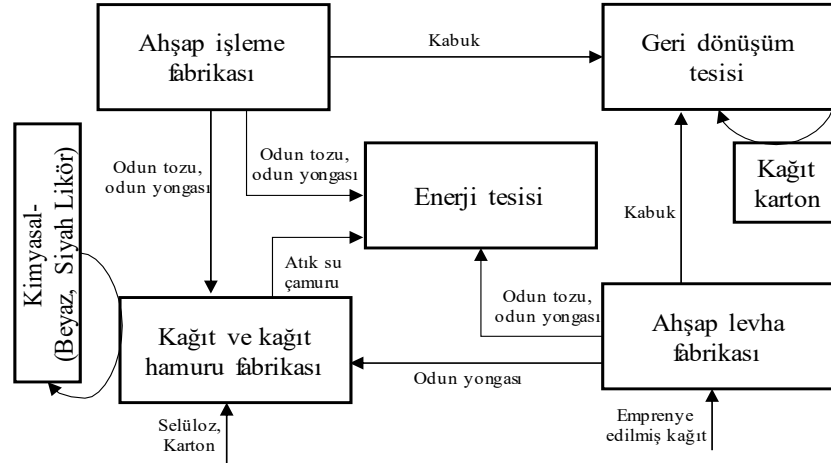
Şekil 13. Almanya'daki ahşap malzeme temelli ES ağı (Hildebrandt vd., 2018)

Şekil 14'de ise sadece orman endüstri fabrikaları ve tesisleri kurulan diğer bir ağ görülmektedir. Ağ Brezilya'nın güneyindeki Lages bölgesinde kurulmuştur. Şimdiye kadar incelediğimiz ağlardan farklı olarak bir mobilya fabrikası da bu ağa dahil edilmiştir. Bu ağ Wahrlich ve Simioni (2019) tarafından incelenmiştir. Çalışmanın amacı orman ürünleri sektöründe ES seviyesini belirleyerek (düşük veya yüksek), katılımcılar için ES'nin faydalarını belirlemek ve bu ağın nasıl ekosisteme dönüşeceğini tartışmaktır.



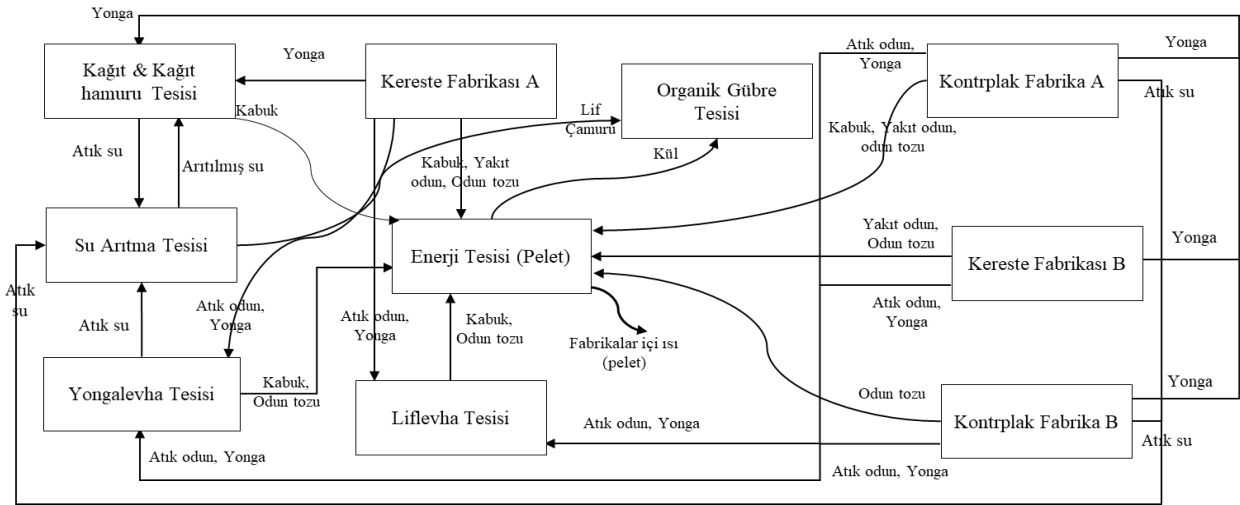
Şekil 14. Brezilya'da bulunan Lages bölgesindeki ağ (Wahrlich ve Simioni, 2019)

Da Silva vd. (2020) ise Şekil 14'de Wahrlich ve Simioni (2019) tarafından önerilen orman ürünleri temelli ES ağını genişletmiş ve orman endüstrisinde hammadde kullanımını ve atık oluşumunu azaltmayı teşvik eden bir Döngüsel Ekonomi modeli önermiştir. Şekil 15'te bu ağ görülmektedir. Ahşap işlem fabrikası, kâğıt tesisi, enerji tesisi ve geri dönüşüm tesisi bulunan bu ağda hammadde kullanımını %83, enerjiye dönüşümü %91 oranında olmuştur. Parkta tüketilen enerjinin %83'ü ise atıklardan elde edilmiştir.



Şekil 15. Brezilya'da bulunan Lages orman endüstrisi temelli ağ (da Silva vd., 2020)

Yeşilkaya vd. (2020) ise orman ürünleri temelli teorik bir ES ağı tasarlamıştır. Bir EEP'de yer alan işletmeleri bünyesinde bulunduracak bu ağdaki akışlar Şekil 16'da verilmiştir. Bu park tasarlanırken ağdaki işletmeler arasındaki yan ürün, atık, enerji vb. akışların belirlenmesi için YDA analizi kullanılmış sonrasında ise tesislerin parktaki konumlarının belirlenmesi için ALDEP algoritması kullanılmıştır. Tasarlanan ağda kereste, kontrplak, yonga levha, lif levha, kağıt ve pelet tesisleri gibi işletmelerin yanı sıra su arıtma tesisi ve organik gübre tesisleri de bulunmaktadır. Bu ağı analiz etmek için çok amaçlı ve çok periyotlu bir matematiksel model kullanılmıştır. Sonuç olarak ağda yaklaşık 400 bin ton yan ürün değişimi, yaklaşık 60 bin ton akaryakıt tasarrufu ve 220 bin tondan fazla temiz su tasarrufu sağlanabileceği görülmüştür. Ayrıca kül ve lif çamuru gibi atıklar bertaraf edilmek yerine organik gübre üretimi için kullanılmıştır.



Şekil 16. Orman endüstrisi temelli EEP (Yeşilkaya vd., 2020)

Literatürde orman endüstrisi özelinde yapılmış ES ve EEP çalışmaları bir bütün olarak incelendiğinde ağda; ahşap işleyen, kimyasal üreten veya tüketen, enerji üreten ve atık depolayan veya dönüştüren tesisler olduğu görülmüştür. Dolayısıyla, ES ağları oluşturulurken veya tasarlanırken bu tesisler arasındaki etkileşimden faydalanılabilir. Bu tesisler;

- I. Ahşap işleyen üretim tesisleri
 - a. Kereste Fabrikası
 - b. Ahşap levha (Yonga levha, Lif levha, diğer mühendislik levhalar) tesisi
 - c. Kontrplak Fabrikası
- II. Kimyasal üreten veya kimyasal hammadde kullanan tesisler
 - a. Kağıt ve kağıt hamuru tesisi
 - b. Kalsiyum karbonat tesisi

- c. Klor dioksit tesisi
- d. Üre ve Fenol Formaldehit Tesisi
- e. Kimyasal geri dönüşüm tesisi
- f. Çimento fabrikası
- III. Enerji üreten tesisler
 - a. Pelet tesisi
 - b. Biyoyakıt tesisi
 - c. Enerji Santrali
 - d. Bölgesel (Konut vb.) enerji
- IV. Atık depolayan veya geri dönüştüren tesisler
 - a. Atık depolama Sahası
 - b. Atık su arıtma tesisi
 - c. Organik gübre tesisi

Literatürdeki bu çıkarımlar dikkate alınarak kereste, kontrplak, yonga levha, lif levha, kâğıt ve kâğıt hamuru, gibi birkaç tesislerin yer aldığı sanayi bölgelerinde ES ağları tasarlanabilir. Bu ağlarda üretim sürecinde ortaya çıkan, atık su, enerji, odun yongası, atık odun ve kabuk farklı tesislerde tekrar kullanılabilir.

4. ES Uygulamaları İçin Türkiye Orman Ürünleri Sektörü SWOT Analizi

SWOT analizi teorisi yaklaşık yarım asır önce Learned, vd., (1969) tarafından öne sürülmüştür. Stratejik analiz için etkin bir araç olarak kullanılan SWOT analizi ile ele alınan bir yapı veya durumun güçlü yanları (strengths) ve zayıf yanları (weaknesses) ile fırsatlar (opportunities) ve tehditler (threats) belirlenebilir. Bu bölümde yukarıdaki tartışmalar ışığında Türk orman ürünleri sektöründe ES uygulamalarının yapılabilirliğini analiz etmek için yapılan SWOT analizi sunulmuştur.

FAO, (2020)'e göre Dünya'daki orman ürünleri endüstrisi yaklaşık 600 milyar \$ ekonomik büyüklüğe sahip olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca sektördeki istihdam doğrudan veya dolaylı olarak yaklaşık 1,2 milyar civarındadır. Geçtiğimiz yıl küresel orman endüstrisi yatırımları ise 15 milyar \$ civarında olurken sektörün ihracatı toplam 130 milyar \$ seviyesindedir. Sektörde ilk sırada yer alan ülkeler ise; Çin, Kanada, Almanya, Rusya, ABD ve Avusturya gibi gelişmiş ülkelerdir (ITC, 2020). Dünya genelinde orman varlığı yüksek bu ülkelerin orman ürünleri endüstrisinde de ilk sıralarda yer almaları bir tesadüf değildir.

Türkiye'de ise orman endüstrisinin büyüklüğü yaklaşık 27 milyar dolar değerindedir ve sektörde yaklaşık 1 milyon kişiye istihdam imkânı sağlanmaktadır (OGM, 2020). Türkiye'nin yıllık odun üretimi 26 milyon m³, tüketimi ise 33 milyon m³'den fazla olup, tüketilen odunun yaklaşık %75'i endüstriyel odun, geri kalanı ise yakacak odun niteliğindedir (OGM, 2020). Türkiye'de endüstriyel odun tüketiminde ilk sırada liflevha ve yongalevha endüstrisi gelmektedir. Bu alt sektörlerin dışında diğer ahşap levha üretimi, kereste endüstrisi ve mobilya endüstrileri de endüstriyel odun tüketmektedir.

Türkiye'de orman ürünleri endüstrisinde faaliyet gösteren işletmelerden en büyük 500 sanayi kuruluşu içerisinde yer alan 10 işletme bulunması Türkiye'deki orman ürünleri endüstrisinin ekonomik önemini göstermektedir (ISO, 2020). Bu işletmelerin birçoğu Dünya standartlarında üretim yapan büyük ölçekli ahşap levha üreticileridir. Türkiye Ahşap Levha Üreticileri Derneği (2020) verilerine göre, Türkiye ahşap levha üretiminin sektör büyüklüğü 10 milyar \$'dır. Sektördeki yıllık ihracatı 3 milyar \$ seviyesindedir. Yılda yaklaşık 500 bin kişiye istihdam sağlayan sektör ülke ekonomisine de önemli katkılar sağlamaktadır. Türkiye toplam ahşap levha üretiminde yaklaşık 14 milyon m³ ile Dünya'da önemli ülkelerden biridir (FAO, 2020). Ayrıca liflevha üretiminde 4,8 milyon m³ ile Avrupa'da ilk sırada, Dünya'da ise Çin ve Brezilya'dan sonra üçüncü sırada bulunmaktadır. Yongalevha üretiminde ise 4,4 milyon m³ ile Avrupa'da 4. Dünya'da ise 5. sırada bulunmaktadır (FAO, 2020).

Türkiye kâğıt ve selüloz üretimine Cumhuriyetin ilk yıllarında SEKA (Türkiye Selüloz ve Kağıt Fabrikaları A.Ş.) ile başlamıştır. Fakat SEKA'lar özelleştirilmiş ve daha sonraki yıllarda bu fabrikaların faaliyetlerine son vermiştir. Şu an sadece eski bir SEKA tesisi olan Zonguldak/ Çaycuma kâğıt fabrikasında odundan selüloz üretimi gerçekleştirilmektedir. Ancak sektörde yeterli selüloz üretim tesisinin olmaması sektörü dışa bağımlı kılmıştır. Son 5 yıldaki selüloz ithalatı her yıl yaklaşık 1 milyar \$ civarındadır. Son 5 yıldaki kâğıt ve kâğıt ürünleri ithalatı ise her yıl yaklaşık 2,5 milyar \$ civarındadır (ITC, 2021). Türkiye'de karton ve oluklu mukavva üretimi de yapılmakta ve bu sektörün ana hammaddesinin yaklaşık %45'i atık kâğıtların geri dönüşü ile karşılanmaktadır. Türkiye'de lif ve yonga levha tesislerinin kapasitelerinin yüksek olması orman endüstrisinde dengesiz bir hammadde kullanımına yol açmıştır. Bu kapsamda endüstriyel odunun büyük bir kısmı ahşap levha endüstrisi için

kullanıldığından selüloz üretimi için yeterli yerli hammadde mevcut değildir. Selüloz üretimindeki diğer bir sorun ise selüloz üretim sürecinin çok maliyetli olmasıdır. Selüloz üretiminde dışa bağımlılığın azaltılması için endüstriyel ormancılık faaliyetlerinin yapılması gerekmektedir. Bu kapsamda selüloz elde etme sürecinin etkinliğinin artırılması için hem sektöre uygun ileri teknolojilerin geliştirilmesi desteklenmeli hem de süreçte kimyasal kullanımının azaltılmasını sağlayacak Ar-Ge çalışmalarına hız verilmelidir.

Sınırlı orman kaynaklarını verimli bir şekilde kullanmak ve geri dönüşümü iyileştirmek toplumun genel çıkarıdır (Long vd., 2018). Katma değeri yüksek ürünlerin üretilebildiği bu sektör, Yeşil Dönüşüm ve Döngüsel Ekonomi dinamiklerinin tam merkezinde konumlanmaktadır. AB tarafından yayınlanan Döngüsel Ekonomi Eylem Planında da orman endüstrisinin öncelikli sektörler arasında yer aldığı görülmüştür (Ticaret Bakanlığı, 2021).

Türkiye'deki ilk ES projesi, 2010 yılında başlatılan İskenderun Körfezi ES Projesi'dir. Bu kapsamda işletmeler arası bir ES ağı geliştirilmiştir. 28 sektörden ve çoğunlukla Adana, Mersin, Osmaniye ve Hatay'da faaliyet gösteren 32 işletme sisteme dahil edilmiştir. Proje sonunda yılda 330 bin ton katı atık kazanımı, 34 milyon kWh enerji üretimi / tasarrufu ve buna bağlı 37 bin ton CO₂ azaltımı ve 6.500 m³ su tasarrufu sağlanmıştır. Buna ek olarak 21 kişilik yeni istihdam, 10 adet yeni ürün ve 6 adet yeni girişim ile sosyal faydalar da sağlanmıştır. Bu sayede projeye katılan işletmelere toplam 6,4 milyon \$ ekonomik fayda sağlayacağı ortaya konulmuştur (Alkaya vd., 2012).

İskenderun ES projesinin yürütülmesini sağlayan TTGV ve bölgesel Kalkınma Ajansları Gaziantep, Antalya, Trakya Bölgesi (Edirne, Tekirdağ, Kırklareli) ve Bursa, Eskişehir ve Bilecik illerinde ES projeleri başlatılmış ve fizibilite çalışmaları yapılmıştır. Trakya Bölgesinde ise ES olanakları ve sektör bazlı atık miktarları belirlenmiştir. Bu ulusal çalışmalara ek olarak, Türkiye Avrupa Komisyonu destekli Karadeniz Havzası için ES Projesi (SYMNET, 2019) ve Avrupa Birliği destekli sürdürülebilir yapılar için ES projesine (FISSAC, 2019) dahil olmuştur.

Bu noktadan hareketle, Türkiye orman ürünleri sektörü güncel gelişmeler ve küresel eğilimler ışığında incelenmiş ve sektörün bir SWOT analizi gerçekleştirilmiştir. Zaman içerisinde değişen piyasa koşullarından ve teknolojik gelişmelerden etkilenen bu sektörde, Yeşil Dönüşüm ve Döngüsel Ekonomi kapsamında nelerin yapılabileceğini, tehditlerin nasıl bertaraf edilebileceği ve fırsatların neler olduğu üzerine yapılan bu çalışmayı politika yapımcıların kullanımına sunmak amaçlanmıştır.

Güçlü Yönleri

- 1) Odun hammaddesi katma değerli ürüne dönüştürülmesi sürecinde iki bin kat değer kazanabilmektedir.
- 2) Odun hammaddesi ve işlenmesinden elde edilen yan ürünlerin (odun yongası, testere tozu vb.) 6000'den fazla kullanım alanı vardır (URL, 2019).
- 3) Orman ürünleri sektörü Yeşil Dönüşüm ve Döngüsel Ekonomi çalışmalarının merkezinde konumlanmıştır.
- 4) Orman ürünleri endüstrisi bünyesindeki lif-yonga levha üretiminde Türkiye, Dünya'da söz sahibi konumundadır (TOBB, 2015).
- 5) Türkiye'de orman ürünleri endüstrisinde faaliyet gösteren işletmelerden 10'u en büyük 500 sanayi kuruluşu içerisinde yer almaktadır (ISO, 500). Bu durum orman ürünleri endüstrisinin ülke ekonomisine katkısının büyüklüğünü göstermektedir.
- 6) Yakın coğrafyadaki ülkelere kıyasla sektördeki üretim teknolojisi iyi durumdadır.
- 7) Yükseköğretimde Ormancılık eğitimi köklü bir geçmişe sahiptir. Dolayısıyla sektörün ihtiyacı olan nitelikli insan gücü ihtiyacı karşılanabilmektedir.
- 8) Kısa vadede hammadde arzında bir problem beklenmemektedir (Kalkınma Bakanlığı, 2018). Çünkü Rusya gibi önemli bir hammadde tedarikçisine yakın olmak önemli bir avantajdır.

Zayıf Yönleri

- 1) Mobilya sektörü çoğunlukla atölye tipi küçük işletmelerden oluşmakta, ileri teknoloji ve standardizasyondan uzak üretim gerçekleştirilmektedir. Ölçek ekonomisinden faydalanmayan bu işletmelerin EEP'lerde yer almaları ve simbiyotik ilişkiler kurmaları mümkün gözükmemektedir. Genelde ES gibi çevre yönetim modellerini daha çok kurumsal işletmeler uygulamaya geçirmektedir.
- 2) Kâğıdın hammaddesi olan ve doğrudan odun hammaddesinden elde edilen selülozun (kâğıt hamuru) Türkiye'de tek bir üretim tesisi vardır. Dolayısıyla selülozda neredeyse tamamen, kâğıtta ise büyük oranda ithalata dayalı bir üretim sektörün zayıf yönlerindedir. Ayrıca Dünya'daki ES uygulamalarında simbiyoz ağına dahil olan selüloz fabrikalarının yok denecek kadar az olması Türkiye'de orman ürünleri endüstrisi temelli simbiyoz ağlarının oluşturulmasını güçleştirmektedir.

- 3) Sektörün ihtiyacına uygun hammadde arzını sağlayacak endüstriyel orman plantasyonlarının yeterli seviyede olmaması ve bununla birlikte odun hammaddesi üretiminde az da olsa arz açığı bulunması sektörün zayıf yönlerindedir.
- 4) Türkiye’de üretilen odun hammaddesinin %58,2’si lif-yonga levha üretimi için gerekli olan sınıftadır (URL, 2019). Endüstriyel bakımdan en düşük değerdeki bu hammadde mobilya ve masif ahşap sektörlerinin kaliteli ve uygun fiyatlı kereste ihtiyacını karşılayamamaktadır. Bu faktör her ne kadar Döngüsel Ekonomi düşüncesi için önemsiz gibi gözükse de kereste gibi yarı mamul ithalatını artırdığı için dolaylı olarak etkilemektedir.
- 5) Sektörde oluşan atık, yan ürün, atık enerji gibi ES için sinerji oluşturacak ürünlerin sınıflandırılmasının net olarak yapılamaması Döngüsel Ekonomiye ilişkin faaliyetlerin katkısının belirlenmesini güçleştirmektedir.
- 6) Türkiye’de sanayi kuruluşlarının ES konusundaki çalışmaları neredeyse yok denecek kadar azdır. Farkındalık olmasına rağmen birçok işletmenin bu ağlara katılım konusundaki çabaları yeterli seviyede değildir.

Fırsatları

- 1) Orman Endüstrisinin, hammadde olarak yenilenebilir ve organik kaynakları tüketmesinden ötürü ve bunun yanında Ormancılığın, 6831 sayılı Orman Kanunu ile amenajman kurallarına göre yürütülmesinin -yani sürdürülebilir olmasının- yasalarla garanti altına alınmış olması nedeniyle bu sektör Döngüsel Ekonomi’den diğer sektörlerle oranla daha fazla yer bulabilir.
- 2) Türkiye ile ticaret hacminin 2020’de 140 Milyar \$ seviyesine eriştiği Avrupa Birliğinin, 11 Mart 2020’de yayınladığı Döngüsel Ekonomi Eylem Planında Orman Ürünleri sektörünün ambalaj ve yapı malzemeleri üretimi ile öncelikli sektörler arasında yer alması bu sektörü Türkiye için de öncelikli bir sektör konumuna getirmektedir (Ticaret Bakanlığı, 2021).
- 3) Pandemi sonrası Yeşil Dönüşüm ve verimliliğe olan küresel ölçekteki eğilim ve giderek bu konuda artan farkındalık ülkelerin Döngüsel Dkonomiye geçme çabalarını hızlandırmıştır. Bu kapsamda Orman endüstrisi gibi doğal kaynakları tüketen sektörlerin ES uygulamalarını destekleyecek mekanizmaların oluşturulması gerekmektedir.
- 4) Türkiye’nin Paris Anlaşması’nı onaylamasından sonra yeşil ekonomiyi destekleyecek çalışmaların hız kazanması beklenmektedir. Bu anlamda Yeşil OSB Sertifikasyon sistemi mevzuatının 2022’nin son çeyreğinde şekillenecek olması da işletmelerin bu konudaki farkındalıklarını ve isteklerini artırmak için önemli bir fırsattır.
- 5) Türkiye’nin girişimleri ile iklim değişikliği ile mücadele ve sürdürülebilir kalkınma planları için “sıfır atık” kararı Birleşmiş Milletler Genel Kurulu’nda onay almıştır. Bu karar işletmelerin Döngüsel Ekonomiye geçiş düşüncesi ve yeni ES projeleri için önemli rol oynayacağı açıktır.
- 6) Sektördeki atık ve yan ürünlerinin kullanılarak fosil yakıtlara alternatif olacak ahşap bazlı yakıt oluşturulabilmesi durumunda (Yeşil Altın), hem katma değeri yüksek hem de enerji arzı sorununa destek olacak bir ürün elde edilecektir.
- 7) Enerji maliyetlerinin yüksekliğiyle ilgili olarak, orman ürünleri sektörünün de dahil olduğu ES ağlarında yer alan işletmeler arasında atık enerji ve su buharının yeniden kullanımı yüksek enerji maliyetlerini önleyebilir. Bu durumun ES ağlarına olan ilgiyi artıracığı düşünülmektedir.

Tehditleri

- 1) Döngüsel Ekonomi kapsamında, ES’nin mümkün olacağı yeşil parklar ya da EEP’lerin hayata geçirilmesinde somut politikalar oluşturulamamıştır dolayısıyla konuyla ilgili mevzuat ve yönetmelikler bulunmamaktadır (NISP, 2019). Bu durum simbiyozun işletmeler arasında uygulanabilirliğini olumsuz etkilemektedir.
- 2) Yeterli odun hammaddesi arzına karşın ithalatın artmasında, yüksek fiyat ve düşük kalite gibi faktörleri etkili olmaktadır. Bu nedenle birçok yerli yatırımcı Balkan ülkelerinde odun hammaddesi yatırımı ve üretimi yapmaya yönelmiştir (TOBB, 2015). Bu durum hem sektörde küçülmeye neden olmakta hem de sektörden elde edilen yan ürün ve atıkların ES kapsamında kullanımını güçleştirmektedir.
- 3) Türkiye’de selüloz üretiminin stratejik bir konu olarak ele alınması durumunda, aynı cins ve kalitede odun hammaddesi tüketen lif-yonga levha sektörüyle tedarik rekabetinin doğmasına neden olacaktır. Sektörün bu konuda bir planı veya stratejisi bulunmamaktadır.
- 4) Türkiye ormanlarının çoğunluğu birinci ve ikinci derece yangına hassas ormanlardan oluşmakta ki bu durum yaz aylarında orman yangınları riskini arttırmaktadır. Bu durum sektörün hammadde arzını olumsuz etkilemektedir.
- 5) Dış ticaretimizin bulunduğu önemli komşu ülkelerin birtakım siyasi karışıklık ve belirsizlik içerisinde olması sektördeki firmaları iktisadi bakımdan olumsuz etkileyebilmektedir (ASO, 2017).

Yukarıdaki tartışmadan da görülebileceği gibi Türk orman ürünleri sektörünün güçlü ve zayıf yönleri ile barındırdığı fırsatlar ve karşılaşılabileceği tehditler nispeten dengelidir. Sektörel sorun ve riskler birer fırsat olarak

algılanarak uzun vadeli planlamalarla bu riskler yönetilmelidir. Döngüsel Ekonomi kapsamında elde edilecek faydalar bütüncül bir şekilde ele alınıp, başta orman ürünleri endüstrisi gibi doğal kaynakları tüketen sektörler olmak üzere ülke ekonomisini olumlu yönde destekleyecek sanayi politikaları geliştirilmelidir. Bu destekler sadece ekonomik kazanımlar sağlanmasına değil Döngüsel Ekonomi ile sağlanacak çevresel ve sosyal faydalara da odaklanmalıdır. Bu kapsamda sürece destek olacak çevresel mevzuat ve istihdama yönelik teşvik mekanizmalarının da oluşturulması gerekmektedir.

5. Sonuçlar

Dünya'daki ES uygulamaların gelişmesinde etkili olan faktörlerin en başında ülkelerin çevreci politikaları ve ekonomik teşvik ve destekleri gelmektedir. Birçok ülkede ES'yi destekleyen EEP'lerde faaliyet gösteren işletmelere atık paylaşımında vergi muafiyeti, girdi ve enerji fiyatlarında indirim gibi teşvikler sağlanmaktadır. Örneğin, atık su kullanan işletmelere temiz su indirimli satılmaktadır. Karlılığının azalmayacağını veya ES ağlarına katılınca farklı teşviklerden yararlanacağını bilmenin işletmeleri bu ağlara katılım konusunda isteginin artacağı aşıkardır. Öte yandan, bu ağlar sadece çevresel ve ekonomik kazanımlar değil sosyal faydalar da sağlamaktadırlar.

2021 yılında çevrenin korunması ve iklim değişikliği ile mücadele için Paris Anlaşması Türkiye'de yürürlüğe girmiştir. Ayrıca, Türkiye'nin sürdürülebilir kalkınma hedefleri için "sıfır atık" kararı Aralık 2022 tarihinde Birleşmiş Milletler Genel Kurulu'nda kabul edilmiştir. Hem sıfır atık kararı hem de Paris Anlaşması Döngüsel Ekonomiye dönüş için yeni çevreci projeleri teşvik edeceği açıktır. Yasal düzenlemeler yoluyla sektörel veya sektörler-arası ES uygulamalarına işletmelerin teşvik edilmesinde ve işletmeler arasındaki koordinasyonun sağlanmasında devletlerin rolü aşıkardır.

Türkiye orman endüstrisi Döngüsel Ekonomi ve ES anlamında genel olarak değerlendirildiğinde, sektörde büyük çaplı entegre üretim tesisleri olmasına rağmen bahsedilen simbiyotik ağlar yok denecek kadar azdır. Halbuki orman endüstrisindeki sanayi tesislerinde bu simbiyotik ağı kuracak birçok atık ve yan ürün ve sinerji mevcuttur. Yasal düzenlemeler ve teşvikler Döngüsel Ekonomiye dönüş için en önemli adımların başında gelmektedir. Dünya'da uygulanmakta olan veya uygulanmış ES projesinin kamu destekli teşviklerle ortaya çıktığı bilinmektedir. Ancak, bu kapsamda geliştirilen hangi politikaların iyi sonuç verdiği net olarak ortaya konulmamıştır. Bu anlamda daha kapsamlı çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Türkiye orman endüstrisi özelinde, Çevre ve Sanayi Bakanlıkları gibi ilgili devlet kurumlarının somut teşviği ve desteği ile büyük çaplı entegre üretim yapan ahşap levha işletmeleri ile üretimin çevresel etkilerini azaltacak projelerin başlatılması mümkün görünmektedir. Bu tip projeler sadece bir sektörü değil, Bölüm 3'deki örneklerde de görüldüğü üzere Tarım, Kimya, Çimento, Enerji üretimi gibi birçok sektörü doğrudan etkilemektedir.

Sonuç olarak, Türkiye'de ES kapsamında bazı çalışmalar yapılmış olmasına rağmen özellikle Avrupa ülkelerine kıyasla çok az uygulama mevcuttur. Bu kapsamda işletmeler Döngüsel Ekonomi ve faydaları konusunda bilinçlendirilmelidirler. İşletmeler bu süreçte somut destekler ve düzenlemelerle ES ağlarına özendirilmeli bu konuda ihtiyaç duyulan yasal mevzuat ve yönetmelikler hazırlanmalıdır. Son yıllarda uluslararası düzeyde imzalanan çevre anlaşmaları ise ülkemizin Döngüsel Ekonomiye geçiş süreci adına umut vericidir.

Araştırmacıların Katkısı

Araştırmanın yazarları araştırmanın tüm süreçlerine eşit derecede katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Alkaya, E., Böğürücü, M., Ulutaş, F., & Demirer, G. N. (2012, June). A new approach to industrial waste recycling in Turkey: Industrial symbiosis in Iskenderun Bay. In International Conference on Recycling and Reuse (pp. 4-6), Boğaziçi and İstanbul University, 4 - 6 June, 2012, İstanbul, Turkey.
- ASO, (2017) Orman Ürünleri Sektörünün Türkiye ve Dünyadaki Genel Durumu, *Ankara Sanayi Odası (ASO)*, 2017, Ankara. Erişim adresi: <https://www.aso.org.tr/wp-content/uploads/2017/09/7.pdf>
- Ayres, R. U. (1989). Industrial metabolism, *Technology and Environment*, 1, 23-49. Retrieved from: <https://nap.nationalacademies.org/catalog/1407/technology-and-environment>
- Carlsson, D., and Rönnqvist, M. (2005). "Supply chain management in forestry—case studies at Södra Cell AB." *European J. of Operational Research*, 163(3), 589-616. doi : <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.02.001>
- Cecelja, F., Raafat, T., Trokanas, N., Innes, S., Smith, M., Yang, A., Zorogios, Y., Korkofygas, A., Kokossis, A., (2014), e-Symbiosis: technology-enabled support for industrial symbiosis targeting small and medium enterprises and innovation. *J. Clean. Prod.* 98, 336–352. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.08.051>
- Chertow, M. R. (2000). Industrial symbiosis: literature and taxonomy. *Annual Review of Energy and the Environment*, 25(1), 313-337. doi: <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.25.1.313>
- Çalik, A. (2021). Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Yeşil Tedarik Zincirindeki Risklerin Karşılaştırılması. *Journal of Turkish Operations Management*, 5(2), 822-838. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1635196>
- da Silva, F. A., Simioni, F. J., and Hoff, D. N. (2020). Diagnosis of circular economy in the forest sector in southern Brazil. *Science of the Total Environment*, 706, 135973. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135973>
- D'amours, S., Rönnqvist, M., and Weintraub, A. (2008). Using operational research for supply chain planning in the forest products industry. *INFOR*, 46(4), 265-281. doi: <https://doi.org/10.3138/infor.46.4.265>
- Das, G. S., Yesilkaya, M., Altinkaynak, B., and Birgoren, B. (2021, October). Modeling an Industrial Symbiosis Network using Bilevel Programming. In *2021 62nd International Scientific Conference on Information Technology and Management Science of Riga Technical University (ITMS)* (pp. 1-6). IEEE. doi: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9615312>
- Dunn, B. C., and Steinemann, A. (1998). Industrial ecology for sustainable communities. *Journal of Environmental Planning and management*, 41(6), 661-672. Doi: <https://doi.org/10.1080/09640569811353>
- EEA (2016) European Environment Agency: Waste: a problem or a resource. Retrieved from: <http://www.eea.europa.eu/signals/signals-2014/articles/waste-a-problem-or-a-resource> . Accessed Mar 2016
- EPA (2014), U.S. Environmental Protection Agency, Municipal Solid Waste Generation, Recycling, and Disposal in the United States: Facts and Figures for 2011, 2014, Retrieved from: <http://www.epa.gov/osw/nonhaz/municipal/pubs/msw2009-fs.pdf>
- European Commission (2016) Circular Economy Package: Questions and Answers. Guidance Document. Retrieved from: http://europa.eu/rapid/pressrelease_MEMO-15-6204_en.htm. Accessed 15 May 2016
- EUROSTAT, (2014) European Statistical Office, Municipal waste statistics, Retrieved from: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Municipal_waste_statistics
- FAO (1982) Classification and definitions of forest product. Technical report, *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)*. Supplement 14 to Volume XXXIV of the Timber Bulletin for Europe, Geneva, Switzerland., 1982.
- FAO (2020) Global Forest Resource Assessment, Forestry Production and Trade, Retrieved from: <http://www.fao.org/state-of-forests/en/>

- FISSAC (2019) Fostering Industrial Symbiosis for a Sustainable Resource Intensive Industry across the extended Construction Value Chain, Retrieved from: <https://fissacproject.eu/tr/proje/>
- Frosch, R. A., and Gallopoulos, N. E. (1989). Strategies for manufacturing. *Scien American*, 261(3), 144-153. Retrieved from: <https://www.jstor.org/stable/24987406>
- Grann, H. (1997). The industrial symbiosis at Kalundborg, The industrial green game. Implications for environmental design and management, 117-123. Retrieved from: <https://nap.nationalacademies.org/read/4982>
- Grimm, N. B., Foster, D., Groffman, P.,, and Peters, D. P. (2008). The changing landscape: ecosystem responses to urbanization and pollution across climatic and societal gradients. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6(5), 264-272. doi: <https://doi.org/10.1890/070147>
- Herczeg, G., Akkerman, R., and Hauschild, M. Z. (2018). Supply chain collaboration in industrial symbiosis networks. *Journal of Cleaner Production*, 171, 1058-1067. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.046>
- Hildebrandt, J., O'Keeffe, S., Bezama, A., and Thrän, D. (2019). Revealing the environmental advantages of industrial symbiosis in wood-based bioeconomy networks: an assessment from a life cycle perspective. *Journal of Industrial Ecology*, 23(4), 808-822. doi: <https://doi.org/10.1111/jiec.12818>
- Iacondini, A., Mencherini, U., Passarini, F., Vassura, I., Fanelli, A., Cibotti, P. (2015). Feasibility of industrial symbiosis in Italy as an opportunity for economic development: Critical success factor analysis, impact and constrains of the specific Italian regulations. *Waste and Biomass Valorization*, 6(5), 865-874. doi: <https://doi.org/10.1007/s12649-015-9380-5>
- Illsley, B., Jackson, T., and Lynch, B. (2007). Addressing Scottish rural fuel poverty through a regional industrial symbiosis strategy for the Scottish forest industries sector. *Geoforum*, 38(1), 21-32. doi: <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2006.02.005>
- ISO (2020) İstanbul Sanayi Odası (İSO), Türkiye'nin 500 Büyük Sanayi Kuruluşu, Erişim adresi: <https://www.iso500.org.tr/500-buyuk-sanayi-kurulusu/2020/> (Erişim: 20.05.2021)
- ITC (2020), International Trade Center (ITC), Trade Statistics for International Business Development. Erişim adresi: <http://www.trademap.org>
- Jackson, T. (2005). Exploring the economics of industrial ecology through case studies of industrial symbiosis in the forest industries of British Columbia and Scotland. *Progress in Industrial Ecology, An International Journal*, 2(2), 166-184. doi: <https://doi.org/10.1504/PIE.2005.007186>
- Jacobsen, N. B. (2006). Industrial symbiosis in Kalundborg, Denmark: a quantitative assessment of economic and environmental aspects. *J. Indus. Ecology*, 10(1-2), 239-255. doi: <https://doi.org/10.1162/108819806775545411>
- Jahan-Latibari, A., and Roohnia, M. (2010). Potential of utilization of the residues from poplar plantation for particleboard production in Iran. *Journal of Forestry Research*, 21(4), 503-508. doi: <https://doi.org/10.1007/s11676-010-0106-z>
- Kalkınma Bakanlığı, (2018) On Birinci Kalkınma Planı Ormanlık ve Orman Ürünleri Çalışma Grubu Raporu, T.C. Kalkınma Bakanlığı, 2018, Ankara. Erişim adresi: https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2020/04/Ormancilik_ve_Orman_UrunleriCalismaGrubuRaporu.pdf
- Karlsson, M., and Wolf, A. (2008). Using an optimization model to evaluate the economic benefits of industrial symbiosis in the forest industry. *Journal of Cleaner Production*, 16(14), 1536-1544. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.08.017>
- Kauppi, P. E., Sandström, V., and Lipponen, A. (2018). Forest resources of nations in relation to human well-being. *PloS one*, 13(5), e0196248. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196248>

- Kirchherr, J., Reike, D., and Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conser. & Recycling*, 127, 221-232. doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
- Kjeldsen, P., Barlaz, M. A., Rooker, A. P., Baun, A., Ledin, A., and Christensen, T. H. (2002). Present and long-term composition of MSW landfill leachate: a review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 32(4), 297-336. doi: <https://doi.org/10.1080/10643380290813462>
- Korhonen, J. (2000). Completing the industrial ecology cascade chain in the case of a paper industry–SME potential in industrial ecology. *Eco-Management and Auditing: J. of Corporate Environmental Management*, 7(1), 11-20. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-0925\(200003\)7:1<11::AID-EMA121>3.0.CO;2-C](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-0925(200003)7:1<11::AID-EMA121>3.0.CO;2-C)
- Korhonen, J., and Niutanen, V. (2003). Material and energy flows of a local forest industry system in Finland. *Sustainable Development*, 11(3), 121-132. doi: <https://doi.org/10.1002/sd.212>
- Korhonen, J., and Snäkin, J. P. (2003). Industrial ecosystem evolution of North Karelia heating energy system. *Regional Environmental Change*, 3(4), 128-139. doi: <https://doi.org/10.1007/s10113-003-0056-5>
- Korhonen, J., and Snäkin, J. P. (2005). Analysing the evolution of industrial ecosystems: concepts and application. *Ecological Economics*, 52(2), 169-186. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.07.016>
- Korhonen, J., Wihersaari, M., and Savolainen, I. (2001). Industrial ecosystem in the Finnish forest industry: using the material and energy flow model of a forest ecosystem in a forest industry system. *Ecological Economics*, 39(1), 145-161. doi: [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(01\)00204-X](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(01)00204-X)
- Learned, E. P., Andrews, K. R., Christensen, C. R., Guth, W. (1969). Business policy: Text and cases. *RD Irwin*.
- Li, J., Pan, S. Y., Kim, H., Linn, J. H., Chiang, P. C. (2015). Building green supply chains in eco-industrial parks towards a green economy: Barriers and strategies. *J. of Environmental Manag.*, 162, 158-170. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.07.030>
- Long, Z., Wu, J., Xu, W., and Lin, W. (2018). Study of the coordination mechanism of a wood processing residue-based reverse supply chain. *BioResources*, 13(2), 2562-2577. doi: <https://doi.org/10.15376/biores.13.2.2562-2577>
- Lowe, E. A. (1997). Creating by-product resource exchanges: strategies for eco-industrial parks. *Journal of Cleaner Production*, 5(1-2), 57-65. doi: [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(97\)00017-6](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(97)00017-6)
- Mirata, M. (2004). Experiences from early stages of a national industrial symbiosis programme in the UK: determinants and coordination challenges. *Journal of Cleaner Production*, 12(8-10), 967-983. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.02.031>
- Mirata, M., and Emtairah, T. (2005). Industrial symbiosis networks and the contribution to environmental innovation: The case of the Landskrona industrial symbiosis programme. *Journal of Cleaner Production*, 13(10-11), 993-1002. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.12.010>
- Murphy, F., Devlin, G., and McDonnell, K. (2015). Greenhouse gas and energy based life cycle analysis of products from the Irish wood processing industry. *Journal of Cleaner Production*, 92, 134-141. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.01.001>
- NISP, (2019), National Industrial Symbiosis Program (NISP), A Roadmap for a National Industrial Symbiosis Programme for Turkey, International Synergies Limited, 2019, Ankara. Retrieved from: https://www.aso.org.tr/wp-content/uploads/2019/04/2019Mar25_Draft-Roadmap-for-a-National-IS-Programme-in-Turkey.pdf
- OGM (2020) T.C. Orman Genel Müdürlüğü (OGM), İşletme ve Pazarlama Dairesi Başkanlığı, Oduna Dayalı Orman Ürünlerinin Üretim ve Pazarlama Faaliyetler, Erişim adresi: <https://www.ogm.gov.tr>
- O'Rourke, D., Connelly, L., and Koshland, C. P. (1996). Industrial ecology: a critical review. *International Journal of Environment and Pollution*, 6(2-3), 89-112. doi: <https://doi.org/10.1504/IJEP.1996.037944>

- Paixao Cansado, I. P., Belo, C. R., and Mourão, P. A. M. (2018). Valorization of Tectona Grandis tree sawdust through the production of high activated carbon for environment applications. *Bioresource Technology*, 249, 328-333. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.10.033>
- Pakarinen, S., Mattila, T., Melanen, M., Nissinen, A., and Sokka, L. (2010). Sustainability and industrial symbiosis-The evolution of a Finnish forest industry complex. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(12), 1393-1404. doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.05.015>
- Park, H. S., Rene, E. R., Choi, S. M., and Chiu, A. S. (2008). Strategies for sustainable development of industrial park in Ulsan, South Korea-From spontaneous evolution to systematic expansion of industrial symbiosis. *Journal of Environmental Management*, 87(1), 1-13. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.12.045>
- Pokharel, R., Grala, R. K., and Grebner, D. L. (2017). Woody residue utilization for bioenergy by primary forest products manufacturers: An exploratory analysis. *Forest Policy and Economics*, 85, 161-171. doi: <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2017.09.012>
- Polverini, D., and Miretti, U. (2019). An approach for the techno-economic assessment of circular economy requirements under the Ecodesign Directive, *Resources, Conservation and Recycling*, 150, 104425. doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104425>
- Rosa, M., and Beloborodko, A. (2015). A decision support method for development of industrial synergies: case studies of Latvian brewery and wood-processing industries. *J. of Cleaner Prod.*, 105, 461-470. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.09.061>
- Satterthwaite, D. (2008). Cities' contribution to global warming: notes on the allocation of greenhouse gas emissions. *Environment and Urbanization*, 20(2), 539-549. doi: <https://doi.org/10.1177/0956247808096127>
- Schwarz, E. J., and Steininger, K. W. (1997). Implementing nature's lesson: the industrial recycling network enhancing regional development. *Journal of Cleaner Production*, 5(1-2), 47-56. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(97\)00009-7](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(97)00009-7)
- Shell (2014), International BV, New Lenses on Future Cities, [online] 2014, Retrieved from: <http://s05.static-shell.com/content/dam/shell>
- Sokka, L., Lehtoranta, S., Nissinen, A., and Melanen, M. (2011a). Analyzing the environmental benefits of industrial symbiosis: life cycle assessment applied to a Finnish forest industry complex. *Journal of Industrial Ecology*, 15(1), 137-155. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2010.00276.x>
- Sokka, L., Pakarinen, S., Melanen, M. (2011b). Industrial symbiosis contributing to more sustainable energy use—an example from the forest industry in Kymenlaakso, Finland. *J. of Cleaner Prod.*, 19(4), 285-293. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.08.014>
- SYMNET (2019) Industrial Symbiosis Network for Environment Protection and Sustainable Development in Black Sea Basin, *SYMNET* Retrieved from: <https://www.msp-platform.eu/projects/industrial-symbiosis-network-environment-protection-and-sustainable-development-black> (27.09.2019)
- Ticaret Bakanlığı, (2021) Yeşil Mutabakat Eylem Planı, *Ticaret Bakanlığı*, 2021, Ankara. Retrieved from: <https://ticaret.gov.tr/data/60f1200013b876eb28421b23/MUTABAKAT%20YE%C5%9E%C4%B0L.pdf>
- TOBB, (2015) Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği (TOBB), Türkiye Orman Ürünleri Meclisi Sektör Raporu, *TOBB*, 2015, Ankara. Retrieved from: <https://www.tobb.org.tr/>
- Turken, N., and Geda, A. (2020). Supply chain implications of industrial symbiosis: A review and avenues for future research. *Resources, Conservation and Recycling*, 161, 104974. doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104974>

- URL, (2019) Ormançılık Sektör Raporu, *Tarım-Orman Çalışanları Birliği Sendikası*, 2019, Ankara, Retrieved from: [https://www.tocbirsen.org.tr/uploads/documents/sekt%C3%B6r_raporu++_\(1\).pdf](https://www.tocbirsen.org.tr/uploads/documents/sekt%C3%B6r_raporu++_(1).pdf)
- Wahrlich, J and Flavio J. S. (2019) Industrial symbiosis in the forestry sector: A case study in southern Brazil. *Journal of Industrial Ecology*, 23(6):1470-1482 .doi: <https://doi.org/10.1111/jiec.12927>
- Wang, Y. F., Yu, W. J., and Ji, F. (2010). Present situation on recycle utilization of waste wood materials. *Wood Processing Machinery*, 21(2), 37-40. doi: <https://doi.org/10.13594/j.cnki.mcjgix.2010.02.002>
- Wernick, I. K., Waggoner, P. E., and Ausubel, J. H. (1997). Searching for leverage to conserve forests: The industrial ecology of wood products in the United States. *Journal of Industrial Ecology*, 1(3), 125-145. doi: <https://doi.org/10.1162/jiec.1997.1.3.125>
- Wolf, A., and Karlsson, M. (2008). Evaluating the environmental benefits of industrial symbiosis: discussion and demonstration of a new approach. *Progress in Industrial Ecology*, 5(5-6), 502-517. doi: <https://doi.org/10.1504/PIE.2008.023413>
- Wolf, A., and Petersson, K. (2007). Industrial symbiosis in the Swedish forest industry. *Progress in Industrial Ecology, an International Journal*, 4(5), 348-362. doi: <https://doi.org/10.1504/PIE.2007.015616>
- World Bank (2012), Information, Communication Technologies, and infoDev (Program). (2012). Information and communications for development 2012: Maximizing mobile. *World Bank Publications*.
- Yeşilkaya, M., Daş, G. S., and Türker, A. K. (2020). A multi-objective multi-period mathematical model for an industrial symbiosis network based on the forest products industry. *Computers & Industrial Engineering*, 150, 106883. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106883>
- Yu, F., Han, F., and Cui, Z. (2015a). Assessment of life cycle environmental benefits of an industrial symbiosis cluster in China. *Env. Sci. Pollution Res.*, 22(7), 5511-5518. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3712-z>
- Yu, F., Han, F., and Cui, Z. (2015b). Evolution of industrial symbiosis in an eco-industrial park in China. *Journal of Cleaner Production*, 87, 339-347. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.058>
- Zarali, F. (2021). Intuitionistic fuzzy green supplier selection and an application in the machine manufacturing sector. *Journal of Turkish Operations Management*, 5(1), 676-687. Retrieved from: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1653337>
- Zhu, Q., Lowe, E. A., Wei, Y. A., and Barnes, D. (2007). Industrial symbiosis in China: a case study of the Guitang Group. *Journal of Industrial Ecology*, 11(1), 31-42. doi: <https://doi.org/10.1162/jiec.2007.929>



Journal of Turkish Operations Management

Pekiştirmeli öğrenme ile tenis oyunu simülasyonu gerçekleştirimi

Bakhtiyar Osmanov¹, M. Fatih Demirci^{2*}

¹ Department of Computer Science, Nazarbayev University, Astana, Kazakhstan
e-mail: bakhtiyar.osmanov@nu.edu.kz, ORCID No: : <https://orcid.org/0000-0003-4490-4709>

² Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Ankara, Türkiye
e-mail: mfdemirci@aybu.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0003-1552-0087>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 30.03.2023
Revize: 17.05.2023
Kabul: 27.06.2023

Anahtar Kelimeler:

Pekiştirmeli Öğrenme,
Tenis Oyunu Simülasyonu,
Makine Öğrenmesi,
Sinir Ağları

Özet

Oyun ve robotik endüstrilerinde, akıllı ve etkileşimli karakterlerin tasarımı, yapay zekadaki ilerlemelerle büyük ölçüde zenginleştirilmiştir. Yapay-zeka tabanlı bu yaklaşımlara, özellikle, geleneksel algoritmaların önceden programlanmış kural-tabanlı olması nedeniyle ihtiyaç duyulmaktadır. Makine öğrenmesi ile oyun karakterleri karmaşık oyunlarda bile özgün ve bağımsız davranışlara sahip olacak şekilde eğitilmektedir. Bu çalışma, henüz yeterince üzerinde çalışılmamış olan tenis oyununda pekiştirmeli öğrenme kullanarak zeki oyuncuların (ajanların) başarılı bir şekilde eğitilebileceğini göstermektedir. Eğitim aşamasında ajanlara temel tenis kuralları ve sonuç (kazanma/kaybetme) hakkında bilgi verilmektedir. Ayrıca, oyun içindeki performanslarına göre ajanlar ödül ya da ceza da almaktadır. Buna göre, ajanlar kendi buldukları duruma göre en iyi davranışı bulmaya çalışır. Ajanlar, Unity'de uygulanan görsel, fiziksel ve bilişsel olarak zengin bir çevrede eğitilmektedir. Sunulan çalışmanın deneysel değerlendirmesi, genel olarak modelin etkililiğini ve başarısını göstermektedir. Gerçekleştirilen uygulama açık-kaynaklı ve uygulamaya şu adresten erişilebilir: <https://bakhtiyar-osmanov.github.io/MLAT/index.html>

Implementation of tennis game simulation with reinforcement learning

Article Info

Article History:

Received: 30.03.2023
Revised: 17.05.2023
Accepted: 27.06.2023

Keywords:

Reinforcement Learning,
Tennis Game Simulation,
Machine Learning,
Neural Networks

Abstract

In the gaming and robotics industries, advances in artificial intelligence have significantly improved the design of intelligent and interactive characters. These AI-based approaches are particularly essential due to the rule-based nature of traditional algorithms. Through machine learning, game characters can be trained to exhibit unique and independent behaviors, even in complex games. This study illustrates that intelligent players (agents) can be effectively trained using reinforcement learning in the game of tennis, an area that hasn't received sufficient research attention. Agents are provided with a basic understanding of tennis rules and the game's outcome (win/lose). Additionally, agents are rewarded or penalized based on their in-game performance. Consequently, agents strive to determine the best behavior depending on their current circumstances. These agents are trained in an environment that is visually, physically, and cognitively rich, implemented in Unity. The empirical evaluation of this study demonstrates the overall effectiveness and success of the model. The implemented application is open-source and can be accessed at the following address: <https://bakhtiyar-osmanov.github.io/MLAT/index.html>

1. Giriş ve İlgili Çalışmalar

Makine Öğrenmesi (MÖ) algoritmaları, son yıllarda farklı sektörlerde başarı ile kullanılmıştır. Gerçek dünyanın simülasyonu, MÖ algoritmalarından faydalanabilecek alanlardan biridir. Simülasyon ortamı tasarımının genel zorlukları bilinmekle birlikte, gerçekçi olarak nesnelere arasında mantıksal etkileşimler ve anlamlı davranışlara dayanarak bir simülasyon elde etmenin daha da zor olduğu araştırmacılar tarafından kabul edilmektedir. Simülasyonlar, bağlama ilgili sabit olarak belirlenmiş kurallardan ziyade deneyime dayalı olarak MÖ ile yapıldığında daha gerçekçi olmaktadır. Örnek olarak, robotik araştırmalarında Rubik küpünü çözmek için robotik bir elin eğitilmesi (Akkaya ve vd. (2019)) ve eğlence endüstrisinde Doom oyununda ortalama bir insandan daha iyi performans gösterilmesi (Lample ve vd. (2017)) bu şekilde bir simülasyon yapılması sonrasında elde edilmiştir. Akıllı, özgün ve bağlama duyarlı bir rakibe karşı oynamak, oyunları daha eğlenceli ve ilgi çekici hale getirecektir. Sunulan çalışmanın amacı, bir tenis oyununda kendi kendine oynayan zeki ajanların MÖ algoritmaları ile etkin bir şekilde eğitilmesidir.

Gerçekleştirilen uygulamada, fiziksel dünyanın etkin bir simülasyonunu sağlayan ve uygun MÖ araçları sunan Unity Gerçek Zamanlı Geliştirme Platformu kullanılmıştır. Ek olarak, ajanlar, pekiştirmeli öğrenme (PÖ) kapsamında eğitilmiş olup çalışma Python API ile programlanmıştır. Oyunda, aynı çalışma mantığını kullanan iki PÖ-Ajanı, tenis kurallarına göre filenin karşı taraflarında topa vurmak için raketleri kontrol etmektedir. Oyuncular, topa rakip oyuncunun karşılayamayacağı şekilde vurma amacını taşır. Böylece modelin gerçekçi bir ortamda eğitilmesi hedeflenmiştir. Uygun fiziksel özelliklere sahip bir tenis oyununun simüle edilmesi, geniş bir alan içindeki karmaşık fiziksel etkileşimler nedeniyle titiz kurulum ve ayarlamalar gerektirmektedir. Bunun sonucu olarak oyun endüstrisine bu şekilde bir yaklaşımın tanıtılması sağlanmaktadır. Sunulan kapsamlı simülasyon ortamı, fiziksel ve görsel olarak zengin bir içeriğe sahiptir ve masa tenisi, badminton, pickleball vb. gibi benzer spor oyunları için de kolayca uygulanabilecek bir yapıdadır. Aynı zamanda, eğitim düzeni, oyunlardaki gözlem karmaşıklığını, fiziksel parametrelerin etkisini, mantıksal etkileşimleri (strateji) ve sosyal etkileşimleri (arkadaşça/saldırgan oyun tarzı) araştırmak için de kullanılabilir. Ortaya çıkan model, bir oyun uygulamasında kullanılmasının yanı sıra, bu alanda yapılacak gelecekteki araştırmalar için temel bir performans modelidir.

MÖ, genel olarak farklı türlerdeki verilerden bilgi çıkarmak için kullanılan bir araçtır. Ayrıca, bir makinenin açıkça programlanmadan verilen verilere dayalı bir sonucu tahmin edebildiği Yapay Zekanın (YZ) bir alt alanı olarak da tanımlanır (Alzubi ve vd. (2018)). Genel olarak, MÖ yaklaşımları üç ana tipte sınıflandırılmaktadır: denetimli öğrenme, denetimsiz öğrenme ve pekiştirmeli öğrenme (Ayodele (2010)). Birinci tip, çok sayıda doğru etiketlenmiş veri gerektirir ve sıklıkla sınıflandırma ve regresyon için kullanılır. Denetimsiz olan MÖ algoritmaları, kümeleme ve ilişkilendirmeyi etiket kullanmadan ve önceden kategorize etmeden yapar. Sonucusu (PÖ) ise, bir ortamı keşfeden ve onunla etkileşime giren deneme yanılma yaklaşımını benimseyen ajanları kullanır.

PÖ'de, bir ajan, doğru bir performans durumunda verilen bir ödülü en üst düzeye çıkarmaya ve uygunsuz davranış için bir cezayı en aza indirmeye çalışır. Bu şekilde ajanlar, ödül sinyaline uyum sağlayarak, bir ortam ve kuralları hakkında bilgisini geliştirir ve buna bağlı olarak bir sonraki en iyi eylemlerini tahmin edebilir. Simülasyon dünyasının karmaşıklığı göz önüne alındığında, PÖ dinamik davranışa sahip bir ajan oluşturmak için en uygun MÖ sınıfı olarak karşımıza çıkmaktadır. Satraç, shogi ve Go oynayan PÖ ajanları (Silver vd. (2018)), video oyunları (Torrado ve vd. (2018)), 3B çok oyunculu oyunlar (Jaderberg ve vd. (2019)), dağıtım şebekesi (Yurtsever ve vd. (2022)) ve oyun araştırmaları dahil olmak üzere YZ'nin ve MÖ'nün oyun endüstrisini nasıl değiştirdiğine dair bilgilendirici örnekler vardır (Lanctot ve vd. (2019), Millington ve Funge (2009)).

Genel olarak literatüre baktığımızda, bilgilendirici ve gerçekçi etkileşim sağlayan bir ortam elde edilmesi için PÖ'nün başarılı performans sağlayacak önemli bir potansiyele sahip olduğu görülmektedir. PÖ, çevre tasarımı, gerçek dünya kavramlarının simüle edilmesi ve araştırmacıların hipotezlerinin test edilmesi için sezgisel ve son derece özelleştirilebilir bir ortam sunar. Ayrıca, literatürde tenis oyununun simüle edilmesi için gerekli çalışmaların eksikliği de görülmektedir. Bu nedenle sunulan çalışmada henüz yeterince araştırılmamış olan tenis oyununda kendi kendine oynayarak pekiştirmeli öğrenen ajanların eğitilmesi yapılmış ve bu şekilde literatürdeki bir açığı kapatılması için önemli bir adım atılmıştır.

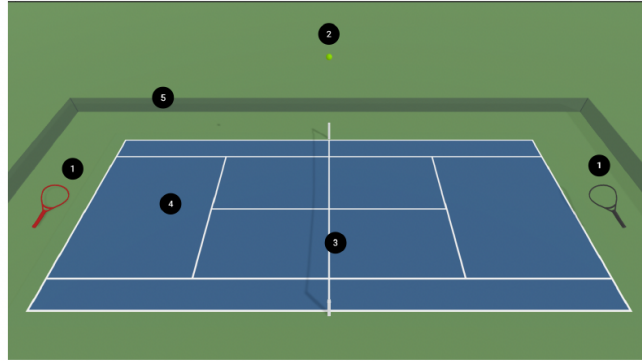
Tenis oyununa benzer kurallara sahip olan masa tenisinde literatürde PÖ-temelli çalışmalar sunulmuştur (Wang ve vd. (2022)) (Muelling ve vd. (2014)) (Tebbe ve vd. (2021)) (Gao ve vd. (2020)). Tenis ve masa tenisinde bir oyuncu, topa her seferinde aynı noktadan vurarak oyunu kazanamaz. Bu nedenle oyuncular, rakiplerini yenmek için etkili bir strateji geliştirmek zorundadır. Bu kapsamda PÖ ile ödül işlevini öğrenen çalışmaların geçmişte kullanıldığını görüyoruz. Muelling ve vd. (2014) ödül fonksiyonunun Markov karar problemine dayandığı, bir PÖ çıkarım modeli vermektedir. Başarılı sonuçlar alınmasına karşın mevcut modelde, rakibin zayıflıklarını, stratejisini, topun dönüşünü ve sensör bilgisinin kusurlu olabilme olasılığını hesaba katılmamıştır. Tebbe ve vd.

(2021) robotikte pekiştirmeli öğrenme uygulamalarının iki temel problemini (hız ve sağlamlık) ele alan masa tenisi oynayan bir robot tasarlamıştır. Bu çalışma bir önceki çalışmanın eksikliklerine benzer olarak topun hız ve dönüş parametrelerini dikkat almamaktadır.

Masa tenisinin PÖ yaklaşımı ile öğrenen modellerin geçmiş çalışmalarda daha ilgi görmesine karşın tenis oyunu için aynı şeyi söylemek söz konusu değildir. Buna karşın geçmiş çalışmalarda özel olarak tenis oyununu hedeflemese de uygulama olarak diğer oyunların yanında tenis oyununu kullanan çalışmaların bulunduğu görülmektedir, örnek (Kancharla ve Lee (2019)) (Cao ve vd. (2020)). Buna ek olarak, (Weeraman (2023)) önerilen makalede bulunan kapsamda herhangi bir tartışma ve değerlendirme bulunmayan bir uygulama linki paylaşmıştır. Bu uygulamanın sadece bir programlama hedefi ile yazılmış olmasından dolayı, sunulan çalışma ile bu çalışma karşılaştırılmamıştır.

Bu makalede sunulan modelin, teknik detayları verilerek elde edilen sonuçlar tartışılmıştır. Ek olarak, PÖ ajanlarının birbirlerine karşı oynadıkları oyunların değerlendirilmesi 45 farklı katılımcı ile sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, oyunlarda ajan davranışlarının, uzman bir kullanıcı davranışlarını başarılı bir şekilde simüle ettiğini göstermektedir. Makalenin geri kalan kısmında sunulan model ayrıntılı olarak açıklanacak ve kullanılan hiper parametreler belirtilecektir. Deneysel ve sonuçlar bölümünde, çeşitli konfigürasyonlara sahip ajanların eğitim ve karşılaştırmalı analizi sırasında istatistiksel gözlemler anlatılacaktır. Elde edilen model, MÖ ajanının performansını ölçmek ve kullanıcı deneyimi ile karşılaştırmak için bir test uygulamasında kullanılmıştır. Son olarak, bu makalede çalışmanın sınırlamaları ve sunulan modellerin geliştirilmesine yönelik çeşitli fikirler tartışılmıştır.

Bu çalışma, 2021 tarihinde birinci yazar tarafından ikinci yazar danışmanlığında Nazarbayev Üniversitesi Bilgisayar Bilimleri Anabilim Dalında Yapılan Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir. Çalışmanın her aşamasında Araştırma ve Yayın Etiğine uyulmuştur.



Şekil 1. Tenis kortu görünümü. 1 - ajanlar, 2 - top, 3 - ağ bandı (file), 4 - kort alanı, 5 - sınırlar.

2. Metodoloji

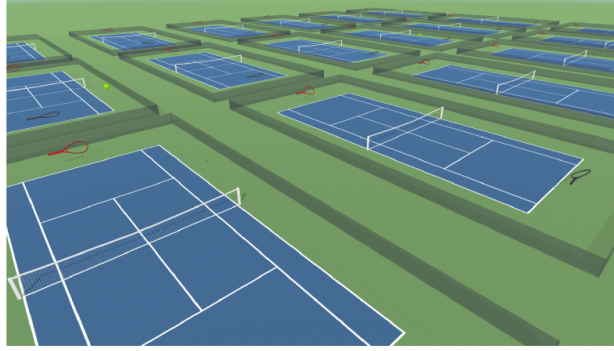
Sunulan makalenin araştırma hedefine ulaşmak ve PÖ tabanlı zeki bir tenis oyuncusu (ajanı) yetiştirmek için zengin karmaşıklığa sahip bir ortamın nasıl oluşturulduğu bu bölümde anlatılacaktır. Bunu takiben, eğitim ortamı ile birlikte mantıksal davranışlar ve etkileşimler, ve yapılan eğitimin test uygulamasındaki pratik kullanımı da bu bölümde anlatılmaktadır.

2.1. Ortam Tasarımı

Ortam tasarımı kapsamında ilk olarak uygulamada kullanılan fiziksel değerler ve öğrenme değerlerinin nasıl seçildiğinden bahsedilecektir. Daha sonra eğitim konfigürasyonu konusunda bilgi verilecektir. Son olarak oluşturulan test uygulaması açıklanacaktır.

2.1.1 Fiziksel Değerler

Bir ortamın, başarılı bir şekilde ajanları eğitmesi için hem fiziksel hem de görsel özellikleri açısından gerçek dünyaya yüksek düzeyde benzerlik göstermesi gerekir. Daha önce bahsedildiği gibi Unity, bu açıdan farklı platformlarda çalışan ideal oyun motorlarından biridir. Yapılan çalışmada ilk olarak, tenis alanının genel yapısı Unity'de oluşturularak top, raket, ağ bandı (file) ve sahne tasarlanmıştır (Şekil 1). Böylece, ajanların ve bunların bağımlı bileşenlerinin konumlandırılması ve izlenmesi elde edilmiştir. Bu tasarım ile bu alanların 18 bağımsız kopyası oluşturulmuş ve eğitim süreci bu kopyalar ile birlikte başlatılmıştır (Şekil 2). Burada birden fazla kopya kullanılmasının amacı aşağıdaki bölümde anlatılacak (Bölüm 2.1.2) öğrenme değerlerinin daha hızlı bir şekilde elde edilmek istenmesidir.

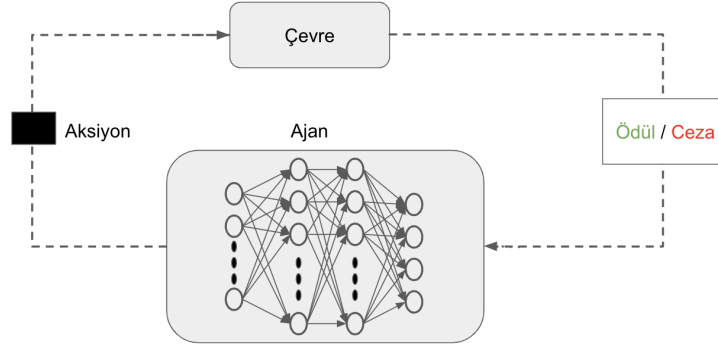


Şekil 2. Eğitim kurulumunda tenis için 18 tane ayrı örnek çalıştırılmıştır.

Hazırlanan tenis kortların her birinde, grafiksel olarak raketler ile temsil edilen iki ajan vardır (bu makalede tenis oyuncuları, ajanlar ve raketler birbirinin yerine kullanılmaktadır). Çarpıştırıcı bileşeni, top, ağ bandı, zemin ve oyun sınırları arasındaki çarpışmaları izlemek için oyuna eklenmiştir. Raket, top, ağ, zemin ve oyun sınırını belirlemede kullanılan duvarlar için şu fiziksel materyaller kullanılmıştır. Raketler için kullanılan fiziksel materyal 0.45 birim dinamik sürtünmeye, 0.5 birim statik sürtünmeye, 0.2 birim zıplama kapasitesine ve 350 gram ağırlığa sahiptir. Bu değerler ortalama bir raketin gerçek dünyadaki değerleri baz alınarak deneysel olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla, bu parametreler ile raket ile topun çarpışması gerçekçi bir şekilde elde edilmiştir. Açılal sürüklenme, raket dönerken karşılaşılan hava direncinin etkisini temsil eder (sıfır, direnç olmadığı anlamına gelir) ve 0,05'e ayarlanmıştır. Hızlı hareket eden etkileşimler nedeniyle hassas hesaplamalar için yoğun hesaplamalı sürekli çarpışma algılama algoritmaları kullanılmıştır. Bu algoritmalar ile her üç boyutta da hız kontrol ederek bir ajanın gerçekçi hareketi simüle edilmiştir. Hız ve atalet kısıtlamaları açısından ve eğitim konfigürasyonunun özgüllüğü nedeniyle x ve y eksenleri dönüş için sınırlandırılmıştır. Raket ölçüleri gerçek raketlerin ölçüleri göz önüne alınarak 1.37m uzunluk, 0.57m kafa genişliği, 0.021m kalınlığa sahip olacak şekilde belirlenmiştir.

Raketlere ek olarak, tenis oyununda topun gerçekçi olarak simüle edilmesi de oldukça önemlidir. Top için kullanılan materyal, 0.2 birim dinamik sürtünmeye, 0.1 birim statik sürtünmeye, 0.8 birim zıplama kapasitesine ve 60 gram ağırlığa sahiptir. Topun yarıçapı, ajanın arama uzayının azaltılması için gerçek boyutundan daha yüksek yapılarak 0,2m seçilmiştir. Bölüm 2.2'de bu konu üzerinde daha detaylı açıklama yapılacaktır.

Zemin, tenis oyununda oyuncuların alacakları puanları belirleyen farklı bölgelerden oluşur ve bu bölgeler elde edilen ortamda belirlenmiştir. Zemin için 0,4 birim dinamik sürtünme, 0,4 birim statik sürtünme ve 0,1 birim zıplama kapasitesi tanımlanmıştır. Ayrıca, zemin için ortalama sürtünme ve zıplama kombinasyon modları tanımlanmıştır. Kort ölçüleri 23mx8m olarak kullanılmıştır. Kortun ortasındaki ağ bandı, bir sahayı iki özdeş parçaya ayırır ve topun bölge değişimini kontrol etmek için üstte bir çarpıştırıcı içerir. Son olarak, görünmeyen duvarlar, raketlerin hareketini makul konum ötesinde kısıtlamak için tüm oyun alanı etrafında tanımlanmıştır. Genel olarak, proje ayarları, yerçekimi için 9.834 m/s², oyun sırasındaki zaman ölçeği 1s, eğitim süreci için ise 10s olarak belirlenmiş olup fiziksel güncellemeler için sabit delta süresi 0.02s olarak belirlenmiştir.



Şekil 3. Sunulan pekiştirmeli öğrenme modelinin genel sunumu. Ajan, ileri beslemeli yapay sinir ağı ile çıktı aksiyon üretir. Bu aksiyon çevreye (tenis oyununa) uygulandıktan sonra oyun kurallarına göre belirli bir ödül yada ceza üretilir. Bu geri besleme tekrar ajana verilerek ajanın sonraki aksiyonu belirlenir.

2.1.2 Öğrenme Değerleri

Gözlem ve çıkarımların toplanması tek bir sınıf (Akademi sınıfı) tarafından yönetilmektedir. Hem eğitim hem de oyun sırasında tüm ajanların kararlarını kontrol eden bir ajan vardır. Akademi sınıfı ayrıca, gözlemlenen verileri aktarmak ve yapay sinir ağını eğitmek için Python API ile iletişim kurmaktan da sorumludur.

Simülasyon süreci, ajanların puan kazanmaya çalıştığı bölümleri içerir. Bir bölüm, sonlandırma koşullarından biri sağlanana kadar devam eder. Sonlandırma senaryolarında, ajanlardan biri bir puan kazanır veya oyun zaman aşımına uğrar (yani, oyunda maksimum adım sayısına ulaşılır). Her bölüm, ilgili metot çağrılarak ortam kurulumunun bazı kısımlarının yeniden başlatılması ile çalışmaya başlar. Burada, raketlerin pozisyonları, rotasyon değerleri ve hızları sıfırlanır. Ajanların iyi bir şekilde farklı koşullarda eğitilmesi için raketlerin ilk pozisyonu tenis kortunun yüzeyinde başlangıç bölgesi içinde rastgele seçilmektedir.

Simülasyon tasarımındaki bir sonraki adım, potansiyel karar üzerinde etkisi olabilecek verileri toplayarak çevreyi gözlemlemektir. Eğitim süreci, sinir ağının üzerinde çalışabilmesi için verilerin öznitelik vektör formatında gönderilmesini gerektirir. Gözlem vektörünün uzay boyutu da davranış parametrelerinde açıkça belirtilmektedir. Öznitelik seçimi, her potansiyel parametrenin önemini analitik tahmini ile yapılmıştır.

Model, gözlemlenen bilgilere dayanarak, her ajan için bir sonraki eylemi üretir. Ajanlar sürekli olarak sahada hareket ettiğinden, belirli bir kurulum için 'Sürekli' eylem alanı türü gereklidir. Karar verme sürecine, pekiştirmeli öğrenmede amaçlandığı gibi yapılan eylemler için ödüller eşlik eder. Bu ödüller, yapay sinir ağı tarafından seçilen eylemlerin optimalliğini belirlemek için hem eğitim hem de simülasyon sırasında kullanılır.

2.2 Eğitim Konfigürasyonu

Oyunda kullanılan tüm statik parametreler yukarıda açıklanmıştır. Bu bölümde ise eğitim sırasında kullanılan dinamik değişkenler belirtilecektir. Bir gözlem vektörü 14 değer içerir: Ajanın x,y,z pozisyonu, ajanın x,y,z yönündeki hızı, ajanın rotasyonu, topun x,y,z pozisyonu, topun x,y,z yönündeki hızı ve topun anlık parametrelerine göre düşmesi öngörülen bölgenin numarası.

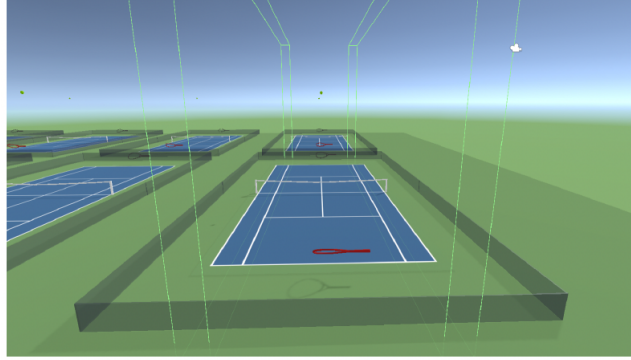
Kullanılacak yapay sinir ağı modelinde daha hızlı yakınsamasına yardımcı olduğu için tüm değerler $[-1,1]$ aralığında normalize edilmiştir. Karmaşık bir tekrarlayan yapay sinir ağı mimarisi sunmak yerine, mevcut gözlemleri önceki adımların verileriyle iyileştirmek için yığılma kullanılmıştır. Bu genişletilmiş gözlem, verileri daha bağlamsal hale getirmek için küçük bir "hafızayı" taklit etmektedir.

Sağlanan girdi bilgilerini kullanarak model, 4 boyutlu bir çıktı eylem vektörü (aksiyon) üretir. Buradaki değerler $[-1,1]$ aralığına normalize edilir ve bir raketin x,y,z yönündeki hızı ile rotasyonunu kontrol etmek için kullanılır. Ödül dağıtım sisteminde, oyun içinde bir puan kazanana 0,5 puan eklenir, kaybedenden ise 0,5 puan alınır. Bir ajani makul davranışa daha hızlı yönlendirmek için, raket topa dokunduğunda küçük bir ödül (0,0005) verilir. Ayrıca, top fileyi (ağ bandını) aşır rakip zemine çarptığında 0,001 puan ödül eklenir. Tenis kurallarının anlaşılmasını ve ard arda daha fazla galibiyeti teşvik etmek için, ajanlar bir oyunu kazandığında 0,5 puan ek ödül verilir, kaybettiğinde ise ajanlardan 0,5 puan ödül eksiltir. Benzer olarak, teniste bir set kazanıldığında ajanlara 1,0 puan ödül eklenir, kaybedildiğinde ise ajanların toplam ödüllerinden 1,0 puan eksiltir.

Bu konfigürasyon, eğitimin Unity tarafını tamamlarken, asıl eğitim ML-Agent Toolkit python paketi aracılığıyla harici olarak yürütülmektedir. Bu paket, proje için 27 hiper parametrelili bir yapılandırma dosyası kullanır. Seçilen eğitim algoritmalarına dayalı olarak, hiperparametre ayarlama, ajanların bir hedefi gerçekleştirirken en uygun seçimi bulma becerisini büyük ölçüde etkiler.

Sunulan çalışmada kullanılan yapay sinir ağı ileri beslemeli olup toplam 256 gizli nöron ve normalizasyon uygulanmış iki gizli katman içermektedir. Eğitim için, ön deneylere dayalı olarak aşağıdaki hiperparametreler seçilmiştir: grup boyutu = 2048, tampon boyutu = 20480, öğrenme oranı = 0.0002 (sabit), beta = .003, epsilon = 0.15, lambda = 0.93, dönem sayısı = 4. Ödül sinyali için sadece dışsal ödül konfigürasyonu gama 0,96 ve dayanıklılık 1,0 ile tanımlanmıştır. Bu gama, bir ajanın gelecekte alabileceği ödüllerin önemini kontrol eder. Bu şekilde, ajanın içinde bulunduğu anda iyi performans göstermesi ve gelecekte de daha fazla ödül alması için daha fazla çabalaması sağlanmaktadır. Sunulan modelin genel görünümü Şekil 3'te verilmiştir.

Modelde, kendi kendine oynatma kurulumu için tanıtılan özel ayarlamalar vardır. Öğrenen ekip, 100.000 adım boyunca bir sanal eğitici ile oynar. Bu şekilde aynı rakiple uzun süre oynanarak ajanın kazanma şansı artmaktadır. Ayrıca, bu adım sayısı ile belirli bir stratejiye uyum sağlanıp bu strateji ezberlenmez. 100.000 adım sonrasında ajanlar yeni bir sanal eğitici ile eğitimlerine devam edebilir. Bir ajanın en son oynadığı rakibine karşı tekrar oynama olasılığı %50'dir. Her bir iterasyonda, ajanlar stratejilerini revize eder.



Şekil 4. Tenis kortu etrafına konulan nesnelere hareketini sınırlayan sanal duvarlar.

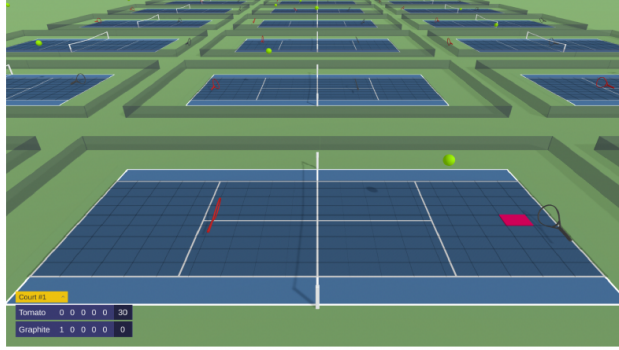
Uygun ajan davranışı, hedeflenen fiziksel parametrelerle doğrudan elde edilemez. Bir raketin ve bir topun gerçek hayattaki boyutları, tenis kortu alanına göre çok küçüktür. Bu, bir ajan için oldukça büyük bir alanda arama yapması anlamına gelir. Bu nedenle ödül sinyali çoğu zaman alınmaz. Daha açık olarak, küçük bir raketin yüzey alanına sahip bir oyuncunun, en azından büyük bir kortta herhangi bir yerde bulunabilecek bir topa dokunması beklenmektedir. Başlangıçta rastgele bir strateji verildiğinde, bunu başarmak oldukça zordur. Bunun yerine, görevin zorluğunu aşamalı olarak artırmak için kademeli öğrenme yöntemi uygulanmıştır. Bu eğitim, raketlerin %25, top ölçeğinin %150 büyütülmüş versiyonları ve z eksenini boyunca sabitlenmiş hız ile başlatılmıştır. Daha sonra her 200.000 adımda bu değerler orantısız olarak hedef değerlere ulaşana kadar düşürülmüştür. Böylece ajan, verilen ölçek parametreleriyle uygun davranış sergileyebilmiştir. 1 milyon adımdan sonra hız, z ekseninin her iki tarafındaki sınırlayıcı duvarlar olmak üzere tüm eksenlerde serbest bırakılmıştır (Şekil 4). Duvarlar arasındaki mesafe (yani ajanın hareket edebileceği bölge) kademeli öğreniminin bir parçası olarak her 200.000 adımda bir artmıştır. Bu bağlamda, rakip topa vurduğunda, ajan topun kendi tarafına nereye düşeceğini tahmin eder. Hesaplanan pozisyonun kesin konumunu belirtmek yerine, tenis kortunun her bir tarafı 9x9'luk bölgelere ayrılmıştır. Örnek bir tahmin, Şekil 5'de gösterilmektedir.

2.3. Test Uygulaması

Eğitilmiş model, Unity'de yerleşik bir tenis oyununda kullanılmıştır. Yapay Sinir ağı, hem CPU hem de GPU üzerinde çalışabilecek şekilde Unity Inference Engine tarafından işlenir. Oyun, WebGL platformu için inşa edilmiştir, ancak çok çeşitli ortamlarda da çalıştırılabilir. Gerçekleştirilen uygulamaya şu adresten erişilebilir: <https://bakhtiyar-ospanov.github.io/MLAT/index.html>

Oyun modunda bir ajanın z eksenini boyunca hızı, kullanıcı rahatlığı için sınırlandırılmıştır. Bir kullanıcının aynı anda üç eksen boyunca kendi konumuna göre topun konumunu uzamsal olarak hesaplaması zordur. Bu nedenle, kamera konumu, topun en az bir eksen konumunun ve topun fileye olan mesafesinin doğru bir şekilde öngörülmesi için ayarlanmıştır. Kullanıcıların, kontrol etmesi gereken yükseklik aralığı, kort ölçeğine göre alması zor olduğundan raketler z eksenini boyunca döndürebilir ve klavye girişi ile x eksenini boyunca hareket ettirebilir. Bir

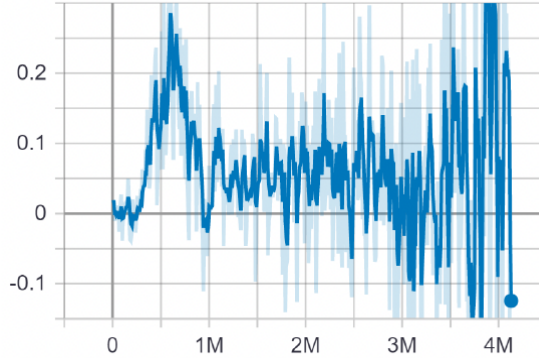
ajanın hareketini doğal yapmak için kullanıcı tarafından seçilen yöndeki hızı yavaş bir şekilde arttırılmıştır. Sınırlı eylem alanına ek olarak, oyunda top hareketinin yörünge çizgisi kullanıcıya ipucu olarak görüntülenir. Oyun, 5 setlik gerçek tenis oyununu yansıtacak şekilde tasarlanmıştır. Bir kullanıcı ayrıca iki MÖ ajanının oyununu gözlemleyebilir veya raketlerden birinin kontrolünü ele alabilir. Kullanıcılara oyuna başladıktan ve MÖ ajanına karşı birkaç oyun oynadıktan sonra, oyun hakkındaki görüşlerini almak için bir anket de verilmektedir.



Şekil 5. Topun nereye ineceğinin tahmin edildiği kırmızı ile işaretlenmiş bölge.

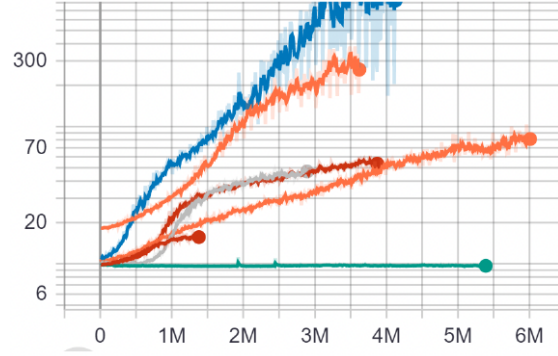
3. Deney ve Sonuçlar

Eğitim süreci ve deneyler sırasındaki istatistikler MLAGents Toolkit ve TensorBoard ile kaydedilmiştir. TensorBoard, özel metrikleri görselleştirmek ve gözlemlemek için uygun araçlar sağlamaktadır. Yapılan deneylerde, genellikle pekiştirmeli öğrenmede kullanılan ve değerinin 1'e doğru yaklaşması beklenen bir ölçüm olan kümülatif ödül kullanılmıştır. Şekil 6'da gösterildiği gibi, bir ödül sinyali başlangıçta sıfırın biraz üzerindedir ve eğitim ilerledikçe genlik artar.

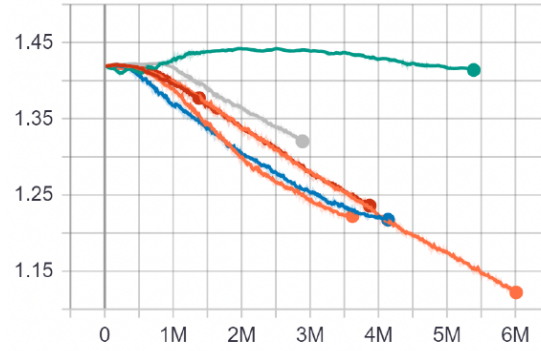


Şekil 6. Bir test sürecinde elde edilen örnek kümülatif ödül.

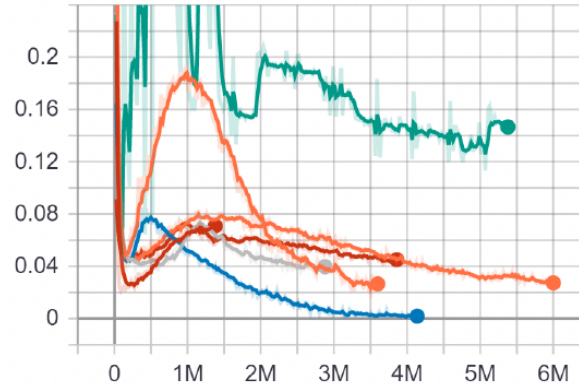
Oyunda kullanılan stratejiler geliştikçe, rakip havuzu daha güçlü stratejiler içerir ve bu da bir ajanın oyunlardaki kazanma ve kaybetme istatistiklerinin her ikisini arttırır. Bu nedenle, kümülatif bir ödül, böyle bir durum için anlamlı bir ölçüm olmamaktadır. Dolayısıyla, oyunların belirli bir bölümüne kadar (Şekil 7), ajanların topa vurma ve birbirlerine karşı oynama başarımları kullanılabilir. Bununla birlikte, daha uzun bir oyun uzunluğu, ajanların daha iyi bir performans göstermesi anlamına gelmez, aksine bu ajanların daha az kazanan atışlar yaptığı daha az agresif bir oyun sunar. Burada kullanılacak bir diğer önemli ölçüt, ajan kararlarının rastgeleliğini izleyen entropidir (Şekil 8). Bu kararlar zamanla azalmaktadır ki bu da oyun için uygun seçilmiş hiper parametreler anlamına gelir. Kayıp fonksiyonları ile ilgili olarak, model tarafından üretilen durumları ölçmek için değer kayıpları (Şekil 9) izlenmektedir. Grafiklerde bir ajan uzayı keşfedip öğrenirken bir artış, ardından alınan ödül sabitlendiğinden aşamalı bir şekilde düşüş görülür.



Şekil 7. Tenis oyunlarının farklı bölümleri içinde ajanların topa vurma ve birbirlerine karşı oynama başarımları.

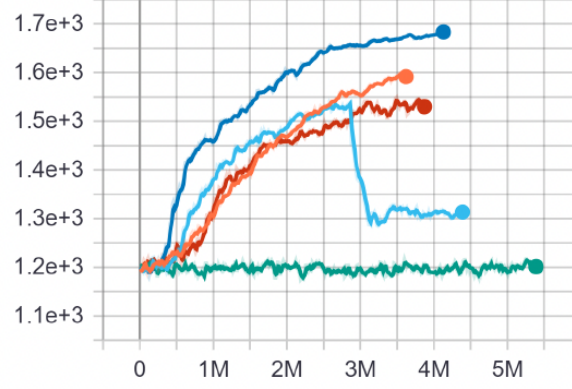


Şekil 8. Farklı konfigürasyonlar için ajanların oyunlardaki rastgeleliğini ölçen entropi değerleri. Bu değerler zamanla azalmaktadır.



Şekil 9. Farklı konfigürasyonlar için kayıp değerleri.

Eğitimin başarısını değerlendirmek için kullanılabilir bir ölçüt, kendi kendine oynanan oyunlara özgü olan ELO derecelendirme sistemidir (Albers ve de Vries (2001)). Bu yaklaşım, sıfır toplam bir oyunda (yani kazanan ve kaybeden oyuncuların puanlarının toplamının sıfır olduğu bir oyunda) iki oyuncunun birbirine göre seviyelerini göreceli olarak değerlendirir. Bu değerlendirme, mevcut puanlara ve maç sonucuna (galibiyet/mağlubiyet/beraberlik) göre hesaplanır. Güçlü oyuncu kazanırsa, zafer beklendiği için bu oyuncuya birkaç puan verilir ve bu yenilgi için zayıf oyuncudan birkaç puan düşülür. Buna karşılık, güçlü oyuncuya karşı zafer kazanması durumunda, zayıf oyuncuya yüksek puan verilir. Bir oyun berabere biterse, güçlü oyuncuya yüksek ceza, zayıf oyuncuya ise yüksek ödül verilir.



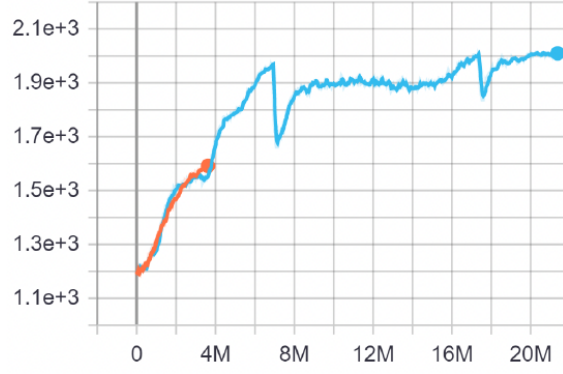
Şekil 10. Farklı konfigürasyonlar için ELO değerleri.

Başlangıçta ELO derecelendirme puanı 1200'dür. Şekil 10 çeşitli konfigürasyonlarla yapılan çalışma sonuçlarında elde edilen ELO değerlerini göstermektedir. Turuncu çizgi, ilk kurulumu temsil eder. Bu konfigürasyonda ajanın x yönündeki hızı, raketlerin ve topun büyütülmüş versiyonu ve bir oyunu kazanmak/kaybetmek için +1/-1 ile temel ödül sinyali bulunur. Bir ajan bu konfigürasyonda iyi performans gösterdiğinden dolayı, bu performans karşılaştırma için temel (baz) performans alınmıştır. Mavi çizgi, ödül sinyali performansını gösterir. Eğitim konfigürasyonu bölümünde açıklandığı gibi, topu karşılama, filenin karşı kısmına (rakip bölüme) başarılı bir şekilde top atma, tüm maçı kazanma vb. durumlar için ek ödüller verilmiştir. ELO derecelendirmesinin bu şekilde kullanılması sonrasında eğitim hızı açısından gözle görülür bir performans artışı kaydedilmiştir. Ödül sinyalinin alınması stabilize edildikten sonra, fiziksel özellikler daha önce bahsedildiği gibi gerçek dünya boyutlarıyla ilişkilendirilecek şekilde ayarlanmıştır. Bu ayarlama sonrasında, yani, raket yüzeyinin ve top boyutunun hızlı bir şekilde azalması ile daha geniş bir arama alanı oluşturduğundan ajanlar kötü performans sergilemeye başlamıştır. Bu aşamada oyun kuralları ajanlara kural tabanlı olarak verilmiştir. Bunun sonunda elde edilen başarımlar ve bunun temel durumla karşılaştırılması Şekil 11'de verilmiştir. ELO skoru açısından önemli bir artış sağlanmasına karşın bu süreçteki adım sayısı artırılmıştır. Sonuçta, ajanın hedeflenen senaryoda performans gösterme yeteneği, eğitim süresine göre önceliklendirilmiştir.

Bunu takiben, ajanların x yönündeki hızlanmasını önündeki engel kaldırılmış ve ajanlar üç boyutta da serbestçe hareket edebilecek bir konuma getirilmiştir. Bu, arama alanını önemli ölçüde genişletilmiş ve ajanların daha karmaşık etkileşimler içinde bulunmasını gerektirmiştir. Ajanlar, Şekil 10'daki düz yeşil çizgiyle gösterildiği gibi, nadiren bir topa dokunabilmiş ve genel olarak doğru bir şekilde topa vuramamıştır. Bu sorunun üstesinden gelmek için, öğelerin büyütülmüş bir versiyonu elde edilmiş ve arama alanını küçültmek için ajanların her iki tarafına z eksenini boyunca sınırlayıcı duvarlar yerleştirmiştir. Duvarlar arasındaki mesafe, eğitimin bir parçası olmuş ve zamanla arttırılmıştır.

Açık mavi çizgi, bu konfigürasyondaki performansını gösterir. Ajanlar, duvarların birbirinden çok uzak olmadığı bir yere kadar iyi performans göstermiş, ancak ardından arama alanı tekrar yönetilemez hale gelmiştir. Ajanları hedef eyleme doğru daha etkin bir şekilde yönlendirmek için, topun potansiyel iniş pozisyonu, dolaylı ipucu olarak verilmiştir (bu eğitim konfigürasyonunda açıklanmıştır). Kırmızı çizgi, bu yaklaşımı kullanmanın yararını göstermektedir. Ancak burada, oyundaki eşyaların büyütülmüş versiyonları ve tenis kortu kenarlarında bulunan sınırlayıcı duvarların kullanıldığı unutulmamalıdır.

Genel olarak, deneylerin çıktısı olarak başarıyla eğitilmiş iki model vardır. İlk model, güvenilir performans gösteren gerçekçi boyutta raketler ve ajanın x yönünde değişmeyen hızı ile eğitilmiştir. İkincisinde ise ajan gerçek dünyadaki hareket özgürlüğüne sahiptir ancak oyundaki temel nesnelerin boyutları büyütülmüştür. İkinci modelde ajanların kararsız davranış sergilediği görüldüğünden dolayı, sunulan çalışmanın test uygulamasında kullanıcıların oynaması ve ajanların performansının değerlendirilmesi için ilk model kullanılmıştır.



Şekil 11. Oyun kurallarının açık bir şekilde ajanlara kural-tabanlı verilmesi sonrası elde edilen ELO değerleri.

Test uygulaması web platformunda barındırılmış ve sunulan çalışmanın değerlendirilmesi için bu kapsamda bir anket hazırlanmıştır. Ankete katılanlardan oyun, etkileşim fiziği ve kuralları hakkında bilgi sahibi olmaları için oyunu oynamaları istenmiştir. Ankete katılan toplam kişi sayısı 45'dir. Ankete katılımcılara her biri 1 dakikalık iki örnek video klip izletilmiştir. Bunların ilkinde uzman bir kullanıcının MÖ ajanına karşı oyunu, diğerinde ise iki MÖ ajanının birbirine karşı oynadığı oyun bulunmaktadır. Ankete katılanlardan iki videoyu ayırt etmesi ve bu farkın nasıl tespit ettiğini bildirmesi istenmiştir. Genel olarak, katılımcıların sadece %33.5'i iki video arasındaki farkı doğru bir şekilde bulabilmiş ve %35.8'i ise MÖ ajanını uzman bir kullanıcıyla karıştırmış ve bu soruyu yanlış yanıtlamıştır. Yanıt verenlerin %30,7'i iki oyun arasında önemli bir fark görmemiştir. Özetle, MÖ ajanını uzman bir kullanıcıyla karıştıran ve MÖ ajanı ile gerçek kullanıcı arasındaki farkı ayırt edemeyen katılımcılar, toplam katılımcıların %66.5'ini oluşturmaktadır. Bu, katılımcıların çoğunluğunun akıllı bir ajanın, uzman kullanıcı davranışını yüksek doğrulukla simüle edebileceğine inandığı anlamına gelmektedir.

Bu iddia, katılımcıların anket kapsamında bir sonraki soruya verdiği yanıtlarla da desteklenmektedir. Bu kapsamda, katılımcılardan iki oyun arasında benzerliği 1 (benzer değil) - 5 (çok benzer) ölçeğine göre değerlendirmeleri istenmiştir. Çoğunluk, MÖ ajanının tatmin edici performansını doğrulayacak bir şekilde 4 (%53,8) ve 3 (%38,5) puan vermiştir (ortalama 3,46). Ek olarak, ankette Video 1'den uzman kullanıcının ve Video 2'den MÖ ajanının performansının ayrı ayrı değerlendirmeleri istenmiştir. Uzman kullanıcı ortalama 3,23 puan alırken ve MÖ ajanına 3,39 puan verilmiştir. Bu puanlar o kadar yüksek olmasa da, birbirine yakın çıkmıştır. Genel olarak, bu anket, MÖ ajan davranışının, yanıt verenlerin farkı anlayamayacakları veya tereddütte kalacak ölçüde uzman kullanıcının davranışını başarılı bir şekilde simüle edebileceğini göstermiştir. Bu sonuçlara göre, kullanılan model üzerinde PÖ-tabanlı eğitilen ajanlar tenis oyununu başarılı bir şekilde simüle etmektedir.

3. Sonuç

Bu çalışma, tenis oyununu pekiştirmeli öğrenme kapsamında akıllı ajanlar ile oynamak için zengin görsel ve fiziksel içeriğe sahip bir simülasyon ortamı sunmaktadır. Oyundaki gerçek dünya nesnelerinin (top, raket, ajan) fiziksel etkileşimi, grafiksel temsili ve mantıksal davranışları Unity Gerçek Zamanlı Geliştirme Platformu kullanılarak yapılmıştır. İyi kurgulanmış ortam ile eğitim sırasında doğru ve çok yönlü gözlemlerin toplanması sağlanarak elde edilen veriler/bulgular ML-Agents Toolkit aracılığı ile eğitim sırasında kullanılmıştır.

Tenis oyununu, kort alanı içindeki herhangi bir noktadan topa vurma dahil olmak üzere MÖ ajanından karmaşık etkileşimler (ajanın her üç eksen boyunca hareketi ve rotasyonu) gerektirir. Arama uzayının büyüklüğü nedeniyle model sınırlandırılmış parametreler ile eğitilmiştir. Taklit eden bir öğrenme metodolojisinin eğitim sürecine eklenmesi ile modelin potansiyel iyileştirmesi sağlanabilir. Bu şekilde ajan, uzman bir kullanıcının oyunda nasıl davrandığını taklit edebilir. Bu kapsamda, uzman kullanıcılar ve bu kullanıcıların oyunları sınırlı sayıda ise, Üretken Çelişkili Taklit Öğreniminin (Ho ve Ermon (2016)) adapte edilmesi söz konusu olabilir, aksi takdirde Davranışsal Klonlama (Torabi ve vd. (2018)) yaklaşımı ajanların eğitimi için kullanılabilir. Seyrek ödüllerin olduğu bu tür karmaşık ortamlarda, Merak ödül sinyali (Pathak ve vd. (2017)) ve Rastgele Ağ Damıtma (Burda ve vd. (2018)) gibi içsel ödüllerin tanıtılması da literatürde önerilmektedir. Sunulan çalışmanın geliştirilmesi için tüm bu yaklaşımlar ayrı ayrı ya da aynı anda birlikte de kullanılabilir.

Genel olarak, bu çalışmada ajanların pekiştirmeli öğrenme ile eğitilebileceği tenis oyunu için gerçekçi bir simülasyon platformu oluşturulabileceği gösterilmiştir. Çalışma, tatmin edici davranış sergileyen, test uygulamasında akıllı tenis ajanlarının geliştirilmesi ile sonuçlanmıştır. Yapılan deneyler, büyük oranda yapay ajanlar ile uzman kullanıcıların benzer davranış sergilediğini göstermektedir.

Araştırmacıların katkısı

Bu araştırmada; Bakhtiyar Osmanov, araştırmanın tasarlanması, uygulama kodlamasının gerçekleştirilmesi, analizlerin yapılması, verilerin toplanması, bulguların değerlendirilmesi; M. Fatih Demirci araştırma sürecinin tasarlanması, izlenmesi, kontrolü, değerlendirilmesi ve makalenin hazırlanması kısımlarına katkı sağlamıştır.

Çıkar çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Akkaya I, Andrychowicz M, Chociej M, Litwin M, McGrew B, Petron A, Paino A, Plappert M, Powell G, Ribas R. (2019). Solving rubik's cube with a robot hand. arXiv preprint arXiv:1910.07113, 10. <https://arxiv.org/abs/1910.07113>

Albers P, de Vries D. (2001). Elo-rating as a tool in the sequential estimation of dominance strengths. *Animal Behaviour*, pages 489–495. <https://palbers.home.xs4all.nl/AlbersDeVries.pdf>

Alzubi J, Nayyar A, Kumar A. (2018). Machine learning from theory to algorithms: an overview. In *Journal of physics: conference series*, volume 1142, page 012012. IOP Publishing. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1142/1/012012/meta>

Ayodele T. (2010). Types of machine learning algorithms. *New advances in machine learning*, 3:19–48. <https://www.intechopen.com/chapters/10694>

Burda, Y., Edwards, H., Storkey, A., Klimov, O. (2018). Exploration by random network distillation. arXiv preprint arXiv:1810.12894. <https://openreview.net/forum?id=H1lJnR5Ym>

Cao Z, Wong K, Bai Q, Lin C. (2020). Hierarchical and non-hierarchical multi-agent interactions based on unity reinforcement learning. *Proceedings of the International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*, pp. 2095-2097. <https://www.ifaamas.org/Proceedings/aamas2020/pdfs/p2095.pdf>

Gao W, Graesser L, Choromanski K, Song X, Lazic N, Sanketi P, Sindhwani V, Jaitly N. (2020). Robotic Table Tennis with Model-Free Reinforcement Learning. *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, Las Vegas, NV, USA, pp. 5556-5563, doi: 10.1109/IROS45743.2020.9341191. <https://arxiv.org/abs/2003.14398>

Ho J, Ermon S. (2016). Generative adversarial imitation learning. arXiv preprint arXiv:1606.03476. <https://arxiv.org/abs/1606.03476>

Jaderberg M, Czarnecki W, Dunning I, Marris L, Lever G, Castaneda A, Beattie C, Rabinowitz N, Morcos A, Ruderman A. (2019). Human-level performance in 3d multiplayer games with population-based reinforcement learning. *Science*, 364(6443):859–865. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aau6249>

Lample G, Chaplot D. (2017). Playing fps games with deep reinforcement learning. In *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, volume 31. <https://dl.acm.org/doi/10.5555/3298483.3298548>

Millington I, Funge J. (2009). *Artificial intelligence for games*. CRC Press. https://spada.uns.ac.id/pluginfile.php/629724/mod_resource/content/1/gameng_AIFG.pdf

Muelling K, Boularias A, Mohler B, Schölkopf B, Peters J. (2014). Learning strategies in table tennis using inverse reinforcement learning. *Biol Cybern* 108(5):603–619. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00422-014-0599-1>

Silver D, Hubert T, Schrittwieser J, Antonoglou I, Lai M, Guez A, Lanctot M, Sifre L, Kumaran D, Graepel T. (2018). A general reinforcement learning algorithm that masters chess, shogi, and go through self-play. *Science*, 362(6419):1140–1144. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aar6404>

- Pathak D, Agrawal P, Efros A, Darrell T. (2017). Curiosity driven exploration by self-supervised prediction. In International Conference on Machine Learning, pages 2778–2787. PMLR. <https://proceedings.mlr.press/v70/pathak17a/pathak17a.pdf>
- Tebbe J, Krauch L, Gao Y, Zell A. (2021). Sample-efficient Reinforcement Learning in Robotic Table Tennis. IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2021), May 31 - June 4. <https://arxiv.org/abs/2011.03275>
- Torabi F, Warnell G, Stone P. (2018). Behavioral cloning from observation. arXiv preprint arXiv:1805.01954. <https://arxiv.org/abs/1805.01954>
- Torrado R, Bontrager P, Togelius J, Liu J, Perez-Liebana D. (2018). Deep reinforcement learning for general video game ai. IEEE Conference on Computational Intelligence and Games (CIG), 1–8. IEEE. <https://arxiv.org/abs/1806.02448>
- Wang X, Liu C., Sun L. (2022). Lightweight Deep Learning Models for Resource Constrained Devices. Computational Intelligence and Neuroscience, vol. 2022, Article ID 4623561, 10 pages. <https://www.hindawi.com/journals/cin/si/635175/>
- Weeraman A. (2023). Erişim adresi: <https://github.com/aweeraman/reinforcement-learning-tennis>. Son erişim: Mayıs 2023.
- Yurtsever, A., Dengiz, B. , akır, B. & Karaođlan, İ. (2022). Dağıtık üretim içeren dağıtım şebekesi genişleme problemi için yeni bir matematiksel model. Journal of Turkish Operations Management , 6 (1) , 1134-1152. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jtom/issue/70951/1106004>



Journal of Turkish Operations Management

The effect of green human resource management on green supply chain management

Leila Chehrehgani*

Center for European Studies, Kharazmi University, Tehran, Iran
e-mail: chehrehgani@gmail.com, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0003-4088-9054>

Article Info

Article History:

Received: 29.11.2022
Revised: 05.05.2023
Accepted: 27.08.2023

Keywords

Green Human Resource Management,
Green Supply Chain Management

Abstract

In the 21st century, concerns about environmental warnings has increased the importance of protecting the environment in different societies and organizations. A review of the literature in this regard states that appropriate environmental management in companies requires the support of human resource management. This research aims to investigate the effect of green human resource management on the green supply chain management through the role of recruitment and selection, training, performance evaluation and reward on the green supply chain management. In this research, data were collected through a researcher-made questionnaire and distributed electronically between 70 managers and experts from 40 manufacturing companies of various industries in Iran of which 59 questionnaires were received. The response rate of the questionnaires was 0.843. All of the 59 questionnaires were used. The reliability of the questionnaire was tested by Cronbach test. Cronbach's alpha in the questionnaire was 0.70 which is a very acceptable value. Data in this research are analyzed through SEM, which was introduced in the late 1960s. It provided a tool for researchers to study the relationships between several variables in a model. Finally, data was analysed using the LISREL software. The results affirmed the variable of recruitment and selection with the loading factor of 4.38, training with the loading factor of 4.37, performance evaluation with the loading factor of 4.91, and reward with the loading factor of 4.92. The level of significance in all variables is less than 5%, which indicates confirmation of the relevant hypotheses. The results affirmed that the factors of the green human resources management were very influential on the green supply chain management. Additionally, the results illustrated that recruiting educable staff with competencies, skills and knowledge, their training and development, their performance evaluation and sharing facilities with them, all have significant impacts on green supply chain management.

1. Introduction

The world today is facing hazardous problems such as global warming, increasing amounts of greenhouse gases, various types of pollution, etc. Therefore, environmental protection and related strategies soon became a priority in organizational innovation and strategy. The organizations had to focus on profitability and competitive advantage on one hand, and eliminate or minimize waste (energy, greenhouse gas, chemical / hazardous waste) on the other hand. The history of green supply chain management dates back to the early 1990s, when it was first introduced at Michigan State University. From the perspective of product life cycle, Green SCM includes all stages of raw materials, product design and manufacturing, sales and transportation, the use and recycling. By using SCM and green technology, the companies can decrease the environmental damages and benefit from resources and energy optimally. The issues of environmental sustainability and green organizations are growing in management

programs, creating a green revolution in traditional principles such as human resources and operations management. In the HR field, the topic of "Green Human Resource Management" (GHRM) has been emerged and introduced as a new research line. Sustainability in operations management has attracted considerable attention and is moving into a new competitive subject. Topics such as Green Supply Chain Management (GSCM) are trending in the scientific community. Thus, GHRM and GSCM influence the programs of scientists and professionals in HRM and operations management, respectively. Supply chain greening is the process of considering environmental criteria or considerations throughout the supply chain. With the advent of environmental management, biocompatible production strategies and the literature on green supply chain management grew. The emergence of the green supply chain has been one of the most significant advances in the last decade, providing opportunities for companies to tailor their supply chains to environmental goals. The set of internal and external actions of each firm across the supply chain that helps prevent pollution and improve the environment is called a green supply chain. Greening the supply chain provides a great opportunity for those concerned with sustainable consumption issues and environmental business practices. (Shekari, 2013). The main idea of the green supply chain is to reduce waste. In recent years, green SCM has become a preventive approach to improve environmental performance and plays an important role in traditional SCM. Unlike traditional environmental management, the concept of green SCM assumes full responsibility of a company for its products, from the stage of extraction and preparation of raw materials to the final product and waste (Safaei, 2013). Extending government regulations to meet environmental standards and growing consumer demand for supply of green products to the supply chain, which enforces all activities related to the flow of goods from the raw material stage to the delivery of goods to final consumers, as well as information flow throughout the chain, leads the emergence of the new concept of "Green Supply Chain Management", which includes the stages of the product life cycle from design to recycling. Adopting an investment strategy to improve the environmental performance of the supply chain brings many benefits, such as saving energy resources, reducing pollutants, eliminating or reducing waste, creating value for customers, and improving productivity for companies and organizations (Imani and Ahmadi, 2010). In the 21st century, growing concerns about environmental warnings have enhanced the importance of environmental protection in various communities and organizations (Rajabpour, 2017). A review of the specialized literature in this regard indicates that proper environmental management in companies needs the support of HRM. Human resource is a key factor for excellent operations management, including aspects of SCM that can have a positive effect on reducing barriers to the success of SCM. If human resource is important for SCM, it will be important for green SCM too. Consequently, it reduces barriers to adopt green SCM techniques. In the content of greener organizations, HR converts more to green SCM and green SCM as a more advanced and more active approach to environmental management in organizations, affects the behavioral and human aspects and becomes important for green HRM (Chiappetta Jabbour and Sousa Jabbour, 2016-1). Given that environmental management is an emerging organizational goal, human resource functions will be very helpful in this regard. Therefore, the general objective of this study is to investigate the impact of green HRM on the green SCM in manufacturing companies. For this purpose, four outstanding aspects of human resource management are selected as the independent variables to survey their effects on supply chain management. On the other hand, the five aspects of internal environmental management, green purchasing, eco-design, investment recovery and reverse logistics are the under-study dimensions of green supply chain management.

Four hypotheses based on four aspects of GHRM are defined to study as the particular objectives of this research. They are: the effect of selection and recruitment on GSCM, the effect of training on GSCM, the effect of performance evaluation on GSCM and finally the effect of reward on GSCM.

The structure of this paper is as follows: in Section 2, the literature of GSCM and GHRM is reviewed, section 3 presents the problem statement. Section 4 demonstrates the research hypotheses and method. Section 5 presents data analysis and finally, the conclusion and suggestions is included in Section 6.

2. Literature Review

The history of green SCM dates back to the early 1990s, when it was first introduced at Michigan State University. With the advent of environmental management, biocompatible production strategies and the literature on green SCM grew. The emergence of the green supply chain has been one of the most significant advances in the last decade, providing opportunities for companies to tailor their supply chains to environmental goals. The set of internal and external actions of each firm across the supply chain that helps prevent pollution and improve the environment is called a green supply chain. Greening the supply chain creates a great opportunity for those concerned with sustainable consumption issues and environmental business practices. (Shekari, 2013).

The components of green supply chain are green design, green materials, green production, green marketing and green consumption (Seyed Javadin et al., 2016):

- The green design of the company should consider an overall description of the environment, health and safety in the process of raw materials, production and distribution; its purpose is to prevent pollution at the source.
- Green materials consume less resources and energy and make less noise, they are non-toxic and do not destroy the environment. Green productivity is much greater than total management productivity.
- Green production is also known as clean production. At different levels of development or in different countries, the names of green production are not exactly the same. But the main meaning is the same.
- The purpose of green marketing is to create coordination between the goals of social, environmental and economic development and promote the perception of overall sustainable development.
- Green consumption is in fact the attempt to select and use an environmental friendly product or service and prevent a waste product that may harm the environment.

In the 1990s, the researches on greening became popular in organizations. It was mainly due to development of environmental management systems and the beginning of ISO 14001, the largest environmental management system in the world. As the number of studies on organizational greening increased, it was found that organizations needed support for human resource techniques such as training, performance evaluation and reward for greening. The most important study at that time was related to human resources and environmental management system. This study was conducted by Wehrmeyer (1996) in his book (Greening People). The need for human resource management support for green issues was reinforced by studies that more broadly discussed the positive effects of human resources on corporate performance. Since then, a number of studies have been conducted on this subject that emphasize the following:

- HR techniques are important for the implementation of environmental management systems and their maintenance;
- Human aspects are important for adopting more advanced environmental techniques;
- Manufacturing the products with lower environmental harm, requires human resource support;
- Environmental education is one of the main methods for human resources to help support the environmental management (Renwick et al., 2008).

By 2008, integrating the human resource and the environmental management remained unknown. A study conducted by Renwick et al. (2008) has been named after this emerging field, and with its introduction, it became more systematically on the research agenda of HRM researchers. As a result, human resource scientists were encouraged to focus more on environmental issues in their studies (Jackson et al., 2014). Beard and Rees (2000) argued that in order to achieve better environmental outcomes in moving toward green SCM, organizations should adopt participatory management structures and processes to use employees' ideas, innovations, and creativity. Today, many experts recommend the use of green teams. The steps of hiring a green team are: reviewing the environment, establishing an environmental plan, establishing an environmental unit, establishing working groups for environmental activities, setting the organization's environmental goals, combining environmental issues with the organization's monitoring framework, and reviewing environmental program achievements. Hiba and Ayham (2016) in a study of 110 manufacturing companies in Palestine, analyzed the management of green human resources in quantitative and qualitative dimensions. They examined green recruitment and selection, green education and development, green operations management and evaluation, green reward and service compensation, enhancing green employee capacity, and green management organizational culture. Seyed Javadin et al. (2016) in their research stated that the world is entering and experiencing a green economy, an economy in which human capital, as a fundamental axis in economic growth, shows the superiority of the company share over physical capital, and the need for survival will be considering the consumer demand and future job changes. Environmental issues and sustainable development will be among the priorities of these changes. HRM with a focus on human capital and environmental management programs and their integration in their activities introduces green HRM and provides interesting facilities and conditions for all activists and investors to participate in these

programs while improving the environmental performance of the organization and paying attention to sustainable development policies to create a beneficial relationship. Green management is moving from industry-based financial systems to a talent-based economy by optimizing resources and reducing energy waste.

A summary of studies conducted in this field are as follows:

- Beard and Rees (2000) believe that organizations should adopt participatory management structures and use employees' ideas, innovations and creativity so that they can move towards green SCM. Many experts recommend the use of green teams. The steps of organizing a green team are: reviewing the environment, establishing an environmental plan, establishing an environmental unit, establishing working groups for environmental activities, setting the organization's environmental goals, combining environmental issues with the organization's monitoring framework and reviewing environmental program achievements.
- According to Yu (2001), consumers are aware that their purchases affect the environment and are encouraged to consider not only the quality of the goods, but also to the production conditions. Green consumption first began in Europe and peaked in the 1980s, and was even more pronounced in Germany. Consumers have advocated for producers considering environment. As a result, green consumerism has made environmental awareness as a competitive advantage for producers. Green Consumerism emphasizes that producers must ensure that their products conform to environmental standards.
- Shang et al. (2010), by studying an electronics company, extract 22 indicators using factor analysis to measure the green supply chain in the field of electronics industry.
- Ren et al. (2010) present the multi-objective model of economic optimization of energy distribution systems. Their model reduces CO₂ and fossil fuels, which has negative consequences for the environment.
- Ip et al. (2011) provide a comprehensive approach to modeling and evaluating supply chain performance. For this purpose, they consider six criteria: product reliability, employee satisfaction, customer satisfaction, timely delivery, profitability growth and efficiency. They identify 34 green supply chain indicators in the field of retail and allocate them to eight categories of environmental management systems, energy use, attention to inputs, product, packaging, transportation, consumption and waste.
- Zhu et al. (2012) believe that there are barriers and limitations for selecting suppliers from the perspective of environmental concerns. Some of these limitations are: environmental government regulations, the company's environmental purchasing mission, potential liability for hazardous materials disposal, and the cost of disposing of hazardous materials. They believe that for producers, the production and supply of green products to markets are not enough. They need consumers who want green products. In fact, green firms need green markets.
- Bose and Paul (2012), regarding the impact of green SCM activities on costs, find that many large companies with strong R&D sectors can see a significant reduction in their costs by implementing such policies. They identify the indicators of green SCM and present the capabilities of green supply management, green purchasing, environmental commitment, environmental assessment of suppliers and cooperation with suppliers under five components.
- Huang (2014) discusses green purchasing, in which in the process of production and supply of products, large quantities of raw materials, office supplies, etc. are needed. In order for companies to be able to produce green products, they must use materials and products that comply with environmental standards. Therefore, companies should consider the environmental issues when negotiating with their suppliers (in order to maintain market share or sometimes only for survival). Some reasons for companies to turn to green purchasing are responding to consumers' interest in environmental friendly products, distinguishing between company products and competitors, and cost savings. Most companies consider principles to be more environmental friendly, some of which are:
 - Preparing the list of chemicals that should not be used;
 - Preparing the list of accepted products,

- Cooperation with suppliers to enhance environmental performance and take into account multiple environmental features when making purchasing decisions.
- Geng et al. (2016) in the field of studying the impact of green supply chain on the performance of the organization, survey 11127 manufacturing companies in Asian developing countries from 1996 to 2015. The results of these studies affirm that the establishment of green SCM improves the performance of organizations from four different perspectives: economic, environmental, operational and social performance. This study also states that the type of industry, organization size, ISO certification and export orientation of the organization, modulates many operational relationships of green SCM in the organization.
- Hiba and Ayham (2016) in a study of 110 manufacturing companies in Palestine, analyze the green HRM in quantitative and qualitative dimensions and examine green recruitment and selection, green training and development, green operations management and evaluation, green rewards and service compensation, enhanced green employee empowerment, and green management of organizational culture.
- Imani and Ahmadi (2010) express in their research that extending government regulations to meet environmental standards and growing consumer demand for supply of green products to the supply chain, enabling all flow-related activities from the raw material stage to the delivery of goods to final consumers, as well as the flow of information throughout the chain, all lead to the emergence of the new concept of "green supply chain management", which includes the stages of the product life cycle from design to recycling. Adopting an investment strategy to improve the environmental performance of the supply chain brings many benefits, such as saving energy resources, reducing pollutants, eliminating or reducing waste, creating value for customers, and ultimately improving productivity for companies and organizations. Their paper begins with stating the importance of GSCM for organizations and companies, then examines the factors affecting companies or drivers of compliance and acceptance of GSCM. These drivers can be categorized in market, government, industry, competitors and organizations.
- Rajabpour (2016) states in his article that in the 21st century, growing concerns about environmental warnings have enhanced the importance of environmental protection in various communities and organizations. A review of the specialized literature in this regard indicates that proper environmental management in companies needs the support of HRM. Given that environmental management is an emerging organizational goal, human resource functions will be very helpful in this regard. Therefore, the purpose of this study is to investigate the impact of HRM on the adoption and implementation of environmental management.
- Seyed Javadin et al. (2016) in their research state that the world is entering and experiencing a green economy in which human capital, as a fundamental axis in economic growth, show the superiority of their share over physical capital. In order to survive, it is necessary to pay attention to the demands of consumers and future changes in jobs; environmental issues and sustainable development are among the priorities of these changes. HRM with a focus on human capital and environmental management programs and their integration in their activities introduces green HRM and provides interesting facilities and conditions for all activists and investors to participate in these programs while improving the organization's environmental performance and paying attention to sustainable development policies to create a beneficial relationship. Green management is moving from industry-based financial systems to a talent-based economy by optimizing resources and reducing energy waste.
- Nejati M. et al. (2017) investigate the link between GHRM and GSCM, considering the effect of employees' resistance to change in 161 manufacturing industries in Iran. Their results affirm the positive and significant impact of GHRM on GSCM and confirm the integration between HRM and green management. They find that "Green Development and Training", "Green Employee Empowerment", and "Green Pay and Reward" have the most positive influence on GSCM. They also find that "Resistance to Change" have a moderating effect on the link between GHRM (particularly green recruitment and selection) and GSCM, since it is the first step for building a sustainable corporate culture.
- Gupta H. (2018) identify the outstanding practices of GHRM and evaluated the manufacturing companies' performance using GHRM practices.

- Formanek (2019) investigates the integration of Sustainable Facility Management (SFM) with Green Supply Chain Management as well as the use of SFM in the innovation sustainable business environment in the United Arab Emirates. The study examines the role of GSCM in adopting environmental friendly approaches and states the role of Facility Management in Green Supply Chain Management.
- Polat (2019) investigates the main components of GSCM and GHRM application. This research also seeks for the most effective applications of GSCM and GHRM in the ecological performance of the organization. The conclusion illustrated significant differences between GSCM and GHRM relations between SC managers and HRM managers.
- Ali et al. (2020) investigate different sectors of a developing economy and their ability to manage green supply chain with respect to aspects of green procurement, green logistics, green products and process designs and regulatory framework. Their study states that corporate social responsibility (CSR) as an environmental friendly department, creates culture for implementation of CSR activities. They study the differences made by CSR departments in the sample organizations in achieving emission control objectives.
- Liu J. et al. (2020) develop a moderated multiple mediation model to state the effect of green training in Chinese manufacturing companies. They uncover the influence mechanism between green procurement and top management support. They find that their relationship could be mediated by green training on awareness and responsibility and on technical knowledge and skills.
- Al-Swidi et al (2021) investigate the outcomes of employees' green behavior and green organizational culture in Qatar. The results confirm the effect of green leadership behavior, environmental concern and GHRM on green organizational culture. Additionally, they state significant positive relationship between green organizational culture, employees' green behavior and organizational environmental performance.
- Samad S. et al. (2021) investigate the associations of GSCM methods and manufacturing companies' performance using the Natural Resource-Based View (NRBV) and Institutional Theory. In their study, they find positive and significant effect of mimetic, normative, and coercive pressures on GSCM. Additionally, the GSCM and the firms' environmental, economic and operational performances have positive and significant relevance. According to their moderation analysis, collaborative capabilities have significant moderating effects on the association of GSCM and environmental and economic performance.
- Dong Z. et al. (2021) identify the impact of GSCM on clean technology innovation (CTI) in Chinese firms and compare the effects of forward and backward GSCM and the differences by industry and home country. Their results affirm that CTI benefits from GSCM.
- Stekelorum R. et al. (2021) examine the extent to which different combinations of internal and external GSCM practices affect third-party logistics providers' (TPLs) financial and operational performances considering natural resource-based view and coordination theory. They prove that combined internal and external GSCM practices improve both operational and financial performances.
- Lamba N. et al. (2021) study the barriers causing the slow implementation of GSCM. They present the government policies and regulations as the most impacted barrier causing the slow implementation of GSCM in the Indian context.
- Midya et al. (2021) present a multi-stage multi-objective fixed-charge solid transportation problem (MMFSTP) with a green supply chain network system under an intuitionistic fuzzy environment.
- Feng Y. et al (2022) define green supply chain innovation GSCI as innovative works by manufacturers that applied emergent digital technologies to integrate environmental issues into SCM activities to enhance efficiency of environmental outcomes of GSCM activities, including internal environmental management, green purchasing, customer cooperation, inventory recovery, and eco-design.
- Das et al. (2022) present a multi-objective optimization problem for designing a solid green logistics modelling. The objectives of the presented problem are to minimize the total financial costs along with carbon emissions cost, to maximize the customers' satisfaction level simultaneously, and to maximize the

sustainable effectiveness conveyances. The global criterion method is introduced in this paper to extract a non-dominated solution to the proposed problem.

- Knouch et al. (2022) examine the relationship between GSCM, environmental collaboration (EC) and firm sustainable performance (FSP). They also investigate the help of mediating role of environmental collaboration in this transition. The results affirmed the positive effect of GSCM on FSP and EC as well as the mediation effect of environmental collaboration in the relationship between GSCM and FSP.

Research and experimental tests affirm that the establishment of a GHRM system in the organization creates a desire in employees to voluntarily consider the issue of environmental protection in all processes related to their job.

3. Problem Statement

GHRM is human resource management with an environmental approach. This means that the organization is committed to teaching environmental concepts, including those containing ISO14001, to all people at all levels of the organization. In fact, GHRM is a new term that leads to improving the environmental results of organizations by aligning their actions in line with the goals of environmental management.

GSCM, includes integrating supply chain management with environmental requirements in all phases of product design, selection and supply of raw materials, production, distribution and transfer processes, delivery to the customer and finally after consumption, recycling management and reuse in order to maximize the efficiency of energy and resource consumption while improving the performance of the entire supply chain.

This study is conducted to investigate the role of GHRM in GSCM in 40 manufacturing companies in Iran. The general objective of this study is to check whether the GHRM affects the GSCM or not. For this purpose, four particular objectives are defined as the hypotheses of the study. This research investigates the effects of recruitment and selection, training, performance evaluation and reward variables on Green Supply Chain Management. The conceptual model of the research is designed as Figure (1):

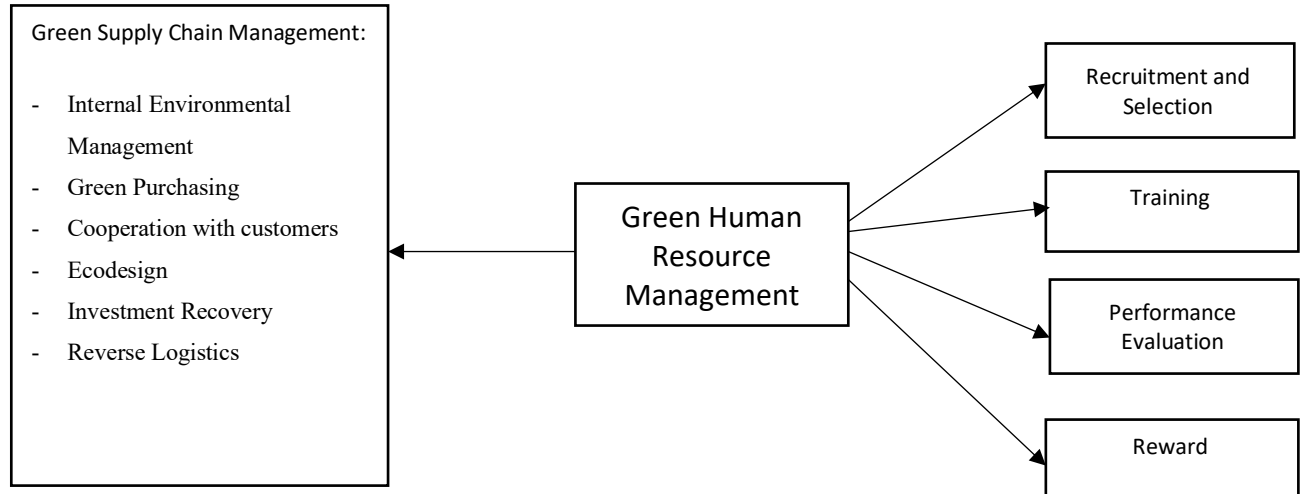


Figure 1. Conceptual Model of Study According to Charbel et al. (2016)

4. Research Hypotheses and Method

The hypotheses of this study are defined as below:

- H1:** Selection and Recruitment have significant effect on green SCM.
- H2:** Training has significant effect on green SCM.
- H3:** Performance Evaluation has significant effect on green SCM.
- H4:** Reward has significant effect on green SCM.

The research was conducted using census method. In this way, the questionnaires were distributed among 70 managers and experts of 40 manufacturing companies, of which 59 out of 70 questionnaires were returned. The response rate was 0.843. This data was collected in 2019. The results obtained from the analysis of demographic data based on descriptive statistics are as follows:

❖ Age of respondents

The biggest category of respondents age belongs to 40 to 50 years category with a frequency of 24 (40.7%) and the smallest for less than 30 years category with a frequency of 7 (11.9%). These results indicate that the managers of the organizations under study are people with high age experience.

❖ Education of respondents

Findings obtained from the questionnaire indicate that the highest frequency in terms of university degree level are respondents with a master's degree with a frequency of 52 (88.1%). This result indicates the existence of higher education managers in the organizations participated in this research.

❖ Years of using the organization's services

Most managers with a history of 10 years or more in using the services of their organization, have a frequency of 35 (59.3%) and the rate of 3 frequencies (5.1%) have a history of less than a year. This result indicates that the people who participated in completing the questionnaire of this research have a high history of using the services of their organizations. It can be said that people with high work experience have participated in this questionnaire.

In order to investigate the reliability of the questionnaire, the Cronbach's alpha test is applied. Cronbach's alpha coefficient, introduced by Cronbach on 1951 at Stanford University, is a widely used and common method to determine the internal correlation of the items of a variable and represents the fit of a group of items that measure a construct. The value of this coefficient is between 0-1. The more the coefficient is, the questionnaire has higher reliability.

The Cronbach's alpha of the structures in the study is described in Table (1):

Questions Target	Cronbach's alpha
Green Supply Chain Management	0.777
Selection and Recruitment	0.626
Training	0.684
Performance Evaluation	0.708
Reward	0.627
Total Alpha	0.7

To evaluate the reliability of the questionnaire, the factor loadings of the variables were measured as illustrated in Figure (2):

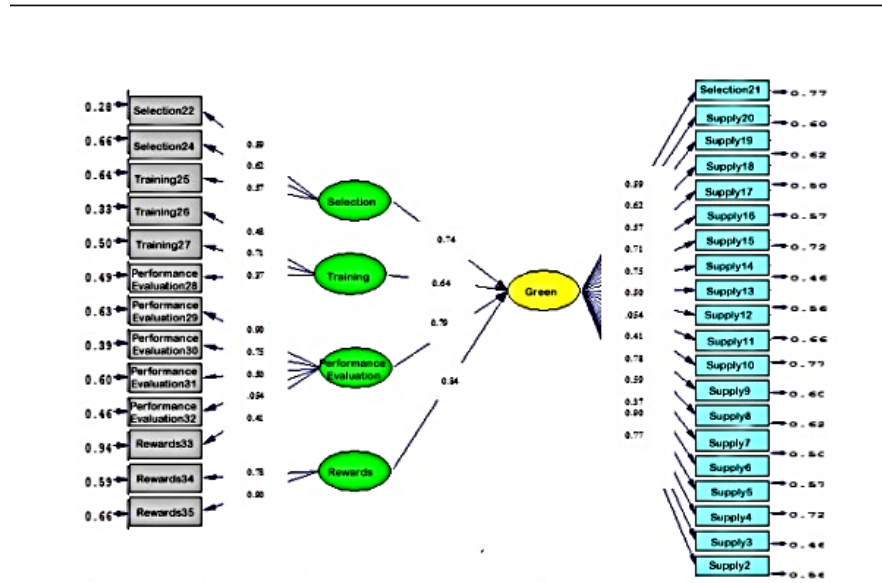


Figure 2. Variables factor loadings

The factor loadings express the relationship of each variable to the underlying factor. Factor loading is basically the correlation coefficient for the variable and factor and indicates the variance explained by the variable on that particular factor. It is a number between 0-1 and is calculated by SPSS software. The factor loading less than 0.3 indicates the weak relation and that factor should be removed. The factor loading between 0.3 and 0.6 is acceptable and more than 0.6 is very favorable.

As indicated in Figure 2, the amount of factor loading in the effect of the “selection” variable on the green supply chain is equal to 0.74; the effect of “training” on the green supply chain is equal to 0.64; the effect of the “performance evaluation” variable on the green supply chain is equal to 0.79 and the effect of “reward” variable on green supply chain is equal to 0.84 which is the highest value. As it is observed, all factor loadings are higher than 0.6 which are very favorable factor loadings. It indicates that all independent variables have very favorable effect on dependent variable in this study.

After calculating the factor loading, a significance test should be performed. The T-statistic value test is performed to affirm the significance of the relations. The T-value more than 1.96 confirms the significance of the relationship between the variables. The value of T statistic is 4.38 in the selection variable, 4.37 in the training variable, 4.91 in the performance evaluation variable and 4.92 in the reward variable. All variables are higher than 1.96; so, it can be concluded that the effect of all variables under study on the green supply chain is significant.

Figure 3. indicates that T-values.

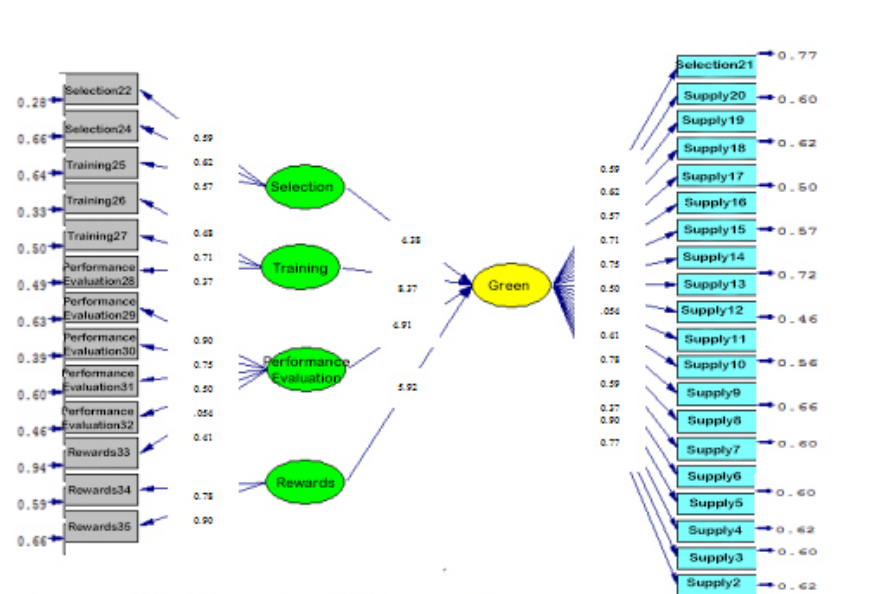


Figure 3. T-values in variables

To determine the fit of the model, a number of goodness of fit indices have been used, as presented in Table 2. Since the RMSEA index is less than 0.1, the model has a good fit. Other goodness of fit indices are in the accepted range.

Table 2. Goodness of fit indices

Fit Index	SRMR	RMSEA	GFI	AGFI	NFI	NNFI	IFI
Acceptable Values	<0.1	<0.1	>0.9	>0.9	>0.9	>0.9	0-1
Calculated Values	0.036	0.070	0.93	0.97	0.93	0.95	0.95

5. Data Analysis

Data in this research are analyzed through Structural Equations Modeling. SEM, introduced in the late 1960s, provided a tool for researchers to study the relationships between several variables in a model. The power of this technique in the development of theories has led to its widespread application in various sciences such as marketing, HR management, strategic management and information systems. One of the most important reasons why researchers use SEM so much is the ability to test theories in the form of equations between variables. Another reason is taking into account the measurement error by this method that allows the researcher to report the analysis of data by calculating the measurement error. Conventional models in structural equation modeling (SEM) actually consist of two parts: a measurement model that examines how hidden variables are explained by explicit variables (questions) and a structural model that states how hidden variables are linked to each other. (Davari and Rezazadeh, 2013).

Covariance-Based approach (CBSEM)

In covariance-based approach, more attention is paid to estimate a set of model parameters; and the goal is to bring the theoretical covariance matrix closer to the covariance matrix observed in the estimation sample. This approach estimates the path coefficients and factor loadings using the minimization of the difference between the sample-based covariance matrix and the model-based covariance matrix. The most common and famous software in this field is LISREL software.

Given the compatibility problem in large samples, one can question the appropriateness of Partial Least Squares and ask why this technique cannot guarantee one of the key features of a statistical model (estimator stability). The answer is that this approach enters different situations with its own principles. The purpose of covariance-based structural equations modeling is to determine the parameter matrix of model Φ that the covariance matrix predicted by the theoretical model $\Sigma(\Phi)$ is very close to the covariance matrix of sample S . For this purpose, the function $F(S, \Sigma)$ must be defined. When $S = \Sigma$, this function has a value of zero. When the value of the function is positive, the difference between Σ and S increases. Since the sample covariance matrix is measured based on the index probability, the function that is widely used in this regard is the function of maximizing theoretical normal.

Kolmogorov-Smirnov test is used to check the normality of the data. In the Kolmogorov-Smirnov test, the null hypothesis in which the data distribution is normal is tested at the error level of 0.05. Therefore, if the significance level is greater than and equal to 0.05, then there will be no reason to reject the null hypothesis. In other words, the distribution of data will be normal. The statistical hypotheses for this test are set as follows:

H0: Data Distribution of the variable is normal

H1: Data Distribution of the variable is not normal

The summary of Kolmogorov-Smirnov test is presented in table 3.

Table 3. The summary of Kolmogorov-Smirnov test

Variable	Kolmogorov-Smirnov
----------	--------------------

	Test statistics	Significance level
Selection and Recruitment	0.112	0.081
Training	0.141	0.112
Performance Evaluation	0.215	0.218
Reward	0.164	0.110
Green Supply Chain	0.168	0.317

Based on the information in Table. 2 (Kolmogorov-Smirnov test results), the significance level in all research variables is greater than 0.05. In other words, the results of the table affirm that due to the fact that the significance level of all variables are greater than 0.05, it can be stated at the 95% confidence level that the null hypothesis that the distribution of research data is normal, is confirmed. Therefore, due to the normality of the data, LISREL software is used.

Finally, the results of statistical analysis analyzed with LISREL software are summarized in Table 4.

Table 4. The data analysis results

Hypothesis	t-value	p-value	Result
Selection and Recruitment have significant effect on green supply chain management.	4.38	0.0000	Hypothesis accepted
Training has significant effect on green supply chain management.	4.37	0.0000	Hypothesis accepted
Performance evaluation has significant effect on green supply chain management.	4.91	0.0000	Hypothesis accepted
Reward has significant effect on green supply chain management.	4.92	0.0000	Hypothesis accepted

Hypothesis 1. Selection and Recruitment have significant effect on green SCM.

Statistical analysis: The variable of Selection and Recruitment with a factor loading of 0.74 affects the green supply chain. The value of significance level is significant with significance level of $0.000 > 0.50$. The t-statistic with a value of 4.38 is higher than 1.96. Therefore, it can be concluded that Hypothesis H0 is rejected, and Hypothesis H1, which is the main hypothesis of the research, **is confirmed**.

Hypothesis 2. Training has significant effect on green SCM.

Statistical analysis: The Training variable with a factor loading of 0.64 affects the green supply chain. The value of significance level is significant with significance level of $0.000 > 0.50$. The t-statistic with a value of 4.37 is higher than 1.96. Therefore, it can be concluded that Hypothesis H0 is rejected, and Hypothesis H1, which is the main hypothesis of the research, **is confirmed**.

Hypothesis 3. Performance Evaluation has significant effect on green SCM.

Statistical analysis: Performance Evaluation variable with a factor loading of 0.79 affects the green supply chain. The value of significance level is significant with significance level of $0.000 > 0.50$. The t-statistic with a value of 4.91 is higher than 1.96. Therefore, it can be concluded that Hypothesis H0 is rejected, and Hypothesis H1, which is the main hypothesis of the research, **is confirmed**.

Hypothesis 4. Reward has significant effect on green SCM.

Statistical analysis: The Reward variable with a factor loading of 0.84 affects the green supply chain. The value of significance level is significant with significance level of $0.000 > 0.50$. The t-statistic with a value of 4.92 is higher than 1.96. Therefore, it can be concluded that Hypothesis H0 is rejected, and Hypothesis H1, which is the main hypothesis of the research, **is confirmed**.

6. Conclusion and Suggestion

In this study, four outstanding aspects of human resource management were selected as the independent variables to survey their effects on supply chain management. On the other hand, the five aspects of internal environmental management, green purchasing, eco-design, investment recovery and reverse logistics are the under-study dimensions of green supply chain management. Four hypotheses based on four aspects of GHRM were defined to study as the particular objectives of this research. They were: the effect of selection and recruitment on GSCM, the effect of training on GSCM, the effect of performance evaluation on GSCM and finally the effect of reward on GSCM.

Since according to human capital theory, human resource is considered as one of the most important and valuable resources of the organization, it is necessary to pay more attention to this irreplaceable capital in the organization. Therefore, human resource is one of the most important factors in environmental management and must be involved in strategic decisions. The companies will enhance their productivity by creating the job satisfaction in the employees. In GHRM, the employees have better feelings on their job when they are trained to be green. They learn the social dimensions of being green and extend the “green thinking” into all dimensions of their life. The good feedbacks of this thinking, will bring them the job satisfaction. Consequently, the productivity of the company as well as the organizational culture will be improved.

6.1. Managerial Implications

Taking into account the results of this research, the HR managers are suggested to pay strong attention to the process of select and recruitment in terms of selecting the applicants with the ability of learning green issues. They are supposed to select those job applicants who are not only interested in environment, but also saving the earth is one of their concerns.

The managers are recommended to hold training courses with the aim of acquiring knowledge and skills in the way of thinking and attitude for managers and employees so that the companies will promote the organizational culture to successfully implement an environmental management system. Environmental training should be of such a good quality and quantity that each employee could gain the necessary knowledge of social, cultural and environmental conditions and be aware of their duties and observe environmental considerations while working. According to the research results, it can be stated that the more the companies are efficient and effective in terms of human resource management functions, the more successful in implementing and adopting environmental management systems. Therefore, the managers are strongly recommended to consider the performance evaluation of the employers so that they will assure the output of the work force would be in line with green supply chain management.

The results of this study affirmed the positive and significant effect of reward on green supply chain management. Consequently, by considering this factor and implementing the suitable reward system, managers can improve the company achievements in terms of green supply chain management.

Applying above suggestions can bring valuable achievements for companies and help them to gain the competitive advantages in the market because the green issues are getting more and more important for customers and end users.

6.2. Limitations and Suggestions

Like other researches, this study has some limitations. This study was conducted in Iran and within manufacturing companies. The statistical population can be extended to a larger population. The same research can be made in two or more populations simultaneously and the results can be compared. This study did not cover all human resource management factors. Considering the limitations, the study on more factors and variables of GSCM and GHRM can be selected and examined in future. Additionally, extending the study of non-manufacturing companies or investigating the industries in other countries is suggested to the scholars who aim to have researches in this field of study.

All researchers and scholars interested in this field are suggested to study more about these concepts and to evaluate the readiness of organizations in terms of human resource management to adopt environmental management.

Conflict of Interest

The authors declare there is no conflict of interest in the manuscript.

References

- Al-Swidi A.K., Gelaidan H.M., Mohammed Sahel R. (2021). The joint impact of green human resource management, leadership and organizational culture on employees' green behaviour and organisational environmental performance. *Journal of Cleaner Production*. Volume 316, 20 September 2021, 128112. DOI:10.1016/j.jclepro.2021.128112
- Ali, Sadia Samar, R. Kaur, Filiz Ersoz, B. Altaf, A. Basu, G.W. Weber (2020) Measuring carbon performance for sustainable green supply chain practices, *Central Journal of European Research*, 28, 1389-1416. <https://doi.org/10.1007/s10100-020-00673-x>
- Beard, Colin and Rees, Stephen (2000). Green Teams and the Management of Environmental Change in a UK County Council, *Environmental Management and Health*, Vol. 11, No. 1, pp. 27-38. DOI:10.1108/09566160010314161
- Bose, I., & Pal, R. (2012). Do green supply chain management initiatives impact stock prices of firms? *Decision Support Systems*, vol. 52, pp.624-634. DOI:10.1016/j.dss.2011.10.020
- Charbel Jose' Chiappetta Jabbour, Ana Beatriz Lopes de Sousa Jabbour (2016). Green Human Resource Management and Green Supply Chain Management: Linking Two Emerging Agendas. DOI:10.1016/j.jclepro.2015.01.052
- Das, S.K., Roy, S.K., Weber, GW. (2022). The Impact of Carbon Tax Policy in a Multi-Objective Green Solid Logistics Modelling Under Sustainable Development. In: Ali, I., Chatterjee, P., Shaikh, A.A., Gupta, N., AlArjani, A. (eds) Computational Modelling in Industry 4.0. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-7723-6_5
- Davari A, Rezazadeh A, (2013). Structural Equations Modeling with PLS, *Jahad Daneshgahi Journal*, 1st Publication
- Dong Zhiqing , Yusong Tan, Linhui Wang, Jiali Zheng, Shengming Hu. (2021) Green supply chain management and clean technology innovation: An empirical analysis of multinational enterprises in China. *Journal of Cleaner Production*, Volume 310, 10 August 2021, 127377 DOI:10.1016/j.jclepro.2021.127377
- Feng Yunting , Kee-hung Lai, Qinghua Zhu. (2022) Green supply chain innovation: Emergence, adoption, and challenges. *International Journal of Production Economics*, Volume 248, June 2022, 108497 DOI:10.1016/j.ijpe.2022.108497
- Formaneck, S. (2019). A study of sustainable facilities management from a green supply chain perspective in the United Arab Emirates . *Journal of Turkish Operations Management* , 3 (2) , 314-323 . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/pub/jtom/issue/51652/587607>
- Geng Ruoqi, Mansouri S. Afshin,(2016). Aktas Emel, The relationship between green supply chain management and performance: A meta-analysis of empirical evidences in Asian emerging economies. DOI: 10.1016/j.ijpe.2016.10.008
- Gupta H. (2018). Assessing organizations performance on the basis of GHRM practices using BWM and Fuzzy TOPSIS. *Journal of Environmental Management*, Volume 226, 15 November 2018, Pages 201-216 DOI:10.1016/j.jenvman.2018.08.005
- Hiba A. Masri, Ayham A.M. Jaaron (2016). Assessing Green Human Resources Management practices in Palestinian manufacturing context: An empirical study, *Journal of cleaner production* DOI:10.1016/j.jclepro.2016.12.087
- Huang, Yi-Chun & Yang, Minli & Wang, Yu-Chun. (2014). Effects of green brand on green purchase intention. *Marketing Intelligence & Planning*. 32. 10.1108/MIP-10-2012-0105. DOI:10.1108/MIP-10-2012-0105
- Imani M., Ahmadi A. (2010). Green human resource management, a new strategy in reaching competitive advantage. *Journal of vehicle engineering*, 1st year, no. 10

- Ip, W.H., Chan, S.L. and Lam, C.Y. (2011). Modeling supply chain performance and stability. *Industrial Management & Data Systems*, Vol. 111, No. 8, pp. 1332-1354. DOI 10.1108/02635571111171649. DOI:[10.1108/02635571111171649](https://doi.org/10.1108/02635571111171649)
- Jabbour, C.J; Jabbour, A.B.L; Teixeira, A.A; Freitas, W.R.S. (2012). Environmental development in Brazilian companies: The role of human resource management. *Environmental Development* 3, 137–147 DOI:[10.1016/j.envdev.2012.05.004](https://doi.org/10.1016/j.envdev.2012.05.004)
- Jackson, S. E., Schuler, R. S., Jiang, K., (2014). An Aspirational Framework for Strategic Human Resource Management. *The Academy of Management Annals*, 1-89. DOI:[10.1080/19416520.2014.872335](https://doi.org/10.1080/19416520.2014.872335)
- Knouch, M. & Çetin, O. (2022). The Mediating Role of Environmental Collaboration in the Effect of Green Supply Chain Management on the Firm Sustainable Performance: Evidence from Algeria . *Sosyal Bilimler Araştırma Dergisi* , 11 (2) , 212-221 . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/pub/ssrj/issue/70021/1112129>
- Lamba Neeraj, Priyavrat Thareja, (2021). Developing the structural model based on analyzing the relationship between the barriers of green supply chain management using TOPSIS approach. *Materials Today Proceedings, Volume 43, Part 1, 2021, Pages 1-8* DOI:[10.1016/j.matpr.2020.09.487](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.487)
- Liu j., Liu y., Yang L. (2020). Uncovering the influence mechanism between top management support and green procurement: The effect of green training. *Journal of Cleaner Production, Volume 251, 1 April 2020, 119674* DOI:[10.1016/j.jclepro.2019.119674](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119674)
- Midya, Sudipta & Roy, Sankar & Yu, Vincent. (2021). Intuitionistic fuzzy multi-stage multi-objective fixed-charge solid transportation problem in a green supply chain. *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*. 12. 10.1007/s13042-020-01197-1. DOI:[10.1007/s13042-020-01197-1](https://doi.org/10.1007/s13042-020-01197-1)
- Nejati M., Rabiei S., Jose C., Jabbour C. (2017). Envisioning the invisible: Understanding the synergy between green human resource management and green supply chain management in manufacturing firms in Iran in light of the moderating effect of employees' resistance to change. *Journal of Cleaner Production, Volume 168, 1 December 2017, Pages 163-172* <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.213>
- Polat Dede, N. (2019). the relationship between green human resource management and green supply chain management . *Beykoz Akademi Dergisi* , BEYKOZ AKADEMİ 2019 ÖZEL SAYI , 31-63 . DOI: 10.14514/byk.m.26515393.2019.sp/31-63
- Rajabpour E., (2017) The Effects of Human Resource Management on Environmental Management Development. *Journal of research in human resource management, Volume 9, Issue 1, Serial No. 27*
- Ren, Hongbo. Weisheng, Zhou. Ken'ichi, Nakagami. (2010). Multi-Objective Optimization for the Operation of Distributed Energy Systems Considering Economic and Environmental Aspects, *Applied Energy*, 87, 3642–3651. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.06.013>
- Renwick, D., Redman, T., & Maguire, S. (2008). Green Human Resource Management: A Review and Research Agenda. *International Journal of Management Reviews*, 15, 1–14 DOI:[10.1111/j.1468-2370.2011.00328.x](https://doi.org/10.1111/j.1468-2370.2011.00328.x)
- Samad Sarminah , Mehrbakhsh Nilashi, Ahmed Almulihi, Mesfer Alrizq, Abdullah Alghamdi, Saidatulakmal Mohd, Hossein Ahmadi, Sharifah Nurlaili FarhanaSyed Azhar (2020). Green Supply Chain Management practices and impact on firm performance: The moderating effect of collaborative capability. *Technology in Society, Volume 67, November 2021, 101766* <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101766>
- Seyed Javadin R., Roshandel A. Taher A. (2016). Green human resource management, an approach for investment and sustainable development. *Journal of Investment knowledge, 5th year, no. 20.* https://jik.srbiau.ac.ir/article_9524_en.html
- Shang, Kuo-Chung. Lu, Chin-Shan. Shaorui Li (2010). A Taxonomy of Green Supply Chain Management Capability Among Electronics-Related Manufacturing Firms in Taiwan, *Journal of Environmental Management*, 91, 1218–1226. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.01.016>

Shekari H., Ghatari A.R. (2013). Promoting Corporate Image: A Reflection On Green Supply Chain Management Approach. *International journal of management and business research*, Fall 2013, Volume 3, Number 4; Page(s) 311 To 324. https://ijmbr.srbiau.ac.ir/article_2184_3a93a8d20b6e74378a9a25cacfd4d27e.pdf

Stekelorum Rebecca, Issam Laguir, Shivam Gupta, Sameer Kumar. Green supply chain management practices and third-party logistics providers' performances: A fuzzy-set approach. *International Journal of Production Economics*, Volume 235, May 2021, 108093 <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108093>

Wehrmeyer, W., (1996). *Greening People, Human Resources and Environmental Management*. Greenleaf, London. <https://doi.org/10.4324/9781351283045>

Yu, Ning (2001); The Creen Consumption Movement: The Roles of Government, Business, Academia, NGOs and Consumers, *Conference on Enhancing Competitiveness Through Green Productivity*, China, 25-27 May.

Zhu, Q., Sarkis, J., Lai, K.H.,(2012). Examining the effects of green supply chain management practices and their mediations on performance improvements. *International Journal of Production Research* 50 (5), 1377e1394 DOI:[10.1080/00207543.2011.571937](https://doi.org/10.1080/00207543.2011.571937)



Journal of Turkish Operations Management

Creating zoning plans with pass theory approach, example of 1/5000 zoning plan

Selim Taşkaya

Department of Architecture Urban and Planning, Artvin Çoruh University, Artvin, Türkiye.
e-mail: selim_taskaya@artvin.edu.tr, ORCID No: [0000-0002-4290-3684](https://orcid.org/0000-0002-4290-3684)

Article Info

Article History:

Received: 15.05.2023
Revised: 23.08.2023
Accepted: 29.08.2023

Keywords:

Zoning plan,
Pass Theory,
5000 master plan

Abstract

Zoning plans express the process of arrangement and taxonomy in areas where people live together as a community. They occur in a region on a different scale from general to specific. Master and implementation zoning plans are plans made especially in this sense. In these plans, areas such as housing, and commercial and social equipment needed by the people living in the relevant region are created. These are the zoning plans that show the general lines of the plans before the implementation in the 5000 plans called development. From this point of view, we can evaluate the question of how the zoning plan will be formed with different approaches. One of these approaches is pass theory. Pass theory refers to the brain's process of perceiving different functional elements. In other words, it emerges in the form of attention, knowledge, simultaneous and sequential cognitive processes, planning and results while planning. In our study, a city-based study was carried out on a scale of 5000 in Turkey. In the revised zoning plan of the city of Elazığ, the formation of areas open to development and the planning process that can meet the needs of the increasing population was examined with the pass theory.

1. Introduction

Zoning plans are generally the arrangements that enable the functional use of certain land, make evaluations in terms of population, and help to take steps for regular and healthy urbanization in the future. Although the zoning plans are made specifically for a certain land a model is drawn from the land for the whole city to be healthy and prosperous (Aslan, 2019; Yayla, 1975). The basis of the zoning activities carried out within the framework of the Zoning Law is the preparation of the zoning plan and the implementation of this plan within a specific program. Regular urbanization of a region, benefiting from infrastructure and superstructure services healthily, bringing it to livable standards by contemporary needs, first of all, make it necessary to prepare, put into effect, and implement a zoning plan and program for the region (Kulaklı, 2014). In settlement areas, the behavior of the people living there, and the relations of people with these areas should be regulated and controlled. It is like a man settling in a place and owning an immovable one in that place. The issues mentioned here are also human rights. The right to life comes first among the rights related to settling in a place (Terzioğlu, 2015). In addition to the right to live, in the inhabited area of the person; use and move freely, acquire, make changes and save (Kalabalık, 2002; Terzioğlu, 2015). The implementation of the zoning plan is the whole of the methods that ensure that the property texture, for which new usage decisions are made with the zoning plan, is adapted to the zoning plan and all kinds of urbanization activities are carried out. However, zoning practices are the basic implementation tools in terms of ensuring the formation of modern and livable healthy cities, and they are processes that are carried out based on the methods whose boundaries are specified by the laws and regulations (Terzioğlu, 2015).

Urban Transformation is conceptually defined as the demolition of unlicensed buildings that do not comply with the city's zoning plan, and the creation of collective settlement areas by the plans (Koçak, 2014; Terzioğlu, 2015). It has been defined as all the actions taken to create housing, trade, culture, tourism, and social reinforcement areas, to take precautions against natural disaster risks, to renew and preserve the historical and cultural texture of the city, and to use it by keeping it alive (Erzene, 2013; Terzioğlu, 2015). Zoning regulations have been established for the development of constructed buildings within the framework of certain legal rules and plans. The zoning regulations and the hierarchy of plans related to it have directly or indirectly affected the zoning movements (Tanrivermis et al., 2016; Yavuz, 2017). Although the concept of planning can be evaluated with different approaches, its general meaning is; It refers to a goal to be reached at the last stage and the process to be followed for this purpose (Yavuz, 2017). Investment concerns in the construction and real estate sectors, which are in direct interaction with the economic structure of the country, are directly related to the spatial plans and the rent areas revealed by these plans. While determining investment areas in business development processes, each investor tries to develop land with some concerns such as how feasible the investment will be and how suitable the market is for this investment (Sarı, 2003; Yavuz, 2017). Plan revision and change both apply to plan types at all scales. Many planning works that should be handled within the scope of plan revision are implemented as plan changes (Babacan Tekinbaş, 2008; Tatlı, 2017). According to the planning hierarchy, revisions and changes may come to the fore for the spatial strategy plan, environmental plan, master zoning plan, and implementation zoning plans. The most frequent plan changes are on the implementation of zoning plans. While the area measurement and proportions of the 5000 plan were created from the table in the findings section, planned areas were tried to be determined in line with the planned areas type zoning regulation, which entered into force as the latest form on October 1, 2017. In addition, since the Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change create the master development plans within the ministry, the directions of the zoning and adjacent areas were determined with the regulation on unplanned areas. With the transition between the old planned type and the changed regulation, new ratios were created in the existing areas in the zoned areas. In the table, it has been determined that there are no big differences between the two regulations. However, it is noteworthy that the phrase "obligatory by the public interest" in the definitions section of the zoning plan change in the Regulation on the Principles of Plan Making has been changed to the phrase "for public benefit" in the Spatial Plans Construction Regulation. It can be said that this change of expression will cause an increase in the number of changes in the zoning plan (Tatlı, 2017).

When plan-making regulations and plan-making techniques are examined, the techniques, display languages, levels of detail, etc. used within the framework of comprehensive planning understanding while preparing the upper-scale plans and lower-scale plans prepared in our country. It is seen that they are made as physical plan documents that are identical to their features (Ercan, 2007; Kayahan, 2019). Pedestrianization applications have been made in metropolitan centers. With the construction activities in the city centers, historical and cultural values were destroyed and as a result of the increase in density, green and social infrastructures were also insufficient. Buildings in housing areas have started to be built by cooperatives and have been realized. Social housing policies were developed, but the problems in fund transfers were not sufficient to meet the continuity and demand. As a solution, mass housing production has been included in development plans (Bilgin, 2002; Karadeniz, 2020). Despite the participation of the state (initiative), mass housing practices were generally carried out by the private sector and local governments (Karadeniz, 2020; Tekeli, 2013). Zoning plans are the most important tools that organize urbanization. The functions determined by the zoning plans are to ensure that the citizens of the city have a more organized living space and to control the future growth and development of the city with a certain mechanism. According to the planning hierarchy, 1/100,000 scaled Environmental Plan, 1/5000 scale master plan, and 1/1000 scale implementation development plans

are made and decisions are made on how and for what purpose the lands will be used, and areas such as housing, commerce, industry, agriculture, and forest are determined. The legal and constitutional basis of zoning plans is the concept of superior public interest. They are documents that balance individual interests with the general interests of the people, hence individual interests. It is a social consensus document that balances short-term common benefits and long-term goals, prevents injustices, foresees the problems that may arise, puts physical, geographical, cultural, and economic orientations, and prohibitions, and determines possibilities (Ebevi, 2021). Urban planning, on the other hand, is a public service that prioritizes the benefit of society to provide a safe and sustainable living space to the society it hosts, takes a role in the physical development of cities by considering all needs, is interested in directing the formation of the city, and seeks solutions to problems (Höçük, 2021).

While creating zoning plans with a scale of 5000 or 1000, a series of embroideries should be created by considering all the elements of the area where the living population is located. In our study, the equipment that can meet the needs of approximately 600 thousand people in a certain area from housing, education, health, and social needs, taking into account both the conditions of the day and the average increase in population density, for 30-40 years, without the need for constant changes afterward. It has been to follow a way about which methods can be done.

2. Theoretical Framework and Scope

Planning, with a general definition, includes producing the land use decisions made to determine the usage patterns, capacities, and location choices of the functions in the space. Here, planning is defined as the preparation of systematic programs for the future to achieve the desired goals (Kiper, 2013; Topal, 2019). These are the applications made to ensure that the immovable properties of the immovable owners are made by the zoning plan without waiting for the actions to be taken by the relevant administrations if the implementing administrations are late in making the lands of the immovable owners comply with the usage decisions specified in the zoning plan. However, in case of different usage decisions with the new zoning plan in the previous subdivision plans, or in cases where the immovables in the subdivision plan need to be divided into smaller pieces and the parcels in small pieces should be combined, applications are made upon the request of the immovable owners (Terzioğlu, 2015). border correction; In case there is a border between two parcels that affects the use of the parcel, it is the correction process carried out with the consent of the parcel owners, provided that the parcel areas do not change. For example, in cases such as the presence of a parcel boundary that makes it difficult to place a building on a parcel with an unfavorable border, or the building appearing as encroaching on the application sketch, the parcel boundaries can be resolved by mutual agreement of the immovable owners. In parcels that need border correction, the parcel areas mustn't change after the correction process (Kağızmanlı, 2009; Terzioğlu, 2015). The allotment process, after the real estate is registered on a separate page of the land registry, is divided into two or more parts, upon the request of the relevant person, by Articles 15 and 16 of the Zoning Law No. recording it on a separate log page under a separate parcel number (Çelik, 2006; Terzioğlu, 2015).

Expropriation is one of the tools used in the implementation of zoning plans (Terzioğlu, 2015; Yaşar, 2008). Road, park, playground, school, hospital, etc. shown in the zoning plan. The ownership of the lands on which the public use or facilities to serve the public will be built may be in the hands of private individuals. To perform public services in these places, the ownership of these places must first be transferred to the relevant public institutions. The process of transferring the right of use of the property to the public without seeking the consent of the owners is called expropriation (Terzioğlu, 2015; Tüdeş, 1997). During the preparation of the plans, some ordinary or extraordinary factors such as unpredictable population movements, socioeconomic changes, and increasing social needs may require changing the zoning plans (Şen, 2000; Yavuz, 2017). The definition of the master zoning plan, the general principles of the regional plans, if any, and the environmental plans, if any, on the existing maps, again with the cadastral status of the plots, if any; It is a plan that is a whole with the plan provisions and the report, which is prepared to show the general usage patterns, the development, direction and size of the settlement areas, population densities and thresholds, transportation systems and to prepare the application development plans (Aslan, 2019). However, each city has its own economic and political history, in which it forms unique administrative arrangements among its political forces. It is an important mechanism of change in the city in the local governments involved in the implementation process, as well as the planning policies followed (Palamutoğlu, 2019; Reichl, 1997). Apart from the elements we mentioned while making master or implementation zoning plans, problems arise based on planning during the formation. This causes an increase in time and costs in terms of planning as a process in the formation of master plans. On the islands located in the old settlement area, it used to be an open development road but turned into a closed road, when the zoning islands get smaller or larger based on area, abandonment of the road, and the formation of the road, the city centers on the relevant zoning island during the transition from the adjacent building order to the split or block building order. The planning process should be carried out by taking into account factors such as keeping the living population in the middle, questioning whether it is possible for infrastructure and superstructure systems by making all kinds of feasibility at the points to be designated as new settlement areas, ensuring the green area ratio based on parcels within the island. . In the zoning plans, it should be created in a way to answer the questions about how many floors the island and the parcel on the island will be built, how the precedent distribution will be made when it is commercial and

residential, and how the road route lines can be in a systematic residential or commercial zone (Kaya, 2020). In the mentioned short time, daily interventions such as holistic and repetitive plans or partial plan amendments and local precedent changes could not solve the structural problems in both master and application zoning planning systems in general spatial planning. In this process, both the number of upper-scale plans and their relations were redefined. However, the interaction structure required by strategic approach, coordination, continuity, and planning has not yet been established in planning practice at the current stage. (Onur, 2020). The preparation and creation of real project data in distribution and parcellation problems in zoning applications is a very complex process that takes a very long time. It is very difficult to prepare the actual project data as the creation of cadastral islands, parcels, and zoning islands, obtaining the location and area data of all the islands and parcels, and generating the land owner data are performed manually by an expert. Because all these data must be fully compatible in terms of area, location, and owner. In addition, in a real project area, irregularly shaped islands and parcels can often be found, and cadastral and zoning islands can be in very different regions. In other words, cadastral and zoning areas generally do not overlap. In addition, the areas of the owners can often be very different from each other. While one owner can have a very small area, the other can have a very large area (Koç, 2020). In urban renewal practices, unlike urban renewal, the participation of the public in the changes to be made in the city and the transformation of the urban space is considered, and it is planned to restructure the region by the lifestyle of the users living in the renewal region (Demirkıran, 2008; Yıldız, 2021). In the project-based system, plans are developed as a political but fair and non-binding public strategy. Plans determine some framework rules in public and private project implementations to realize public and private projects that will contribute to government strategies (Booth, 2003; Kılınc, 2021). The hierarchy principle, which is the basis of the regulatory planning system, is overcome by the horizontal and vertical appropriateness principle in the project-based system (Kılınc, 2021; Rivolin, 2017).

In summary, within the scope of the theoretical framework, while creating all the equipment that will make an unzoned area be opened for a new development zone, when it is desired to transform a zoned area from one that cannot meet the needs to one that can meet the needs, in the creation of the most suitable zoning plans for the transformation of these areas before disasters such as earthquakes, floods, and landslides. Transition theory can be used according to the correlation of all elements in urbanism and planning, which can respond to all kinds of needs in the long term, such as the formation of a local zoning plan, in the creation of zoning plans in the region announced in the zoned areas that have completed the building stock life.

In terms of urbanization, the purpose of arranging and making zoning plans is to create cities based entirely on information systems. Thus, it ensures that all social and human reinforcement areas are formed in a city model that is compatible with each other. When the zoning plans are viewed in CAD environments, it instantly transfers the data from the field to the computer environment.

3. Material and Method

Pass Theory is a theory that consists of cognitive processes that form the basis of planning, attention, and simultaneous and successive information and is based on Luria's neuropsychological research (Das et al., 1994; Gürbüz, 2018; Naglieri and Kaufman, 2001). Planning, on the other hand, is the mental process in which the individual chooses and applies solutions to his problems and evaluates the results (Naglieri & Das, 1997; Gürbüz, 2018). The PASS theory put forward a view that conceptualizes intelligence as cognitive operations. According to this theory, human cognitive activities consist of 4 parts: planning, attention, and successive and simultaneous cognitive processes (Gürbüz, 2018; Naglieri & Das, 1997).

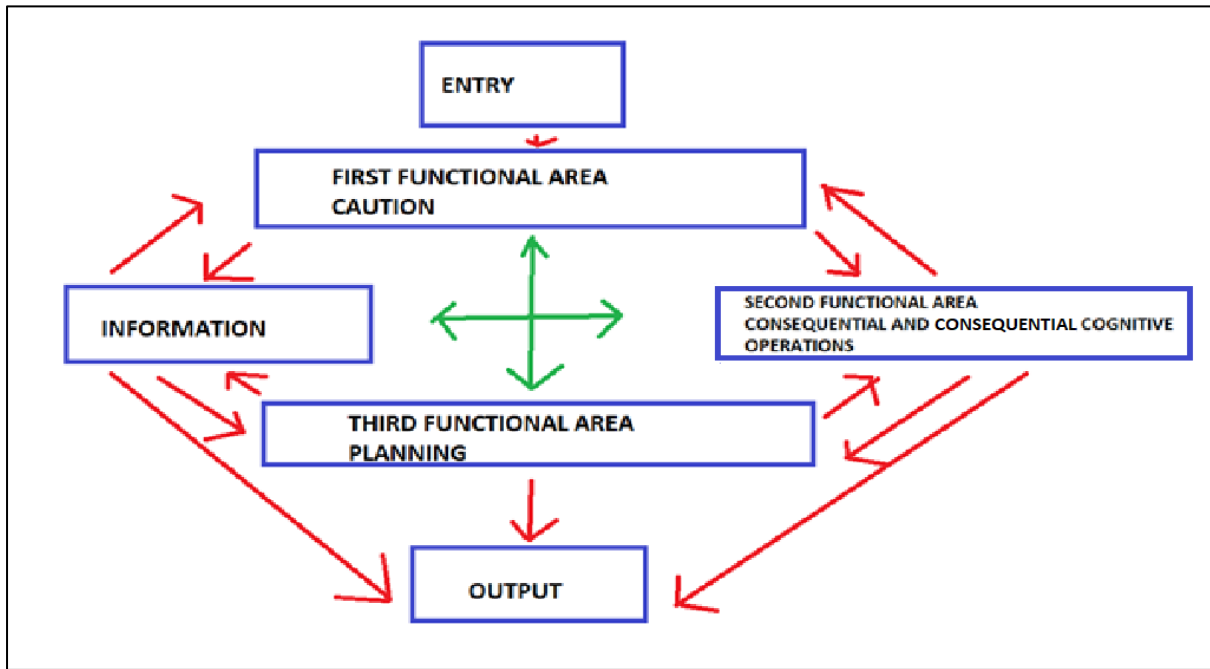


Figure 1. Scheme of Planning, Attention, Simultaneous and Successive Cognitive Processing Model (Gürbüz, 2018; Naglieri, 1989).

The planning process interacts with the other cognitive processes that make up the PASS model, attention, simultaneous and successive processes. The planning process and other cognitive processes cannot be considered separate processes and all processes are based on information. Only two points can be characterized as separate and selectable from the planning process. The first is the deterioration of planned behavior in case of damage to the anterior parts of the brain, and the second is the role of planning in high-level cognitive activities such as problem-solving (Das, Naglieri, & Kirby, 1994; Gürbüz, 2018). The planning process is very important when deciding how to solve a complex problem. Representing future events in memory, making sense of an event, and organizing actions to provide possible results are related to the planning function (Gürbüz, 2018; Korkmaz, 2000).

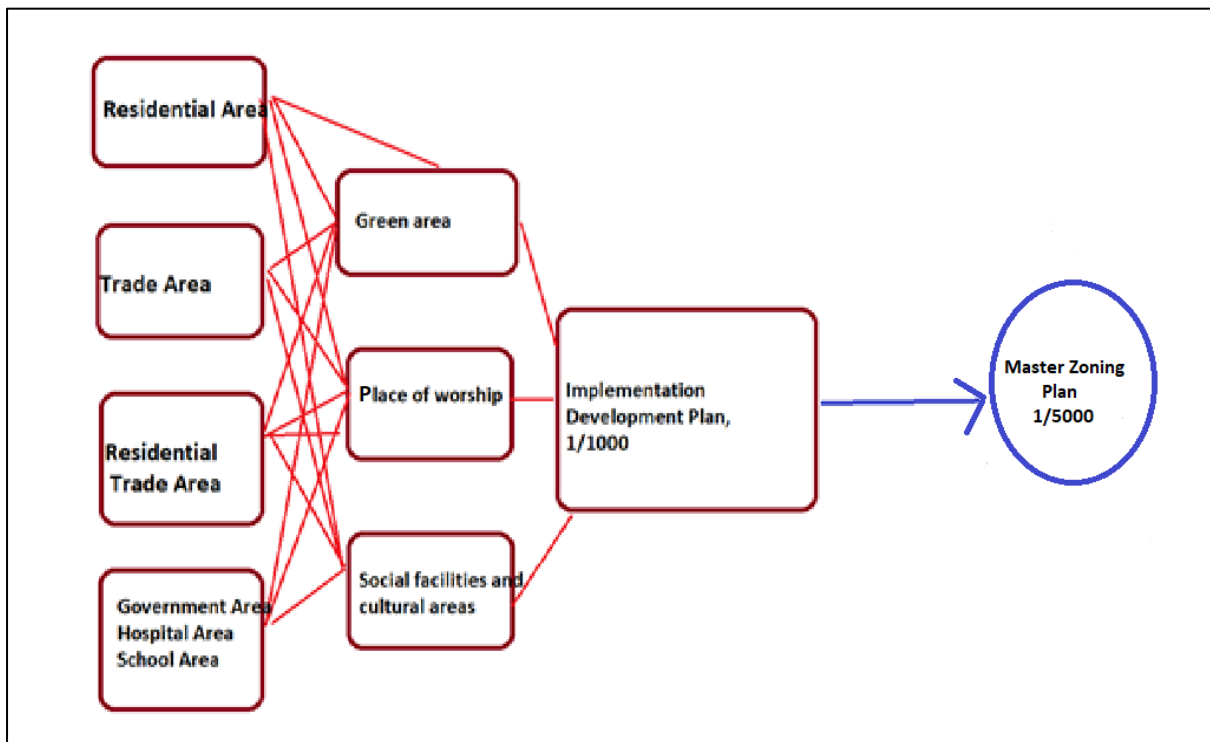


Figure 2. Hierarchy between zoning plan elements

It is a zoning plan to determine a certain border according to the density of people living in a certain area on the basis of urbanism, and to create equipment that will meet the needs of people within that border. Residential, commercial and all other areas are rebuilt or rebuilt depending on the area capacity and human growth rate of the region for at least thirty or forty years.

$$\Sigma_x + \Sigma_y + \Sigma_z = \Sigma_{(x+y+z)} \quad (1)$$

$$Ax - L = [a_{qn}E] \begin{bmatrix} h \\ l \\ l \end{bmatrix} - [q_{an}] \quad (2)$$

Parcels with all zoning island characteristics and the relationship of these parcels with each other are placed within the borders by making $v=Ax-L$ corrections on the basis of correlation.

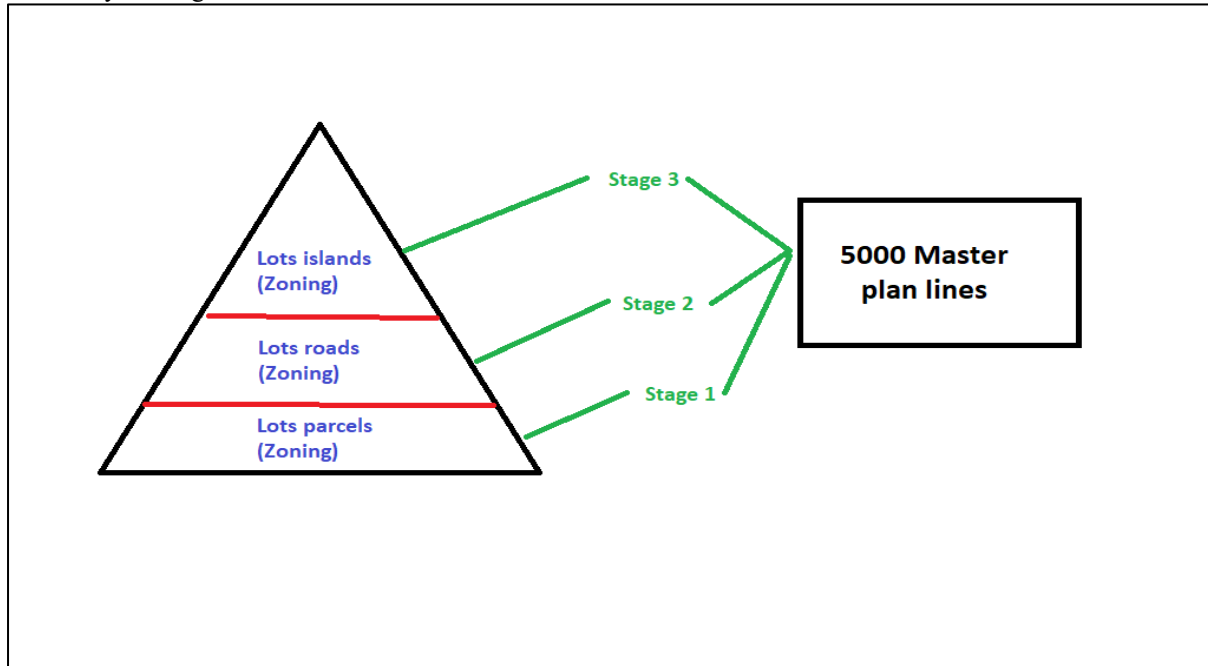


Figure 3. The main parameters that make up a zoning plan (Bender, 2011)

The simultaneous cognitive processing, which is a mental process in which the plan brings together the separate stimuli as a whole or by grouping them, affects the performance of the formation of the plan. Making inferences from the field, establishing relationships between events, bringing together correlations, creating holism, and designing and visualizing the islands are related to simultaneous cognitive processing (Yıllar, 2021). Cognitive assessment, which was developed according to the PASS theory, was analyzed through themes created based on cognitive functions measured by planning and synchronicity subtests. A content analysis strategy was adopted in the analysis of the data. In this direction, to reach the concepts and relationships that can explain the collected data, the themes explaining the data were determined and the facts about cognitive functions were organized and made understandable thanks to these themes (Turku, 2021; Yıldırım & Şimşek, 2016). According to PASS theory, students' performance differences in planning, attention, simultaneous and successive cognitive processing areas; As their academic self-perceptions and behavioral characteristics in the learning environment, affect their academic performance and accordingly their success. Performance differences in cognitive processing areas are called uncoordination (Görünmek, 2021).

Pass theory, when viewed as a cross-section from a different area mentioned above, is the job of determining the content in the best way based on urbanism and planning and ensuring that all elements are synchronized with each other in terms of order and relationship. In the upper scale to lower scale planning step, first of all, the country development plan, environmental order, region, master, and implementation development plans should be the way to show intricate transitivity with each other in the light of basic parameters such as living population and topography.

4. Findings and Discussion

Elazığ Province is located in the Upper Euphrates Section, in the southwest of the Eastern Anatolia Region. The province area, which has a total area of 9153 km² and covers 0.12% of Turkey's land with this area, lies between 40° 21' and 38° 30' east longitudes, 38° 17' and 39° 11' north latitudes.

It stays in the working area of the 8th Regional Directorate affiliated with the General Directorate of Highways in

Elazığ. The region includes all of the provinces of Elazığ, Malatya, Adıyaman, Bingöl, and Tunceli, as well as some of the provinces of Diyarbakır and Muş.

According to the Address Based Population Registration System made by the Turkish Statistical Institute in 2020, the population of Turkey is 83,614,362 people. The 2018 population of the Middle East Anatolia region, where Elazığ is located, is 3,951,294 people. The population of Elazığ in 2020 is 587,960.

The total population of Elazığ Central district, Elazığ province, is 440,513 according to the Address Based Population Registration System for the year 2020. It is stated that the population of the planning area is 361,416 people.

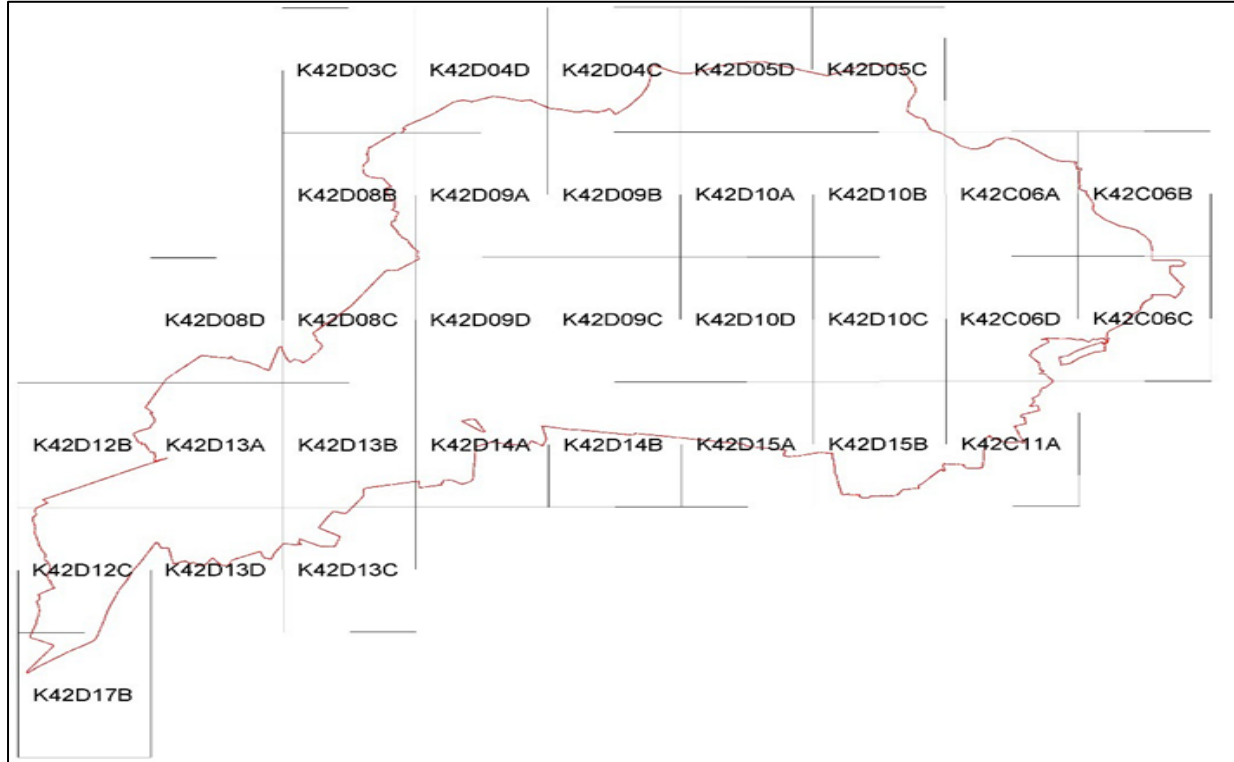


Figure 4. 1/5000 Scale Layout Index (Url 1, 2022)

Due to the problems and deadlocks that arose due to the implementation zoning plan during the period until April 2020, it was decided by the relevant administration, which is the plan implementer, to carry out some updating and rehabilitation processes on the plan, mostly in the plan notes, without changing the main scenario of the plan.

The justification for the zoning plan change was stated in the Zoning Plan Change disclosure report, which was approved in 2020, the need for regulation as a result of the experience and consultations gained during the 4 year implementation period, without changing the scenario and general setup of the revision zoning plan made in 2016, and the consequences of the earthquake that took place in Elazığ on January 24, 2020. As a result of the evaluation, the necessary arrangements in the zoning plan and plan notes; updating the zoning plan, explanation report, and plan notes within the scope of the revised zoning plan.



Figure 5. Elazığ City Central Revision Zoning Plan (Url 1, 2022).

- Development Trends of Elazığ City
- Institutional Opinions Received
- Geological Studies
- Site Selection Requests for Urban Functions
- Tendency to Avoid Inconsistencies in Zoning Plans from a Technical Perspective

In this respect, before the 1/5000 Scale Master Zoning Plan was prepared, the existing zoning plan was examined and the applied/non-applied areas of this plan and the existing structures were determined.

While the 1/5000 Scale Master Development Plan was being prepared, planning studies were carried out in line with the opinions of the institution, and the urban functions in the study area were arranged by considering the needs of the city.

Planning decisions were examined under the following sub-headings and the results were evaluated under these headings.

- Housing Settlement Areas and Population
- Urban Workspaces
- Protected Areas
- Open and Green Spaces
- Urban Social Infrastructure Areas
- Urban Technical Infrastructure

Table 1. 1/5000 master development plan usage area (Former

ELAZIĞ (Center) 1/5000 Scale Master Zoning Plan Land Use (Former)				
Domain Name	Area (m ²)	Area (Ha)	Ratio (%)	
Residential Areas				
Available Residential Area (Gross Density High By 301-600 People/Ha)	1876840.45	208.32	1.84	
Available Residential Area (Gross Density Medium 151-300 People/Ha)	1443405.12	144.03	1.15	
Existing Residential Area (Low By Gross Density 150-51 People/Ha)	5462342.44	686.93	5.41	
Existing Housing Area (Rare 50 People/Ha By Gross Density)	580916.85	58.75	0.93	

Development Housing Area (401 People/Ha Too High For Gross Density)	1685356.08	114.53	1.03
Development Housing Area (Gross Density High By 251-400 People/Ha)	1987254.11	198.69	1.48
Development Housing Area (Gross Density Medium 121-250 People/Ha)	10214564.82	1050.70	7.19
Development Housing Area (Low By Gross Density 51-120 People/Ha)	3482412.53	219.23	2.42
Development Housing Area (Rare 50 People/Ha By Gross Density)	5424515.73	423.89	4.08
Urban Work Areas			
Trading Area	1214789.54	141.75	1.30
Commerce-Housing Area (Tick)	4213597.45	514.73	4.83
Trade-Tourism Area (Tict)	14826.55	1.45	0.42
Municipal Service Area	405653.87	48.33	0.85
Public Service Area	2528577.32	252.81	2.25
Storage Area	425255.84	4.62	0.17
Military Area	2780381.87	255.56	2.52
Marketplace	112438.77	18.43	0.08
Industrial Area	248398.68	25.67	0.23
Small Industrial Area	237647.56	24.65	0.20
Logistics Facility Area	575783.44	67.87	0.46
Fuel Delivery Service Station Area	147350.52	14.44	0.65
Areas To Be Protected By Continuing Today's Land Use			
Agricultural Area	3116252.97	231.53	2.87
Forest Area	2301851.91	240.54	1.88
Areas To Be Protected			
1st Grade Archaeological Site	31154.33	3.12	0.03
Health Protection Tape	35882.87	3.59	0.03
Tourism Areas			
Tourism Facility Area	7829.81	1.84	0.85
Education Facilities Area			
Training Facility Area	2059355.55	454.91	3.29
Field Of Higher Education	8840863.07	884.09	7.84
Health Facilities Area			
Health Facility Area	1754837.68	162.58	1.07
Worship Area			
Worship Area	756646.36	77.53	0.54
Social and Cultural Facility Area			
Social-Cultural Facility Area	1035703.08	103.68	0.93
Sports Facility Area	513585.68	83.56	0.82
Open and Green Areas			
Garden	8418332.82	953.82	6.87
Passive Green Area	2877.58	0.41	0.014
Kids Garden and Playground	7152.55	0.62	0.18
Property Place	203842.65	25.10	0.18
Area To Be Aforered	4512597.07	461.37	4.01
Recreation Area	802803.14	75.83	0.53
Fair, Fair and Festival Area	63214.15	5.01	0.04
Cemetery Area	811023.51	78.60	0.52
National Garden	215804.8	15.63	0.08
Square	44001.38	4.20	0.11
Disaster Dangerous Areas			
Building Prohibited Area	2246.65	0.18	0.001
Water, Waste Water and Waste Plants			
Water Surface	447631.67	44.75	0.39
Wastewater Facility Area	72859.21	8.23	0.08
Technical Infrastructure Area	122426.41	12.27	0.11

Transportation			
General Parking Area	7736.67	0.72	0.001
Terminal (Master Gar)	177145.73	16.83	0.16
Intermediate Station	576373.55	51.75	0.42
Roads	18719676.83	1758.97	14.64
Total	107186457.82	10021.58	100.00

Table 1 is the area that will meet the needs of Elazığ City when its population is between 200 thousand and 350 thousand, considering the area and the ratio of the area per person. It has been predicted as a result of the correlation of the components of a future planning pass method for 30-40 years depending on the average population increase of 400 thousand to 1 million in all reinforcement areas opened to new settlements or in the city center because they cannot meet the needs with the increasing population.

Table 2. 1/5000 master development plan usage area (Current)

ELAZIĞ (Center) 1/5000 Scale Master Zoning Plan Land Use (Current)			
Domain Name	Area (m ²)	Area (Ha)	Ratio (%)
HOUSING AREAS			
Available Residential Area (Gross Density High By 301-600 People/Ha)	2996830.34	299.68	2.66
Available Residential Area (Gross Density Medium 151-300 People/Ha)	1896609.35	189.66	1.68
Existing Residential Area (Low By Gross Density 150-51 People/Ha)	7178351.21	717.84	6.36
Existing Housing Area (Rare 50 People/Ha By Gross Density)	630720.65	63.07	0.56
Development Housing Area (401 People/Ha Too High For Gross Density)	1238260.06	123.83	1.10
Development Housing Area (Gross Density High By 251-400 People/Ha)	2008953.87	200.89	1.78
Development Housing Area (Gross Density Medium 121-250 People/Ha)	10819351.74	1081.94	9.59
Development Housing Area (Low By Gross Density 51-120 People/Ha)	3290446.81	329.04	2.92
Development Housing Area (Rare 50 PEOPLE/HA By Gross Density)	6834915.43	683.49	6.06
Urban Work Areas			
Trading Area	1919489.89	191.95	1.70
Commerce-Housing Area (Tick)	6213887.55	621.39	5.51
Trade-Tourism Area (Tict)	13524.05	1.35	0.01
Municipal Service Area	502853.72	50.29	0.45
Public Service Area	3026074.12	302.61	2.68
Storage Area	55245.74	5.52	0.05
Military Area	2950371.27	295.04	2.62
Marketplace	122337.73	12.23	0.11
Industrial Area	347354.57	34.74	0.31
Small Industrial Area	337529.85	33.75	0.30
Logistics Facility Area	775743.94	77.57	0.69
Fuel Delivery Service Station Area	168360.52	16.84	0.15
Areas To Be Protected By Continuing Today's Land Use			
Agricultural Area	2115252.97	211.53	1.87
Forest Area	1901351.21	190.14	1.69
Areas To Be Protected			
1st Grade Archaeological Site	31154.33	3.12	0.03
Health Protection Tape	35882.87	3.59	0.03
Tourism Areas			
Tourism Facility Area	8419.01	0.84	0.01
Education Facilities Area			

Training Facility Area	4049065.15	404.91	3.59
Field Of Higher Education	8840863.07	884.09	7.84
Health Facilities Area			
Health Facility Area	2024937.48	202.49	1.79
Worship Area			
Worship Area	876247.62	87.62	0.78
Social and Cultural Facility Area			
Social-Cultural Facility Area	1135793.06	113.58	1.01
Sports Facility Area	613375.58	61.34	0.54
Open and Green Areas			
Garden	10417382.92	1,041.74	9.23
Passive Green Area	2567.44	0.26	0.002
Kids Garden and Playground	8052.62	0.81	0.01
Property Place	309833.72	30.98	0.27
Area To Be Aforered	4812687.87	481.27	4.27
Recreation Area	877813.51	87.78	0.78
Fair, Fair and Festival Area	62916.74	6.29	0.06
Cemetery Area	814973.9	81.50	0.72
National Garden	217824.8	21.78	0.19
Square	46011.38	4.60	0.04
Disaster Dangerous Areas			
Building Prohibited Area	2646.45	0.26	0.002
Water, Waste Water and Waste Plants			
Water Surface	547531.27	54.75	0.49
Wastewater Facility Area	82869.2	8.29	0.07
Technical Infrastructure Area	132726.41	13.27	0.12
Transportation			
General Parking Area	8036.57	0.80	0.01
Terminal (Master Gar)	187117.73	18.71	0.17
Intermediate Station	554973.75	55.50	0.49
Roads	18771676.29	1877.17	16.64
Total	112817197.33	11281.72	100.00

In the field of planning; There are residential areas of different heights and precedents, ranging from 2-story residential areas to 10-story residential areas.

In Existing Housing Areas; Sparse Density Residential Areas (50 - person/ha), Low-Density Residential Areas (150-51 Person/ha), Medium Density Residential Areas (151-300 Person/ha), and High-Density Residential Areas (301-600 Person/ha.) in the Development Housing Areas; Sparse Density Residential Area (50 - person/ha), Low-Density Residential Area (51-120 Person/ha), Medium Density Residential Area (121-250 Person/ha), High-Density Residential Area (251-400 Person/ha.) and Very High-Density Residential Area (401+ Person/ha) density decisions are envisaged. Within the planning boundaries, there is a total of 12,702,511.55 m² of Existing Housing Area, and a total of 24,191,927.91 m² of Development Housing Area.

Within the Urban Study Areas in the Planning Area; There are Public Service Areas, Trade Areas, Trade Housing Areas, Trade Tourism Areas, Market Areas, Industrial Areas, Small Industry Areas, Storage Areas, Logistics Facility Areas, Military Areas, and Municipal Service Areas.

Planning was made in line with the current development trends and the practices suggested in the previous plans. It has a total area of 3,026,074.12 m² within the planning boundaries. Regional commercial activities, business centers, banks, shopping centers, structures with daily commercial functions, etc. can take place in the Trade Areas. Commercial areas are generally located in the city center, and different precedents and floor heights are planned in line with the development trends of the city. There is a total commercial area of 1,919,489.89 m² within the planning boundaries.

Commercial-Residential Areas are mixed-use areas where residential and commercial uses come together. The housing ratio in the mixed-use area can be as much as specified in the plan notes. The area of social equipment and technical infrastructure required by the rate of residential use has been calculated in the plan. There is a total of 6,213,887.55 m² Commercial-Housing areas within the planning boundaries. Trade-Tourism Areas are mixed-use areas where tourism and commercial uses come together. There is a total of 13,524.05 m² Trade-Tourism area within the planning boundaries. Market Areas have been determined in the areas needed by the city and in line with the development trends. There is a total of 122,337.73 m² Market Area within the planning boundaries.

Industrial Areas are located in the southeast of the city, and there are also Specialized Organized Industrial Plant Areas

Based on Animal Products and Agriculture in this area. There are 347,354.57 m² Industrial Areas in total. Small Industrial Areas; These are the areas where the daily maintenance-repair, repair, and small-scale production needs can be met, where there are structures such as workshops and workshops that do not contain explosive, flammable, and flammable materials and do not pose a danger to environmental health.

There are 337,529.85 m² Small Industrial Areas in total within the planning boundaries. Storage Areas are the areas planned in line with the needs of these facilities in the region where the Industrial Areas are located. There are 55,245.74 m² Storage Areas in total within the planning boundaries. The Logistics Facility Area is located in the south of the city and is planned as the area where all storage, distribution, and support services for transportation activities by land, rail, and air are carried out. There are a total of 775,743.94 m² Logistics Facility Areas within the boundaries of the planning. These are the areas where the structures of the Land, Naval, or Air Force Commands that make up the Turkish Armed Forces for defense, operations, borders, and national security, barracks, headquarters, military branch, and other social facilities such as administrative, education, health, housing, army house for the needs of the Turkish Armed Forces. . There are 2,950,371.27 m² Military Areas in total within the planning boundaries. Municipal Service Areas; These are the areas where facilities are established to meet the local common needs such as fire brigade, emergency aid and rescue, vehicle machinery park, maintenance supply station, warehouses, waste processing facility, municipal police units, bread production facility, necessary for the delivery of services within the scope of the duties and responsibilities of the municipalities. There is a total of 502,853.72 m² Municipal Service Area within the planning boundaries. In the Fuel and Service Station Areas, provided that the legislation regarding the distance between stations and other criteria is complied with; fuel and service stations, CNG autogas stations, hydrogen production, and filling stations will be possible. In addition, these are the areas where the auto market, tea shop, toilet, prayer room, buffet, auto electricity, tire shop, and washing functions can take place, which will meet the minimum needs. There are a total of 168,360.52 m² of Fuel and Service Station areas within the planning boundaries.

Areas to be Continued to Use Today's Area; These are the areas defined as Forest Areas and Areas to be Protected Agricultural Quality. These areas are not suitable for construction.

Forest Areas; Although they remain within the city limits, they are areas whose forest quality is protected. Ecologically important areas and nature protection areas, special environmental protection zones, national parks, nature protection areas, and wildlife protection areas are evaluated within the scope of this area. There is a total forest area of 1,901,351.21 m² within the planning boundaries.

Areas to be Protected Agricultural Characteristics; According to Article 13 of the Soil Conservation and Utilization Law No. 5403, Absolute agricultural lands include Special croplands, Dikili agricultural lands, and Irrigated agricultural lands. Appropriate opinion of the Provincial Directorate will be sought for the changes in the zoning plan for non-agricultural use in these areas. There is a total of 2,115,252.97 m² of Agricultural Quality Protected Area within the planning boundaries.

Accommodation facilities such as Hotels, Motels, and Pensions can be built in areas defined as Tourism Areas. There is a total of 8,419.01 m² Tourism Area within the planning boundaries. Training Facility Areas; Kindergarten, Primary and Secondary Education, High School, Special Education Area, Public Education Area, Vocational and Technical Education Center, and Higher Education (University) belonging to public or legal persons, education campus, school and school related to general, vocational and educational functions. These are the areas reserved for facilities such as dormitories, dining halls, and gyms. There is a total of 12,889,928.22 m² of Education Facilities Area within the boundaries of the planning.

Health Facility Areas; These are the areas reserved for facilities such as Hospitals, Health Centers, Family Health Centers, Maternity hospitals, Dispensaries and Polyclinic, Oral and Dental Health centers, and Physical Therapy and Rehabilitation Centers. There is a total of 2,024,937.48 m² Health Facilities Area within the planning boundaries.

Social and Cultural Facility Areas; Facilities for the cultural needs of the society such as Cinema, Theatre, Museum, Library, Congress Center, and Indoor Sports Facilities, and social needs of the society such as crèches, courses, dormitories, kindergartens, orphanages, nursing homes for the elderly and disabled, rehabilitation centers, community centers, and homes of compassion. The facilities for the purpose are the areas reserved for indoor use. There is a total of 1,749,168.64 m² Social and Cultural Facility Area within the boundaries of the planning.

Worship Areas; The facilities where it gathers to worship and benefit from religious services and the complex of these facilities provided that they are compatible with the architecture of the religious facility, the accommodation, library, soup kitchen, rest room, condolence place, dormitory and course structure, gasoline, fountain, and toilet, etc., or underground parking areas. There are 197 Worship Areas with a total of 876,247.62 m² within the boundaries of the planning. Open and Green Spaces; These are areas that define usage functions such as Parks, Children's Playgrounds, Recreation Areas, squares, Recreation areas, Fair Areas, Areas to be Afforestation, Public Gardens, and Cemeteries. There is a total of 17,570,064.90 m² Open and Green Areas within the planning boundaries.

Urban Technical Infrastructure areas; These are the areas where facilities built for the provision of services such as Electricity, Petroleum, and Natural Gas transmission lines, Transformers, all kinds of energy, transportation, and communication can be built. There is a total of 132,726.41 m² Urban Technical Infrastructure area within the planning boundaries. Water, Waste Water, and Waste Facilities are areas where facilities such as potable and utility water and all kinds of underground and surface treatment, sewage, and waste processing can be built. There is a total of 630,400.47 m² Water, Waste Water, and Waste Facility Area within the planning boundaries. Transportation Areas;

These are areas of usage such as highways, railways, Main transportation axes, Urban carrier roads, Pedestrian roads, Parking Lots, Bus stations, and Intermediate Stations. There is a total of 750,128.05 m² Transportation Area and 18,771,676.29 m² Road Area within the planning boundaries.

Above, the amount per capita planned to meet the population need between 400 thousand and 1 million is determined by the master plans. After determining the form of the work with the master, these rates are determined by the application development plan, such as the population more or less, residential or commercial, park or official institution such as school, proximity, distance, timing, possibility to take the infrastructure, creation of a transportation network, square, place of worship, police station, etc. The relationship between non-residential service areas and the creation of industrial areas is associated with the transition method.

Table 3. Need Ratios of All Elements Related to Population/Area Ratio of Master Zoning Plan According to Current and Former Plan

Master Plan Elements	€c-€f	Direction
Available Residential Area (Gross Density High By 301-600 People/Ha)	2.66-1.84	+
Available Residential Area (Gross Density Medium 151-300 People/Ha)	1.68-1.15	+
Existing Residential Area (Low By Gross Density 150-51 People/Ha)	6.36-5.41	+
Existing Housing Area (Rare 50 People/Ha By Gross Density)	0.56-0.93	-
Development Housing Area (401 People/Ha Too High For Gross Density)	1.10-1.03	+
Development Housing Area (Gross Density High By 251-400 People/Ha)	1.78-1.48	+
Development Housing Area (Gross Density Medium 121-250 People/Ha)	9.59-7.19	+
Development Housing Area (Low By Gross Density 51-120 People/Ha)	2.92-2.42	+
Development Housing Area (Rare 50 People/Ha By Gross Density)	6.06-4.08	+
Trading Area	1.70-1.30	+
Commerce-Housing Area (Tick)	5.51-4.83	+
Trade-Tourism Area (Tict)	0.01-0.42	-
Municipal Service Area	0.45-0.85	-
Public Service Area	2.68-2.25	+
Storage Area	0.05-0.17	-
Military Area	2.62-2.52	+
Marketplace	0.11-0.08	+
Industrial Area	0.31-0.23	+
Small Industrial Area	0.30-0.20	+
Logistics Facility Area	0.69-0.46	+
Fuel Delivery Service Station Area	0.15-0.65	-
Agricultural Area	1.87-2.87	-
Forest Area	1.69-1.88	-
1st Grade Archaeological Site	0.03-0.03	0
Health Protection Tape	0.03-0.03	0
Tourism Facility Area	0.01-0.85	-
Training Facility Area	3.59-3.29	+
Field Of Higher Education	7.84-7.84	0

Health Facility Area	1.79-1.07	+
Worship Area	0.78-0.54	+
Social-Cultural Facility Area	1.01-0.93	+
Sports Facility Area	0.54-0.82	-
Garden	9.23-6.87	+
Passive Green Area	0.002-0.014	+
Kids Garden and Playground	0.01-0.18	-
Property Place	0.27-0.18	+
Area To Be Aforered	4.27-4.01	+
Recreation Area	0.78-0.53	+
Fair, Fair and Festival Area	0.06-0.04	+
Cemetery Area	0.72-0.52	+
National Garden	0.19-0.08	+
Square	0.04-0.11	-
Building Prohibited Area	0.002-0.001	+
Water Surface	0.49-0.39	+
Wastewater Facility Area	0.07-0.08	-
Technical Infrastructure Area	0.12-0.11	+
General Parking Area	0.01-0.001	+
Terminal (Master Gar)	0.17-0.16	+
Intermediate Station	0.49-0.42	+
Roads	16.64-14.64	+

In Table 3, the elements required while preparing a master development plan that will meet the needs of 400 thousand to 1 million people and the proportions of the master plan elements made according to 200 thousand and 350 thousand people will be revealed with the ratio given by the population and the amount of the determined area. From here, when the difference between ratios is positive and negative, how will the need aspect of which of these parameters develop? It is seen that the transition theory is based on two basic elements while creating the master development plan. Population and the designated area is the main element of pass theory in planning.

5. Conclusion and Recommendation

Master zoning plans are the plans covering the next scale of additional, revised and local zoning plans, which are implementation zoning plans, determined in 5000 and 2000 scales in Turkey. These are the plans that should be arranged over a long period to meet all the human and social needs of the human population, which is administratively divided into provinces, districts, and towns. What distinguishes master development plans from implementation is that they do not go into too much detail. It determines the main axes of the plan to be created. It tries to determine the density of urban regulation zoning blocks, such as housing, commerce, official institutions, schools, mosques, police stations, parks, squares, and green areas, called the regulation partnership share. This determination can be made in different ways. One of them is the pass theory. While using the pass theory in a sociological analysis of people, it can be used in urbanization and planning as a demographic and social concept intertwined with the facts. It is to determine the elements of the pass.

Conflicts of Interest

The author declared that there is no conflict of interest.

References

- Aslan, S. (2019). The Crime of Causing Zoning Pollution (TCK art.184), Ankara Yıldırım Beyazıt University Institute of Social Sciences, Department of Public Law, Master's Thesis, Ankara.
- Babacan Tekinbaş, B. (2008). Planning in Judicial Decisions, Kozan Ofset, Ankara.
- Bender, W. N. (2011). RTI in Middle and High Schools. Bloomington: Solution Tree.
- Bilgin, İ., Traces of Modernism in the City, Arkitera Architecture Bulletin, <https://v3.arkitera.com/v1/diyalog/ihsanbilgin/modernizm1.htm>, (Date of Access: 30 October 2002).

- Booth, P. (2003). *Planning by Consent. The Origins and Nature of British Development Control* London, Routledge.
- Celik, K. (2006). *Planning and Zoning Law Implementation, Land and Land Arrangement*, 1st Edition, Devran Printing.
- Das, J. P., Naglieri, J. A., and Kirby, J. R. (1994). *Assessment of cognitive process the PASS theory of intelligence*. Massachusetts: Allyn and Bacon A Division of Simon and Schuster Inc.
- Demirkiran, S. (2008). *The role of local governments in urban transformation practices in Turkey: The Example of Bursa Metropolitan Municipality*. Trakya University Institute of Social Sciences, Master Thesis, 139, Edirne.
- Ebevi, T.M. (2021) *The Effect of Zoning Planning Processes on the City: The Case of Çatalca Kiptaş*, Mimar Sinan Fine Arts University, Institute of Science and Technology, Department of Architecture, Master Thesis, Istanbul.
- Ercan, M. (2007). *Planning and Management Problems in Our Cities*. *Planning Journal*, p. 69-73.
- Erzene S.I. (2013). *A Method Approach to Urban Transformation and Its Applicability*, Ph.D. Thesis, Istanbul Technical University.
- Görünmek, E.T. (2021). *Investigation of the Effect of Cognitive Intervention Program on Children with Low Academic Performance in the Second Year*, Istanbul University Cerrahpasa Graduate Education Institute, Department of Educational Sciences, Master Thesis, Istanbul.
- Gurbuz, G. (2018). *Investigation of the Effect of Cognitive Intervention Program Based on Pass Theory on Learning Performance*, Istanbul University Institute of Educational Sciences, Department of Educational Sciences, Master Thesis, Istanbul.
- Hocuk, F.Z. (2021) *Bursa Urban Development Process and Planning Periods*, Istanbul Arel University Graduate Education Institute, Department of Architecture, Master Thesis, Istanbul.
- Kagizmanli B. (2009). *Reconstruction Implementation Methods in Turkey and Analysis of Factors Affecting Its Results*, Master Thesis, Karadeniz Technical University.
- Kalabalık, H. (2002). *Zoning Law (Planning, Land, Building, Protection*, 1st Edition, Seçkin Publishing.
- Karadeniz, B. (2020). *Urban Morphology as a Method in Urban Planning: Görele*, Karadeniz Technical University, Institute of Science and Technology, Department of City and Regional Planning, PhD Thesis, Trabzon.
- Kaya, I. (2020). *Building and Zoning Sanctions in the Zoning Law in the Light of the Council of State Decisions*, Kırıkkale University, Institute of Social Sciences, Department of Public Law, Master's Thesis, Kırıkkale.
- Kayahan, B. (2019). *Urban Project Development Plan Relationship in the Context of Sustainable Development, Sile (Istanbul) Example*, Mimar Sinan Fine Arts University, Institute of Science and Technology, Department of City and Regional Planning, Master's Thesis, Istanbul.
- Kilinc, N. (2021). *Analysis of Development Plan Changes from the Perspective of Legal, Spatial and Urban Rent: The Case of Istanbul*, Istanbul Technical University Graduate Education Institute, Department of City and Regional Planning, PhD Thesis, Istanbul.
- Kiper, T. (2013). *The Role of Identity in Planning Urban and Rural Areas*, *Turkish Journal of Scientific Compilations* 6 (2), pages: 73-77.
- Koc, I. (2020). *Realization of Distribution and Parceling Processes in Zoning Applications Using Artificial Intelligence Optimization Algorithms*, Konya Technical University Graduate Education Institute, Computer Engineering Department, PhD Thesis, Konya.
- Koçak Y. (2014). *The Effect of Urban Transformation Practices on Migration in Turkey: The Example of Kars 29 Ekim Neighborhood*, *Turkish Studies - International Periodical For The Languages, Literature and History of Turkish or Turkic*, 9(5), 1411-1432.

- Korkmaz, B. (2000). Pediatric behavioral neurology. Istanbul: Cerrahpasa Medical Faculty. Publications.
- Kulaklı, E. (2014). Zoning Restriction and Land and Land Arrangement of Immovable Ownership Restrictions, Istanbul University Institute of Social Sciences, Department of Private Law, PhD Thesis, Istanbul.
- Naglieri, J. A. (1989). A Cognitive processing theory for the measurement of intelligence. *Educational Psychologist*, 24(2), 185-206.
- Naglieri, J. and Das, J. P. (1997). Cognitive assessment system CAS - Interpretive handbook. (T. Ergin, Trans.) Itasca, Illinois: Riverside Publishing.
- Naglieri, J. A. and Kaufman, J. C. (2001). Understanding intelligence, giftedness and creativity using the PASS theory. *Roeper Review*, 23(3), 151-156. http://s3amazonaws.com/jck_articles/Naglieri_Kaufman2001.pdf. (Date of Access: 16 October, 2016)
- Palamutoglu, E.G. (2019). Examination of the Formation of Housing Areas in the Context of Implementation Development Plans and Regulations; Kayseri Kavakyazısı Region, Erciyes University Institute of Science and Technology, Department of Architecture, Master's Thesis, Kayseri.
- Reichl, Alexander J. (1997). "Historic Preservation and Progrowth Politics In U.S. Cities, *Urban Affairs Review*", Vol. 32 Issue 4, p513.
- Rivolin, U. J. (2017). Global crisis and the systems of spatial governance and planning: a European comparison. *European Planning Studies*, 25 (6), 994-1012.
- Sarı, F. (2003). Form and function relations in the urban space: Examining the proposals of the Izmir port area urban design competition using the space syntax method, Master Thesis, İ.T.Ü. Institute of Science and Technology, Istanbul.
- Sen, D. (2000). Monitoring Urban Development: Zoning Changes and Their Effects on Development, Master Thesis, KTU Institute of Science and Technology, Trabzon.
- Tatlı, P. (2017). Questioning the Effects of Interventions in Zoning Plans on the Transportation Network: İzmir New City Center Revision Development Plan, Karadeniz Technical University, Institute of Science and Technology, Department of City and Regional Planning, Master's Thesis, Trabzon.
- Tekeli İ.(2013). Modernism, Modernity and Turkey's Urban Planning History, History Foundation Yurt Publishing, Istanbul.
- Terzioglu, A.G. (2015). Development Plan Implementation in Multi-Shared Plots: Example of Sultanbeyli, Gebze Technical University, Institute of Science and Technology, Department of Geodesy and Photogrammetry Engineering, Master's Thesis, Gebze.
- Topal, H.K. (2019). Limitation of Property Rights Through Development Plans, Yaşar University Institute of Social Sciences, Department of Private Law, Master's Thesis, İzmir.
- Turkut, S. (2021). Investigation of Problem Solving Skills of Special Talented Children in Mathematics, Akdeniz University Institute of Educational Sciences, Department of Basic Education, Master's Thesis, Antalya.
- Tüdeş T. (1997). Zoning Plan Implementation Techniques in Urban Area Arrangements 1st Edition, JEFOD Publications.
- Yasar H.N. (2008). Zoning Law, 1st Edition, Filiz Bookstore.
- Yayla, Y. (1975). Main Legal Issues of City Planning and the Example of Istanbul, IUHF Publications, Istanbul, (YAYla: City Planning).
- Yavuz, U. (2017). An Investigation on the Effects of Zoning Plan Changes on Building Tendencies: The Case of Kağıthane, Istanbul Technical University, Institute of Science and Technology, Department of Real Estate Development, Master's Thesis, Istanbul.

Yıldırım, A & Şimşek, H. (2016). Qualitative research methods. Ankara: Seçkin Publishing.

Yıldız, A. (2021). The Effect of Integrated Planning on Urban Transformation: The Example of Tuzla, Istanbul Commerce University, Institute of Science and Technology, Department of Real Estate Development, Urban Transformation and Planning, Master Thesis, Istanbul.

Yıllar, M.M. (2021). Investigation of the Effect of Pass Cognitive Intervention Program on Learning Performance of Primary School 4th Grade Students with Learning Disability, Istanbul University Cerrahpasa Graduate Education Institute, Department of Educational Sciences, Master Thesis, Istanbul.

Url 1: <https://www.elazig.bel.tr/> (Date of Access: 10 October 2022).



Journal of Turkish Operations Management

Data driven approach for weight restricted data envelopment analysis models with a single output

Şenol Kurt^{1*}, Mustafa Kerem Yüksel², Burcu Dinçergök³

¹Department of Business, Atılım University, Ankara

e-mail: kurtksenol@student.atilim.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-4526-1592>

²Department of Economics, Bilkent University, Ankara

e-mail: mkeremyuksel@gmail.com, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-7051-6526>

³ Department of Business, Atılım University, Ankara

e-mail: burcu.dincergok@atilim.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-7050-8163>

*Corresponding Author

Article Info

Article History:

Received: 29.07.2023

Revised: 23.08.2023

Accepted: 29.08.2023

Keywords

Data Envelopment Analysis,
Machine Learning,
Gradient Boosting Tree

Abstract

This study aims to explore whether a machine learning algorithm can be used to make improvements in assessing unit efficiencies via a data envelopment analysis (DEA) model. In this study, a DEA model is used to calculate the efficiency scores of Decision Making Units (DMUs). Subsequently, an ML algorithm is trained with the aim of predicting a single output using inputs. Ranking of input features based on relative feature importance values obtained from the trained ML model is fed to the DEA model as weight restrictions. As a result, the two DEA models are compared with each other. ML-based insights (feature importance ranking) improve the DEA model in the direction of fewer zero weights. The additional weight restrictions are data dependent and hence realistic. As a novel approach, this study proposes the use of machine learning-based feature importance values to overcome a limitation of a DEA model.

1. Introduction

Every organization, whether for-profit (such as bank, manufacturing or transportation company, etc.) or nonprofit (such as university, hospital, NGO, etc.) conducts operations to achieve certain goals and objectives. To do so, the organization converts inputs into outputs. It is imperative to measure this performance quantitatively to assess how efficiently inputs are transformed into outputs (performance measurement). Additionally, this process can pinpoint areas where an organization can enhance its operations, thereby guiding the organization towards increasing productivity.

An important family of tools for efficiency analysis, especially in the context of multiple inputs and multiple outputs, is Data Envelopment Analysis (DEA) (Ghiyasi et al., 2021). DEA is a nonparametric method based on linear programming (LP) to measure the (relative) performance and assign an efficiency score (ES) to each Decision-Making Unit (DMU) relying on a common set of input and output features. DEA was originally proposed by Charnes et al. (1978, 1981) under the constant returns to scale (CRS) setting (CCR model) where it is assumed that there exists proportionality between inputs and outputs. The CCR model was later extended by Banker et al. (1984) which allows for variable returns to scale (VRS). DEA aims to construct Production Possibility Set (PPS) instead of using functional forms that connect inputs to outputs. As the initial stage in the analysis, the PPS can be defined as the minimum set enveloping assessed observed units along with all feasible input and output combinations (Thanassoulis, 2001; Atici, 2012). PPS is used to calculate the relative efficiency of a DMU by comparing its input and output combination to a set of all possible combinations. The nonparametric nature of

DEA requires no functional relationship among input and output variables. In general, ES in a DEA model ranges from 0 to 1, which refers to the relative position of DMUs off the efficient frontier which is characterized by the DMUs with ES of 1 (and hence called efficient DMUs). A DMU with a smaller score is called to be inefficient (Cooper et al., 2011).

Meanwhile, the rapid growth in the amount of data and the increased computing power for processing vast amounts of data has recently made Machine Learning (ML) a widely used tool. ML aims to reveal patterns inside the data. It is possible that the rather complex (nonlinear) relationship between multiple independent and dependent variable might not be captured by rule-based solutions. In these situations, ML algorithms can help. Numerous studies aim to integrate DEA and ML, as both methodologies assist decision-makers quantitatively by providing valuable insights, especially when there are multiple variables and complex relationships among them (Emrouznejad & Shale, 2009; Jomthanachai et al., 2021; Zhu et al., 2018, Appiahene et al., 2020; Farahmand et al., 2014; Salehi et al., 2019; Koronakos & Sotiropoulos, 2020). However, this integration is not straightforward as there are some differences between the two methodologies. When an ML model is trained on a dataset, it can be used for unseen data. In DEA, however, the efficient frontier (and ES of DMUs) is calculated for given DMUs but an additional DMU may require a recalculation. Moreover, such a shift in the efficient frontier alters the ES of almost all the DMUs. This creates difficulty in replacing one method with the other blindly but does not prevent exploiting the best of both worlds to develop “integrated” tools.

For instance, some studies try to find and calibrate the “best” ML algorithm to predict ES which can otherwise be calculated by DEA (Jomthanachai et al., 2021; Koronakos & Sotiropoulos, 2020). To that end, a subset of DMUs is chosen and their ESs are calculated then these are used to train an ML algorithm using DEA inputs and outputs as the features of the ML model to predict the ES of DMUs. The trained ML model can predict the ES of a newly added DMU without the need for any calculation (Tayal et al., 2020). Since ES is a continuous variable, the ML model should be a regression algorithm. On the other hand, some studies use information from the DEA model to classify whether DMU demonstrates efficiency or not; and develop and train an ML model (classification algorithm) to predict the category to which the next DMU belongs (Singpai & Wu, 2020; Hoz et al. 2021).

Unsupervised ML algorithms, such as clustering and dimensionality reduction, are also used together with DEA (Hoz et al. 2021; Tayal et al., 2020). In general, the aim of utilizing clustering algorithms is to group DMUs based on their similarities for a given set of features. Since DEA requires a set of homogenous DMUs for ES calculation, clustering is used to create homogenous subgroups within a given set of DMUs. Then (possibly different) DEA models are employed for each subset of DMUs. Therefore, the efficiencies for each subgroup are evaluated within the subgroup.

Both ML and DEA broadly suffer from high dimensionality, which leads to poor performance (Chen et al., 2022; Kumar et al., 2021). “*The curse of dimensionality*” in ML is due to the fact that as the number of features increases, the observed data in the feature space is not distributed so that the feature space is represented ‘fairly’. In other words, as the dimension increases, insufficient empirical evidence exist that explain the relationship between features and the output confidently in almost everywhere in the feature space except for a certain region the observed data is present. Dimensionality reduction techniques such as principal component analysis and t-distributed Stochastic Neighbor Embedding (Tayal et al., 2020; Lin, 2021) address this problem. A similar problem manifests itself in DEA as well. Due to the relative character of the DEA, with too many inputs and outputs, there may exist virtually efficient DMUs whose efficiency are only due to some insignificant inputs and outputs. Dimensionality reduction can be employed with DEA when the number of inputs and outputs is large.

Feature selection techniques are also used to tackle the problem of high dimensionality. Since datasets may consist of irrelevant and noisy data, selecting appropriate features generally increase ML performance. It is also applicable to DEA models. While calculating ES with DEA, using only ‘appropriate’ input and output features produces more simple, interpretable, and reliable results (Chen et al., 2022; Kumar et al., 2021).

ML is also used to interpret the DEA results, rather than predicting the ES of DMUs. Employing decision tree-based ML models, such as random forests and gradient boosting trees, can identify features that have more impact on predicting the target variable (Adler & Painsky, 2022). In DEA, the target variable can either be the ES (continuous) or the status of DMUs (discrete). In both cases, decision tree-based ML models can identify key factors that affect the performance of DMUs. Identifying these factors can help decision-makers on setting priorities and allocate resources for improving efficiency.

DEA methodology doesn't require predefined weights for input and output features to calculate ES. Due to its weight flexibility feature, it can result in undesired situations where the weights are unreasonable and are not in

line with expert views on the production process (Cooper et al., 2011). A DEA model may put too much weight on a few inputs and outputs while ignoring most of them which is a limitation of the DEA methodology. It may show a prevalence of zero weights leading to concerns about ES calculation (Forsund, 2013). Putting too much weight on a few inputs and outputs may result in defining an inefficient DMU as a virtually efficient one. Moreover, that DMU appears as a reference to other DMUs by being on the efficient frontier.

Applying weight restrictions may help to enhance discrimination and reduce weight dispersion. Price information, expert opinions, value information, and managerial goals are sources for imposing weight restrictions in DEA (Cooper et al., 2011). Rather than using subjective information, this study proposes to apply weight restrictions for single output datasets by using information obtained from the data itself. ML algorithms have the capability to recognize patterns and extract insightful information from complicated data. The motivation of this study is to integrate ML and DEA methodologies in a manner whereby acquired information from the dataset via an ML algorithm is used to overcome the limitation of traditional DEA models related to a substantial proportion of zero weight assignment. This study will also aim to explore whether an ML algorithm can be used to make improvements in a DEA model in the sense that certain inputs and outputs cannot be ignored, so that the virtually efficient DMUs are avoided, and more precise and realistic efficiency assessments can be made.

Decision tree-based ML models such as random forests, and gradient boosting trees can identify features that have more impact on predicting the target variable (Adler & Painsky, 2022). Previous studies apply feature importance values to identify and explain key factors that have an impact on the efficiency of DMUs (Aydn & Yurdakul, 2020; Nandy & Singh, 2020a; 2020b; Thaker et al., 2021; Rebai et al., 2020; Xu et al., 2021). However, this study proposes a novel approach to incorporating feature importance to DEA. The utilization of feature importance ranking as an additional weight restriction is proposed to improve discrimination power and weight dispersion of a DEA model.

The paper is organized as follows. Section 2 reviews the literature on studies integrating DEA and ML. The methodology and the model design are explained in Section 3. Section 4 contains the results of the study and Section 5 includes conclusions and recommendations.

2. Literature review

ML and DEA are two well-studied distinct areas of research and application. Recently, numerous studies have been conducted with the aim of integrating ML and DEA. In supervised ML, the goal is to get a predictive model which is trained on input features and an output (target) feature. The model learns the relationship between the inputs and the output during the training process. Then, the trained model can predict the target variable from given input features. DEA, on the other hand, relies on a mathematical model to calculate the relative efficiency scores of DMUs where each ES comes from a distinct optimization problem, different for each DMU.

Both methodologies are used to analyze data quantitatively and try to get insights from the data to help the decision-making process. They are used to assist decision-makers by providing useful outputs which cannot be obtained from the data at first glance. However, an ML model can be used when new data comes in whereas a DEA model must be rebuilt when new data is added to the dataset. An ML model is built to make predictions for unseen data. On the other hand, a DEA model is only built to make calculations for the DMUs to which the dataset belongs.

In an effort to integrate ML and DEA, one approach has been training multiple ML (regression) models where the features are the inputs and outputs of the DEA model and the target variable is the ES, and then predicting the ES using trained models on the test data and comparing various ML algorithms based on their prediction capabilities. The main motivation in this line of research is to replace the DEA methodology with an ML model so that additional DMUs do not require a costly re-computation. Studies employ different datasets, such as schools, hospitals, farms, etc., and tried to build a regression model to predict the ES of DMUs as close as possible to the ES calculated by a DEA model (Emrouznejad & Shale, 2009; Jomthanachai et al., 2021; Zhu et al., 2018, Appiahene et al., 2020; Farahmand et al., 2014; Salehi et al., 2019; Koronakos & Sotiropoulos, 2020).

A second approach involves training multiple ML (classification) models, where the target variable is whether a member belongs to efficiency tier (ET) or not based on DEA results. Subsequently, the model predicts the ET with trained models using test data, and finally, various ML algorithms are compared based on their prediction capabilities. In other words, predicting ET, rather than ES of DMUs is also a widely studied subject (Singpai & Wu, 2020; Hoz et al. 2021; Song & Zhang, 2009; Hong et al., 1999; Gupta et al., 2016; Mirmozaffari et al., 2020).

A third approach involves clustering DMUs with an unsupervised ML model to form homogeneous sets of DMUs, then, calculating ES separately for each cluster (subgroup) using DEA (Hoz et al. 2021; Özsoy & Örkücü, 2021; Aydın & Yurdakul, 2020; Mirmozaffari et al., 2020; Tayal et al., 2020). Özsoy and Örkücü (2021) initially employs an ML algorithm to cluster 43 Turkish airports into three groups: big-scale, middle-scale, and small-scale. Then they employ DEA to measure the performance of each group. Mirmozaffari et al. (2020) combine the clustering algorithm and DEA to study cement companies from developing countries. On the other hand, Aydın and Yurdakul (2020) applied two clustering algorithms, k-means, and hierarchical clustering, to divide the countries into three groups, then employ DEA models to measure the performance of 142 countries against COVID-19.

A fourth approach has been employing an ML algorithm for feature selection or dimensionality reduction, then building a DEA model only with selected features or in reduced dimensions (Tayal et al., 2020; Chen et al., 2022; Kumar et al., 2021; Zhang et al., 2015; Lin, 2021). In particular, Tayal et al. (2020) employ Principal Component Analysis to a set of factors influencing facility layouts for dimensionality reduction before utilizing a DEA model. Lin (2021) employs multiple DEA models by combining inputs and outputs in various combinations. Then the data is analyzed using t-distributed stochastic neighbor embedding (t-SNE) which is a dimension reduction technique to reveal the main characteristics of the data. Chen et al. (2022) employ Least Absolute Shrinkage and Selection Operator (LASSO) algorithm for feature selection and then employs a DEA model using only selected features. Kumar et al. (2021) also propose a feature selection methodology to select appropriate inputs and outputs for the DEA model.

Another approach is building an ML algorithm to predict ES or ET, then analyzing input and output features based on their feature importance (Aydın & Yurdakul, 2020; Nandy & Singh, 2020a; 2020b; Thaker et al., 2021; Rebai et al., 2020; Xu et al., 2021). Nandy and Singh (2020a) employ a DEA model to measure paddy producers' efficiency and then employ support vector machine and random forest algorithms to predict whether a DMU is efficient or inefficient. They utilize the trained ML model to identify key factors influencing performance. Nandy and Singh (2020b) employ random forest and logistic regression for predicting the ET of DMUs. In doing so, they seek to determine significant environmental factors that affect farmers' performance. Thaker et al. (2021) employ DEA to measure Indian banks' performance. Thereafter, they use random forests to examine the factors such as corporate governance, bank characteristics, etc. that have an impact on bank efficiency. Rebai et al. (2020) similarly employ DEA to calculate efficiency scores of Tunisian secondary schools, then utilize regression tree and random forest algorithms to find out key factors that influence academic achievement. Xu et al. (2021) also apply DEA to measure U.S. states' COVID-19 response performance, then employ four different ML models (classification and regression tree, random forest, boosted tree, and logistic regression) to predict whether a state is efficient or inefficient, to find out influential factors on performance.

Kongar & Adebayo (2021) classify unstructured data (text) with an ML model to form input and output features and then build a DEA model to calculate ES to assess the impact of social media marketing on business performance.

There are also studies in the other direction, which use DEA results as feedback to ML models. To cite a few, Kheirkhah et al. (2013) employ DEA to measure the performance of ANNs which have different number layers and nodes, and Mousavi et al. (2019) employ DEA to calculate the ES of DMUs, then use ES as an input feature to an ML algorithm.

In this study, on the other hand, a novel approach is proposed in incorporating feature importance to DEA. Rather than using feature importance only for the identification of key factors that affect the performance of DMUs, using feature importance ranking as an additional weight restriction to a DEA model is suggested. Due to the weight flexibility feature of a DEA model, it can assign zero weights to most of the input and output features. It means that the employed model ignores most of the inputs and outputs and put too much weight on a few. It can lead to undesired ES and efficiency discrimination among DMUs. Additional weight restrictions prevent a DEA model from assigning a large number of zero weights to the features and hence, avoid virtually efficient DMUs.

3. Model

As one of the weaknesses of the DEA approach is that the individual ES of DMUs requires a weight assignment that is most favorable to the DMU itself. This yields unreasonable neglect of certain inputs (and outputs) via zero weights. In this study, the aim is to develop a method (Figure 1) to assess and rank the relative weights of the inputs in a DEA setting and use this additional information for a weight-restricted version of the same DEA model. Python programming language (*gurobi* package for DEA and *scikit-learn* package for ML model) is used to develop models.

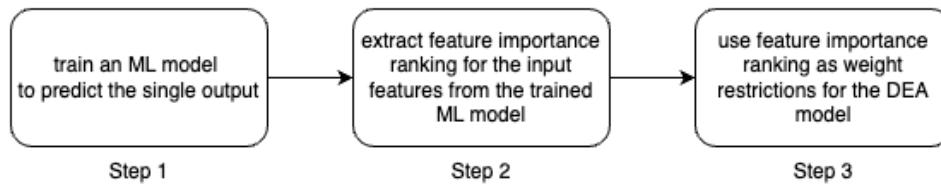


Figure 1. Proposed Methodology

For comparison, this study consists of two phases. Firstly, the input-oriented CCR model (see Charnes et al., 1978) is employed to calculate the ES of DMUs. The mathematical model in multiplier form for DMU r is given in Equation 1 to Equation 4:

$$\max \sum_j \lambda_j y_{rj} \quad (1)$$

subject to

$$\sum_i \mu_i x_{ri} = 1 \quad (2)$$

$$\sum_j \lambda_j y_{sj} \leq \sum_i \mu_i x_{si}, \quad \forall s \quad (3)$$

$$\lambda_j \geq 0, \quad \forall j; \text{ and } \mu_i \geq 0, \quad \forall i \quad (4)$$

where the objective value is the efficiency score of DMU r , inputs, and outputs of DMU s are denoted by x_{si} and y_{sj} respectively, and input and output weights are denoted by μ_i and λ_j , respectively. The analysis is restricted to have only one output.

In the next phase, the proposed approach is applied. Initially, feature importance ranking from an ML algorithm is extracted where inputs are the features, and the output is the target variable. This information yields in which order the inputs have a say on the output which cannot be neglected for an arbitrary DMU.

Then, the ES of each DMU is calculated with additional constraints that take into account the importance of the inputs. More specifically, the same mathematical problem is solved with the following additional constraints (Equation 5):

$$\mu_i \geq \mu_j \text{ if } r(\mu_i) \leq r(\mu_j), \quad \forall i, j \quad (5)$$

where $r(\mu_i)$ is the importance ranking of weight μ_i of input i . In other words, if an input has a higher importance in determining the output, its weight should not be less than the weight of an input with less importance.

3.1. Dataset

The energy plant dataset used by Khezrimotlagh et al. (2019) is a good fit for the purpose of this study. The year 2020 data which contains 1644 energy plants (DMUs) is used in this study. In addition to the 3 inputs (number of generators, nameplate capacity, heat input), 5 of the 6 outputs are treated as undesired outputs since they are related to gas emissions (NO_x, SO₂, CO₂, CH₄, and N₂O emissions) and hence are used as desired inputs (Zhou & Liu, 2015). Finally, a DEA model is built with 8 inputs and 1 output. The single output in the dataset is net electricity generated.

3.2. ML model

The objective of the ML model is to predict the single output using 8 inputs. As the target variable, net electricity generated is a continuous variable, a supervised regression ML model should be used. Since it produces competitive, highly robust, and interpretable results (Friedman, 2001), the gradient boosting tree regressor is selected as the predictive ML model.

The gradient boosting tree algorithm is a decision tree-based ML algorithm that can be used for both classification and regression problems (Natekin & Knoll, 2013). It is a kind of boosting algorithm that trains multiple ML models in a sequence. It tries to get more accurate predictions by combining them. It starts with a basic model and then the next model pays more attention to the wrong predictions the previous model has made by giving them more weights. This procedure is continued by the following models and at the end, they are combined to build a strong model that can make more accurate predictions.

Gradient boosting tree algorithm also produces relative feature importance (Adler & Painsky, 2022) which is a measure of how much it contributes to predicting the target variable. In other words, feature importance values reveal which features are more important, and which are less. As features are used to split data in decision tree algorithms, the closer the feature is to the root node, the higher relative importance the feature has. The features at the top of a decision tree contribute more than the features at the bottom to make predictions.

A gradient boosting tree is developed to predict net electricity generated values using 8 input features. 5-fold cross-validation is applied during the training process. Hyperparameters (subsample, minimum samples leaf, minimum samples split, maximum depth, number of estimators, learning rate) are tuned throughout the cross-validation using a grid search process. The hyperparameters that produce the least average root mean squared error (RMSE) at the end of the 5-fold cross-validation process, are selected for the model.

One of the advantages of the gradient boosting tree algorithm is that it can produce relative feature importance, which is used in this study, as well. Feature importance values are provided relatively, and it refers to a measure that indicates how much it contributes to predicting the target variable (Adler & Painsky, 2022). It helps the model developer to get insight from the dataset. Especially, when there is a large number of features, it is not easy to understand how the fitted model makes predictions. Feature importance values reveal which features are more important, and which are less. As features are used to split data in decision tree algorithms, the closer the feature is to the root node, the higher relative importance the feature has (Kotsiantis, 2013). The features at the top of a decision tree contribute more than the features at the bottom to make predictions.

A gradient boosting tree is developed to predict net electricity generated values using 8 input features, namely number of generators, nameplate capacity, heat input, NO_x, SO₂, CO₂, CH₄, and N₂O emissions. 5-fold cross-validation is applied during the training process. Hyperparameters (subsample, minimum samples leaf, minimum samples split, maximum depth, number of estimators, learning rate) are tuned throughout the cross-validation using a grid search process. The hyperparameters that produce the least average root mean squared error (RMSE) at the end of the 5-fold cross-validation process, are selected for the model.

4. Results and discussion

In this study, a real-world dataset is utilized. Initially, a DEA model (input-oriented CCR) is used to calculate the ES of DMUs, which will be called DEA-01 afterward. Then, to obtain relative feature importance values of input features, an ML algorithm (gradient boosting tree) is trained that aims to predict the single output (net electricity generated) using input features. The trained model produces an average R² of 98.51 and an average RMSE of 91.82 for the 5-fold cross-validation process. Feature importance values are given in Table 1. The feature importance ranking of input features obtained from the trained ML model is used as weight restrictions to the second DEA model (DEA-02). As a result, the two DEA models are compared with each other. Especially, zero weight counts, efficient DMU counts, and ES values for each model are reported.

Table 1 reports the feature importance values as well as the count and percentage of zero weights for each input (feature) where the inputs are sorted in ascending order with respect to the zero weight counts. In DEA-01, there are 23 efficient plants (among 1644), where 61% of the input weights are found to be zero. The sparse character of the weights is also evident from the observation that in DEA-01, for 6 out of 8 inputs, zero weight is assigned for more than half of the DMUs. It is also important to observe that feature importance is not fully correlated with zero counts (see Table 1) since otherwise there is no need to augment an ML model.

Table 1. Count and Ratio of Zero Weights

Feature	Feature Importance Value	DEA-01 Model		DEA-02 Model	
		Count	Percentage	Count	Percentage
Annual N ² O emissions (lbs)	0.9880	17	1.03	0	0
Annual NO _x emissions (tons)	0.0008	720	43.80	89	5.41
Annual CO ₂ emissions (tons)	0.0033	822	50.00	43	2.62
Annual SO ₂ emissions (tons)	0.0005	1040	63.26	1190	72.38
Nameplate capacity (MW)	0.0006	1209	73.54	367	22.32
Total annual heat input (MMBtu)	0.0024	1231	74.88	97	5.90
Number of generators	0.0004	1404	85.40	1447	88.02
Annual CH ₄ emissions (lbs)	0.0039	1589	96.65	316	19.22

Figure 2 plots the ES obtained from the two DEA models. As the constraint set of DEA-02 is the subset of the constraint set of DEA-01, the ES in DEA-02 will obviously be smaller for almost all the DMUs. This is also evident in the density plots of the ES of the DMUs (Figure 3) where the ES shifts to the left in DEA-02. To put the change in ES in perspective, Figure 4 shows that the percentage decrease in ES increases as the ES increases.

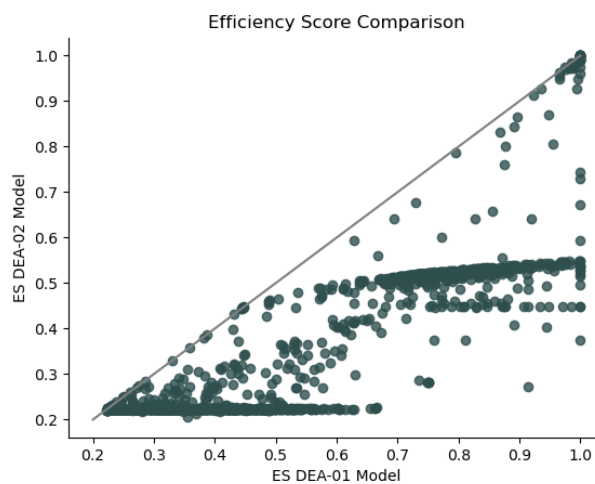


Figure 2. Comparison of ESs for the 2 DEA models

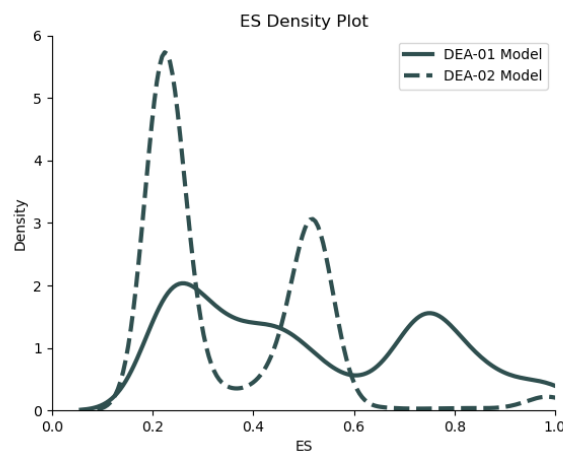


Figure 3. Density plots for the ESs in the 2 DEA models

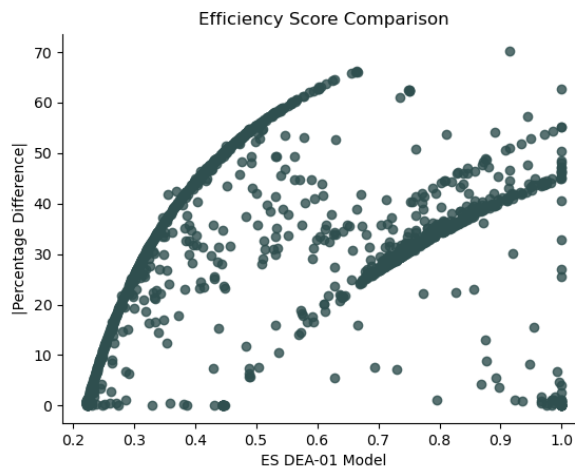


Figure 4. Percentage decrease in ES

In DEA-02, there are only 6 efficient plants. The ratio of the zero input weights is dramatically reduced to 27%. Moreover, for only 2 of the inputs, zero weight is assigned to more than 25% of the DMUs. Needless to say, these two are the ones with the least importance. In other words, at least 6 inputs are taken into account in ES calculation for almost all of the DMUs. Figure 5 plots the zero weight counts in each model where the size indicates the number of DMUs. The most frequently observed change is having 5 zero weighted inputs in DEA-01, but only 2 zero weights in DEA-02. The most radical change is observed in DMUs with 7 zero weights in DEA-01 and none in DEA-02. All in all, zero weight counts decrease for 1604 plants; remain the same for 32 plants, and increase for only 8 plants.

The results indicate that the ML-based DEA improves on the zero weight counts and thus has more discriminatory power against the virtually efficient DMUs. Hence the efficient frontier is more realistic.

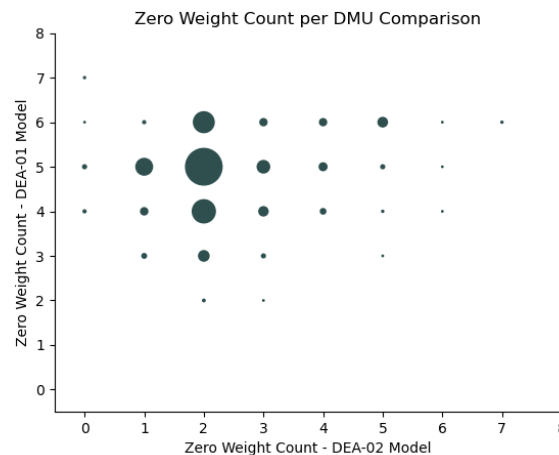


Figure 5. Comparison of zero weight counts in each model

5. Conclusion

DEA and ML are two widely used methodologies that aim to gain insights from the data. Several studies integrate two methodologies. These studies generally focus on predicting the ES or ET of newly added DMUs, finding out key factors that have an impact on the performance of DMUs, dimensionality reduction, and feature selection. This study proposes a novel approach to the integration of the two methodologies.

Since DEA methodology doesn't require predefined weights for input and output features to calculate ES, it may put too much weight on a few inputs and outputs while ignoring most of them by assigning zero weights. Putting too much weight on a few inputs and outputs may result in defining an inefficient DMU as a virtually efficient one. Moreover, that DMU appears as a reference to other DMUs by being on the efficient frontier. Applying weight restrictions may help to overcome this limitation. Although price information, expert opinions, value information, and managerial goals can be used for imposing weight restrictions in DEA (Cooper et al., 2011), this study proposes to apply weight restrictions for single output datasets by using information obtained from the data itself. ML algorithms have the capability to recognize patterns and extract insightful information from complicated data. Gradient boosting trees, a decision tree-based ML model, can rank features with respect to their impact on predicting the target variable. Rather than using this information only for the identification of key factors that affect the performance of DMUs, this study aims to use it as a weight restriction for a newly proposed DEA model to make a more precise and realistic efficiency assessment.

In this study, a real-world dataset about energy plants is used. The dataset contains 8 inputs and a single output. Initially, an input-oriented CCR model is developed to measure the ES of energy plants. Then, a gradient boosting tree algorithm is trained that aims to predict the single output using inputs to obtain relative feature importance values of input features. The implied ranking is later used as weight restrictions for a second DEA model. As a result, the proposed DEA model which takes the input-output relations into account improves on the zero counts and thus avoids virtually efficient DMUs as much as possible. It can be concluded that the proposed approach leads to a DEA model that has more discriminatory power and less zero weights. The approach uses information obtained from the data itself rather than relying on subjective judgments.

The proposed approach is examined on a dataset that contains only one output. Future research may be related to a dataset where there is more than one single output. The study may focus on whether feature importance ranking remains the same while predicting different outputs. Different ML algorithms can also be utilized to obtain feature importance ranking which may lead to differences in terms of importance ranking. The proposed approach may also be applied to datasets from different domains to observe its robustness and generalizability.

Conflicts of Interest

The authors declared that there is no conflict of interest.

Contribution of Authors

This study is based on the Şenol KURT's doctoral thesis. Doç.Dr. Burcu DİNÇERGÖK and Dr. Mustafa Kerem YÜKSEL are the thesis supervisors.

References

- Appiahene, P., Missah, Y. M., & Najim, U. (2020). Predicting bank operational efficiency using machine learning algorithm: comparative study of decision tree, random forest, and neural networks. *Advances in fuzzy systems*, 2020, 1-12. doi: <https://doi.org/10.1155/2020/8581202>
- Adler, A. I., & Painsky, A. (2022). Feature importance in gradient boosting trees with cross-validation feature selection. *Entropy*, 24(5), 687. doi: <https://doi.org/10.3390/e24050687>
- Atici, K. B. (2012). Using data envelopment analysis for the efficiency and elasticity evaluation of agricultural farms (Doctoral dissertation, University of Warwick). Retrieved from: https://wrap.warwick.ac.uk/54354/2/WRAP_THESIS_Atici_2012.pdf
- Aydin, N., & Yurdakul, G. (2020). Assessing countries' performances against COVID-19 via WSIDEA and machine learning algorithms. *Applied Soft Computing*, 97, 106792. doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106792>
- 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. doi: <https://doi.org/10.1287/mnsc.30.9.1078>
- Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European journal of operational research*, 2(6), 429-444. doi: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)

- Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1981). Evaluating program and managerial efficiency: an application of data envelopment analysis to program follow through. *Management science*, 27(6), 668-697. doi: <https://doi.org/10.1287/mnsc.27.6.668>
- Chen, Y., Tsionas, M. G., & Zelenyuk, V. (2021). LASSO + DEA for small and big wide data. *Omega*, 102, 102419. doi: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2021.102419>
- Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Zhu, J. (Eds.). (2011). *Handbook on data envelopment analysis* (2nd ed.). Springer.
- De La Hoz, E., Zuluaga, R., & Mendoza, A. (2021). Assessing and Classification of Academic Efficiency in Engineering Teaching Programs. *Journal on Efficiency and Responsibility in Education and Science*, 14(1), 41-52. Retrieved from: <https://hdl.handle.net/20.500.12834/880>
- Emrouznejad, A., & Shale, E. (2009). A combined neural network and DEA for measuring efficiency of large scale datasets. *Computers & Industrial Engineering*, 56(1), 249-254. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2008.05.012>
- Farahmand, M., Desa, M. I., & Nilashi, M. (2014). A combined data envelopment analysis and support vector regression for efficiency evaluation of large decision making units. *International journal of engineering and technology (IJET)*, 2310-2321. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/288995583_A_Combined_Data_Envelopment_Analysis_and_Support_Vector_Regression_for_Efficiency_Evaluation_of_Large_Decision_Making_Units
- Førsund, F. R. (2013). Weight restrictions in DEA: misplaced emphasis?. *Journal of Productivity Analysis*, 40, 271-283. Retrieved from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11123-012-0296-9>
- Gupta, A., Kohli, M., & Malhotra, N. (2016, July). Classification based on Data Envelopment Analysis and supervised learning: A case study on energy performance of residential buildings. In 2016 *IEEE 1st international conference on power electronics, intelligent control and energy systems (ICPEICES)* (pp. 1-5). IEEE. doi: [10.1109/ICPEICES.2016.7853706](https://doi.org/10.1109/ICPEICES.2016.7853706)
- Ghiyasi, M., Rouyendegh, B. D., & Özdemir, Y. S. (2021). Local and global energy efficiency analysis for energy production based on multi-plant generalized production technology. *IEEE Access*, 9, 58208-58215. doi: [10.1109/ACCESS.2021.3072493](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3072493)
- Hong, H. K., Ha, S. H., Shin, C. K., Park, S. C., & Kim, S. H. (1999). Evaluating the efficiency of system integration projects using data envelopment analysis (DEA) and machine learning. *Expert Systems with Applications*, 16(3), 283-296. doi: [https://doi.org/10.1016/S0957-4174\(98\)00077-3](https://doi.org/10.1016/S0957-4174(98)00077-3)
- Jomthanachai, S., Wong, W. P., & Lim, C. P. (2021). An Application of Data Envelopment Analysis and Machine Learning Approach to Risk Management. *IEEE Access*, 9, 85978-85994. doi: [10.1109/ACCESS.2021.3087623](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3087623)
- Kheirkhah, A., Azadeh, A., Saberi, M., Azaron, A., & Shakouri, H. (2013). Improved estimation of electricity demand function by using of artificial neural network, principal component analysis and data envelopment analysis. *Computers & Industrial Engineering*, 64(1), 425-441. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2012.09.017>
- Khezrimotlagh, D., Zhu, J., Cook, W. D., & Toloo, M. (2019). Data envelopment analysis and big data. *European Journal of Operational Research*, 274(3), 1047-1054. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.10.044>
- Kongar, E., & Adebayo, O. (2021). Impact of Social Media Marketing on Business Performance: A Hybrid Performance Measurement Approach Using Data Analytics and Machine Learning. *IEEE Engineering Management Review*, 49(1), 133-147. doi: [10.1109/EMR.2021.3055036](https://doi.org/10.1109/EMR.2021.3055036)
- Koronakos, G., & Sotiropoulos, D. N. (2020, July). A Neural Network approach for Non-parametric Performance Assessment. In 2020 *11th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications (IISA)* (pp. 1-8). IEEE. doi: [10.1109/IISA50023.2020.9284346](https://doi.org/10.1109/IISA50023.2020.9284346)
- Kotsiantis, S. B. (2013). Decision trees: a recent overview. *Artificial Intelligence Review*, 39, 261-283. doi: Retrieved from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10462-011-9272-4>

- Kumar, A., Shrivastav, S. K., & Mukherjee, K. (2022). Performance evaluation of Indian banks using feature selection data envelopment analysis: A machine learning perspective. *Journal of Public Affairs*, e2686. doi: <https://doi.org/10.1002/pa.2686>
- Lin, S. J. (2021). Integrated artificial intelligence and visualization technique for enhanced management decision in today's turbulent business environments. *Cybernetics and Systems*, 52(4), 274-292. doi: <https://doi.org/10.1080/01969722.2021.1881244>
- Mirmozaffari, M., Shadkam, E., Khalili, S. M., Kabirifar, K., Yazdani, R., & Gashteroodkhani, T. A. (2021). A novel artificial intelligent approach: comparison of machine learning tools and algorithms based on optimization DEA Malmquist productivity index for eco-efficiency evaluation. *International Journal of Energy Sector Management*, 15(3), 523-550. Retrieved from: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJESM-02-2020-0003/full/html>
- Mirmozaffari, M., Yazdani, M., Boskabadi, A., Ahady Dolatsara, H., Kabirifar, K., & Amiri Golilarz, N. (2020). A novel machine learning approach combined with optimization models for eco-efficiency evaluation. *Applied Sciences*, 10(15), 5210. doi: <https://doi.org/10.3390/app10155210>
- Mousavi, M. M., Ouenniche, J., & Tone, K. (2019). A comparative analysis of two-stage distress prediction models. *Expert Systems with Applications*, 119, 322-341. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.10.053>
- Nandy, A., & Singh, P. K. (2020). Application of fuzzy DEA and machine learning algorithms in efficiency estimation of paddy producers of rural Eastern India. *Benchmarking: An International Journal*, 28(1), 229-248. Retrieved from: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/BIJ-01-2020-0012/full/html>
- Nandy, A., & Singh, P. K. (2020). Farm efficiency estimation using a hybrid approach of machine-learning and data envelopment analysis: Evidence from rural eastern India. *Journal of Cleaner Production*, 267, 122106. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122106>
- Natekin, A., & Knoll, A. (2013). Gradient boosting machines, a tutorial. *Frontiers in neurorobotics*, 7, 21. doi: <https://doi.org/10.3389/fnbot.2013.00021>
- Özsoy, V. S., & Örkücü, H. H. (2021). Structural and operational management of Turkish airports: a bootstrap data envelopment analysis of efficiency. *Utilities Policy*, 69, 101180. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jup.2021.101180>
- Rebai, S., Yahia, F. B., & Essid, H. (2020). A graphically based machine learning approach to predict secondary schools performance in Tunisia. *Socio-Economic Planning Sciences*, 70, 100724. doi: <https://doi.org/10.1016/j.seps.2019.06.009>
- Salehi, V., Veitch, B., & Musharraf, M. (2020). Measuring and improving adaptive capacity in resilient systems by means of an integrated DEA-Machine learning approach. *Applied ergonomics*, 82, 102975. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.102975>
- Sarkis, J. (2007). *Preparing your data for DEA*. In *Modeling data irregularities and structural complexities in data envelopment analysis* (pp. 305-320). Springer, Boston, MA.
- Singpai, B., & Wu, D. (2020). Using a DEA–AutoML Approach to Track SDG Achievements. *Sustainability*, 12(23), 10124. doi: <https://doi.org/10.3390/su122310124>
- Song, J., & Zhang, Z. (2009, January). Oil refining enterprise performance evaluation based on DEA and SVM. In *2009 Second International Workshop on Knowledge Discovery and Data Mining* (pp. 401-404). IEEE. doi: [10.1109/WKDD.2009.43](https://doi.org/10.1109/WKDD.2009.43)
- Tayal, A., Kose, U., Solanki, A., Nayyar, A., & Saucedo, J. A. M. (2020). Efficiency analysis for stochastic dynamic facility layout problem using meta-heuristic, data envelopment analysis and machine learning. *Computational Intelligence*, 36(1), 172-202. doi: <https://doi.org/10.1111/coin.12251>
- Tayal, A., Solanki, A., & Singh, S. P. (2020). Integrated frame work for identifying sustainable manufacturing layouts based on big data, machine learning, meta-heuristic and data envelopment analysis. *Sustainable Cities and Society*, 62, 102383. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102383>

- Thaker, K., Charles, V., Pant, A., & Gherman, T. (2021). A DEA and random forest regression approach to studying bank efficiency and corporate governance. *Journal of the Operational Research Society*, 1-28. doi: <https://doi.org/10.1080/01605682.2021.1907239>
- Thanassoulis, E. (2001). *Introduction to the theory and application of data envelopment analysis*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Xu, Y., Park, Y. S., & Park, J. D. (2021). Measuring the Response Performance of US States against COVID-19 Using an Integrated DEA, CART, and Logistic Regression Approach. In *Healthcare* (Vol. 9, No. 3, p. 268). MDPI. doi: <https://doi.org/10.3390/healthcare9030268>
- Zhang, Y., Yang, C., Yang, A., Xiong, C., Zhou, X., & Zhang, Z. (2015). Feature selection for classification with class-separability strategy and data envelopment analysis. *Neurocomputing*, 166, 172-184. doi: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2015.03.081>
- Zhou, Z., & Liu, W. (2015). DEA models with undesirable inputs, intermediates, and outputs. *Data envelopment analysis: A handbook of models and methods*, 415-446. Springer
- Zhu, N., Zhu, C., & Emrouznejad, A. (2020). 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*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmse.2020.10.001>
- Zhu, J. (2009). *Quantitative models for performance evaluation and benchmarking: data envelopment analysis with spreadsheets* (Vol. 2). New York: Springer.



Journal of Turkish Operations Management

Book depreciation methods under intuitionistic fuzzy environment

Elif Haktanır*

Department of Industrial Engineering, Bahcesehir University, 34349, Besiktas, Istanbul, Turkey

elif.haktaniraktas@eng.bau.edu.tr ORCID No: <http://orcid.org/> <https://orcid.org/0000-0002-3341-4360>

*Corresponding Author

Article Info

Article History:

Received: 17.12.2022
Revised: 12.05.2023
Accepted: 08.09.2023

Keywords:

Straight-Line Method,
Declining Balance Method,
Unit-of-Production Method,
Intuitionistic Fuzzy Sets

Abstract

In general, depreciation is the monetary value of wear and tear on capital goods inherited from previous years while creating goods and services as a result of production activities. The subject of depreciation is the addition of the loss of value that will occur in the economic values that are thought to be used in a company for more than one year. The most common depreciations methods, straight-line method, declining balance method, and unit-of-production method, are almost always handled with crisp numbers in the literature. However, the uncertainty in the parameters such as initial invest cost, salvage value, and useful life, requires the usage of fuzzy sets to represent the vagueness in these values more realistically. For this purpose, in this study, the depreciation methods are developed under intuitionistic fuzzy environment. The main contribution of this paper to the literature is that it presents the depreciation methods under intuitionistic environment with new equations for the first time. The proposed models are applied to an autonomous trolley problem to illustrate the given approach.

1. Introduction

In a broad sense, the goal of a business is to maximize the profits of the owner and/or owners in the long run. In other words, it is to increase the market value of the business. For this, businesses need to make a profit, grow and be continuous. Profit, growth, and continuity are associated with the production of goods and services of a business. The firm uses assets while performing its production function. Some of the assets used are continuous in terms of the continuation of production and are directly related to the competitive power of the enterprise. Examples of these are fixed assets with an economic life of more than one year, such as factory buildings, machinery, and equipment where production takes place. On the other hand, buildings, machinery, and equipment, which are an integral part of production, are used in production and are called tangible assets, wear out over time and lose their production power. It has made it necessary for the continuity of the business to repay the fixed asset investments, which are an important cost element for the business during its acquisition as an asset. In general, depreciation contribute to the continuity of the business by preserving the capital, which is one of the basic assumptions of accounting, by using certain methods and deducting from the profit for the period. Deducting depreciation expenses from the profit for the period may mean paying less tax for the business in the short term. However, this is the visible side of the process. On the invisible side of the process, depreciation expenses are a source of funds that do not require cash outflows.

If all of the tangible and intangible assets, which are called fixed assets, are used in the business for more than one year and lose value during this period due to physical, economic and technological reasons, these value losses make the asset worthless over time. The cost of a fixed asset that is acquired for use in the business and that will provide benefits in more than one period cannot be considered as expense in a single period. In such a case, writing

the expenditure made for this asset as an expense in a single period even though it causes an increase in the operating incomes during the usage period will eliminate the possibility of comparing the said expense with the income of the relevant period. In this case, while there will be much more loss than it should be in the first period, it will appear as a profitable business since the fixed asset cost value will not be calculated in the following periods. For these reasons, the cost incurred by the enterprise for each period should be spread over the relevant periods. In accordance with the periodicity principle of accounting, the life of the enterprise, which is unlimited, should be divided into certain periods and the results of the activities of each period should be determined independently from other periods. Depreciation is the financing of the account by making periodic expense during the depletion life of the account to eliminate the negative effects of depreciation on the capital due to physical and economic reasons in the economic values of the companies. Depreciation, which is expressed as the widespread and systematic distribution of the value of an asset over its economic life, is derived from the French word 'Amortir'. Amortir means to kill slowly, to slow down, to reduce, to weaken in Latin. In the field of accounting and finance, the concept of depreciation is the reduction of the recorded amount of some items in the balance sheet by spreading over certain periods, and the elimination of the amount. Economic assets subject to depreciation in enterprises are an important element that should not be ignored is important in terms of investment from the point of view of enterprises and taxation from the point of view of the government. Depreciation is an important decision-making element for investors in that it can be written as an expense and is an incentive element. Business owners consider how much depreciation they will allocate at the establishment, operation and investment stage of the enterprises, and they see this income source as a decision-making tool. In addition, the government also affects the decisions of the enterprise by making changes in the depreciation rates in some cases. While depreciation is separated in accordance with tax principles and seen in the cost of production, it returns to the enterprise in revenue and constitutes an important auto financing source. The subject of depreciation is also of great importance in terms of determining the profits of the enterprises. In particular, it is important to make a good decision on the selection of the depreciation method in the long run in terms of the liquidity of the enterprises. Because the higher the amount of depreciation expenses that can be written according to the method to be chosen, the lower the profits of the enterprises. This, in turn, may cause the liquidity status of enterprises to be high by paying less taxes in the short term. The application of depreciation means the accumulation of funds and the recovery of the investment expenditure that is tied as capital, and the renewal of the economic asset with this income. In terms of business science, it is the allocation of profit for the replacement of a tangible asset, adding the depreciated or declining part of the tangible fixed assets to the cost of produced goods and deducting them from tax. From all these perspectives, it becomes clearer how important depreciation is for the enterprise.

The book depreciation methods that will be handled in this study are straight-line method, declining balance, and units-of-production method. The subjective opinions of the decision maker in the depreciation methods mentioned above make them vague and ambiguous. To overcome the impreciseness in the decision makers personal evaluations, fuzzy sets theory can be affectively applied in these methods. The concept of ordinary fuzzy set, developed by Zadeh (1965) as an effective tool to handle vagueness and ambiguity. The concept of ordinary fuzzy set has been developed based on the inadequacy of classical sets expressed with binary membership function in real world problems, complex systems involving human judgments and thoughts. The membership degree, which forms the basis of fuzzy sets, proposes to express the attributes with membership degree functions. The membership degree, which takes the value of 0 or 1 in classical sets, can take all values in the range of $[0,1]$ in fuzzy sets. In the past few decades, the ordinary fuzzy set theory proposed by Zadeh has been expanded as different approaches with different additions by researchers including intuitionistic fuzzy set (IFS) theory which was developed by Atanassov (1986).

Zadeh's ordinary fuzzy set theory consists of the degree of membership in the range of $[0,1]$, whereas in Atanassov's IFS theory, the degree of non-membership is also defined in addition to the membership degree. In ordinary fuzzy set theory, both membership and non-membership degrees take values between 0 and 1 and the sum of membership degree and non-membership degree is limited by 1. However, in the IFS theory, the sum of these two parameters does not have to be 1. Atanassov defined a third parameter called hesitancy degree to complete this sum to 1.

The advantage of using IFS in this study is that it allows for handling the vagueness and ambiguity inherent in the decision-making process related to depreciation methods. Traditional crisp sets and ordinary fuzzy sets may not fully capture the subjective opinions and uncertainties involved in the evaluation of depreciation methods. By applying IFS theory, the study can incorporate the degree of non-membership in addition to the membership degree. This means that decision makers can express their evaluations and preferences not only in terms of belonging or not belonging to a particular set but also by considering the degree of hesitancy or non-membership. This allows for a more nuanced representation of decision makers' perspectives. The use of IFSs in this study enables the modification of depreciation methods through fuzzy reasoning, considering cash flow uncertainty. It provides investors with different depreciation alternatives and helps them make informed decisions in an environment where future outcomes are uncertain. Furthermore, the study contributes to the literature by

developing original equations and considering depreciation methods under IFSs. This expands the understanding of how fuzzy sets can be applied to the field of depreciation and provides a novel perspective on decision-making in investment scenarios.

The original contribution of this study to the literature is for the first time to consider depreciation methods under IFSs and to develop original equations in this field. In the study, amortization methods are modified through IFSs to help investors make decisions in an environment of cash flow uncertainty. Options among different depreciation alternatives are provided for the future investment decisions of an autonomous trolley problem through the revision of the straight-line depreciation and declining balance depreciation methods.

The remaining sections of the paper are given as follows. Section 2 includes a literature review on crisp and fuzzy depreciation methods. Section 3 presents the preliminaries of IFSs. Section 4 presents the proposed IF-depreciation methods. Section 5 includes an illustrative application of the proposed approaches on an autonomous trolley problem. Section 6 presents the conclusions and recommendations for future study.

2. Literature review

Although depreciation methods have been the subject of studies in the literature for many years, they also find their place in current studies published in recent years. Bawono and Handika (2023) reported that activity ratio, leverage, and depreciation method choice tend to be associated with firm profitability, based on the panel random effect regression analysis. Mendoza et al. (2022) applied the fixed percentage annual depreciation method for cost analysis in their study. Uemura (2022) analyzed the differing effects of the tax rate reduction and depreciation method reform. Li and Ding (2022) studied the process of water supply investment and labor input in the urban domestic water system with two depreciation methods: the straight-line depreciation method and the sum of years digits method. Wan and Qiu (2022) examined how asset values by industry sectors are affected by different depreciation methods. Conant and Chaille (2022) used Excel to model the effects of the straight line, declining balance, and Modified Accelerated Cost Recovery System (MACRS) depreciation methods on the annual and accumulated depreciation amounts of a company's assets. Sušková and Buchtová (2021) defined the individual types of depreciation and the methods for depreciation of tangible fixed assets in a metallurgical company. Bang and Park (2021) analyzed the effect of a decrease in the nuclear capacity factor under the nuclear phase-out policy on the depreciation cost per unit using the straight-line method and decelerated depreciation method and to provide recommendations from a sustainable management perspective. Sampaio et al. (2021) evaluated the influence of four depreciation methods on the cost of forest road transportation. Deng et al. (2020) studied the application of depreciated replacement cost in asset valuation of non-toll roads and discussed the applicability and limitations of key physical depreciation methods used worldwide. Mishin and Mishin (2020) prepared suggestions on the use of capital depreciation methods as the key tool of industrial enterprise and organization financial soundness improvement.

Although crisp depreciation methods have been frequently studied by researchers, only two fuzzy depreciation studies have been found in the literature, to the best knowledge of the authors. Akan and Kiraci (2023) developed a novel interval type-2 fuzzy depreciation approach and applied in maritime industry. Khalili et al. (2014) rewritten some classic methods for calculating depreciation in fuzzy form by using extension principle and α -cut technique. Kahraman and Kaya (2008) presented fuzzy depreciation, fuzzy tax rate, and fuzzy minimum attractive rate of return methods with numerical examples. The fact that fuzzy depreciation studies have been so little studied in the literature shows the openness of development in this area.

3. Preliminaries: intuitionistic fuzzy sets

Some basic definitions and equations on IFSs are presented in the following.

Definition 1. Let $X \neq \emptyset$ be a given set. An IFS in X is an object A given by

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x), \nu_{\tilde{A}}(x)); x \in X\}, \quad (1)$$

where $\mu_{\tilde{A}}: X \rightarrow [0,1]$ and $\nu_{\tilde{A}}: X \rightarrow [0,1]$ satisfy the condition

$$0 \leq \mu_{\tilde{A}}(x) + \nu_{\tilde{A}}(x) \leq 1, \quad (2)$$

for every $x \in X$. Hesitancy is equal to “ $1 - (\mu_{\tilde{A}}(x) + \nu_{\tilde{A}}(x))$ ”

Definition 2. An IF number \tilde{A} is defined as follows:

An IF subset of the real line

Normal, i.e., there is any $x_0 \in \mathbb{R}$ such that $\mu_{\tilde{A}}(x_0) = 1$ (so $v_{\tilde{A}}(x_0) = 0$)

A convex set for the membership function $\mu_{\tilde{A}}(x)$, i.e.,

$$\mu_{\tilde{A}}(\lambda x_1 + (1 - \lambda)x_2) \geq \min(\mu_{\tilde{A}}(x_1), \mu_{\tilde{A}}(x_2)) \quad \forall x_1, x_2 \in \mathbb{R}, \lambda \in [0, 1] \quad (3)$$

A concave set for the non-membership function $v_{\tilde{A}}(x)$, i.e.,

$$v_{\tilde{A}}(\lambda x_1 + (1 - \lambda)x_2) \leq \max(v_{\tilde{A}}(x_1), v_{\tilde{A}}(x_2)) \quad \forall x_1, x_2 \in \mathbb{R}, \lambda \in [0, 1]. \quad (4)$$

Definition 3. Suppose $\tilde{X} = (\mu_x, v_x)$ and $\tilde{Y} = (\mu_y, v_y)$ be two IFSs. Some basic mathematical operations are defined as follows (Atanassov, 1986).

$$\tilde{X} \oplus \tilde{Y} = (\mu_x + \mu_y - \mu_x \mu_y, v_x v_y) \quad (5)$$

$$\tilde{X} \otimes \tilde{Y} = (\mu_x \mu_y, v_x + v_y - v_x v_y) \quad (6)$$

$$\alpha \tilde{X} = (1 - (1 - \mu_x)^\alpha, v_x^\alpha) \quad (7)$$

$$\tilde{X}^\alpha = (\mu_x^\alpha, 1 - (1 - v_x)^\alpha) \quad (8)$$

Definition 4. Suppose $\tilde{X} = (\mu_x, v_x)$ is an intuitionistic fuzzy number (IFN). Intuitionistic Fuzzy Weighted Geometric Operator (IFWG) and Intuitionistic Fuzzy Weighted Arithmetic Operator (IFWA) with respect to, $w_i = (w_1, w_2, \dots, w_n)$; $w_i \in [0, 1]$; $\sum_{i=1}^n w_i = 1$, is defined as follows.

$$IFWG(\tilde{X}_1, \dots, \tilde{X}_n) = \left\{ \prod_{i=1}^n \mu_{x_i}^{w_i}, 1 - \prod_{i=1}^n (1 - v_{x_i})^{w_i} \right\} \quad (9)$$

$$IFWA(\tilde{X}_1, \dots, \tilde{X}_n) = \left\{ 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_{x_i})^{w_i}, \prod_{i=1}^n v_{x_i}^{w_i} \right\} \quad (10)$$

Definition 5. To defuzzify IFNs, the following score function is given in Equation 11.

$$SI = Score(\tilde{X}) = \frac{\mu_{\tilde{X}}^2 + 2\mu_{\tilde{X}} - 1 + v_{\tilde{X}}}{4} \quad (11)$$

4. IF depreciation methods

In this section the IF straight line method, IF declining balance method, and IF units of production method will be presented.

4.1. IF straight line method

According to the straight-line (SL) depreciation method, an equal rate and amount of depreciation is set aside for economic assets subject to depreciation every year. This method assumes that fixed assets wear out equally every year. According to the SL depreciation method, the depreciation amount is obtained by multiplying the cost of the fixed asset with the depreciation rate or dividing the cost of the fixed asset by its useful life. In case the depreciable asset has a salvage value, the depreciation amount is calculated over the remaining value by deducting the salvage value from the cost value (Hotelling, 1925) as in Eq. (12).

$$\tilde{D}_n = \frac{\tilde{I} - \tilde{S}}{\tilde{N}} \quad (12)$$

where

\tilde{D}_n = IF depreciation during year n,

\tilde{I} = IF cost of the asset

\tilde{S} = IF salvage value

\tilde{N} = IF useful life.

The book value of the asset at the end of n years:

Book value in a given year = Cost basis – total depreciation charges made to date or

$$\tilde{B}_n = \tilde{I} - (\tilde{D}_1 + \tilde{D}_2 + \dots + \tilde{D}_n) \quad (13)$$

To apply Eq. (12), subtraction and division operations of IFS are needed. Eq. (14) presents the IF subtraction operation, Eq. (15) presents the IF division operation, respectively (Atanassov, 2012).

$$\tilde{X} \ominus \tilde{Y} = \begin{cases} \left(\frac{\mu_x - \mu_y}{1 - \mu_y}, \frac{v_x}{v_y} \right) & \text{if } \mu_x \geq \mu_y \text{ and } v_x \leq v_y \text{ and } v_y > 0 \text{ and } v_x \pi_y \leq \pi_x v_y \\ (0,1) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (14)$$

$$\tilde{X} \otimes \tilde{Y} = \begin{cases} \left(\frac{\mu_x}{\mu_y}, \frac{v_x - v_y}{1 - v_y} \right) & \text{if } \mu_x \leq \mu_y \text{ and } v_x \geq v_y \text{ and } \mu_y > 0 \text{ and } \mu_x \pi_y \leq \pi_x \mu_y \\ (0,1) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (15)$$

4.2. IF declining balance method

The declining-balance (DB) method of calculating depreciation allocates a fixed fraction of the beginning book balance each year (Kranz and Worrell, 2001). The fraction, α , is obtained as follows:

$$\tilde{\alpha} = \left(\frac{1}{N} \right) (\text{multiplier}) \quad (16)$$

The most used multipliers in the 1.5 and 2.0 (called double-declining balance). The book value at the end of n years is calculated as in Eq. (17).

$$\tilde{B}_n = \tilde{I}(1 - \tilde{\alpha})^n \quad (17)$$

4.3. IF units of production method

It is based on the logic of calculating the depreciation expense of the fixed asset to be used in production over a ratio based on the production output of that asset (Liapis and Kantianis, 2015). For each fixed asset, its service life, which is measured in units, is determined according to the service it receives. For example, measures such as mileage for a vehicle, the number of prints for a printing machine, the number of units to be produced for a production machine can be used to determine the service life. The depreciation shares to be allocated for each service unit is determined by dividing the net initial cost value, which is found by subtracting the estimated salvage value from the initial cost of the fixed asset, by the service life unit specified above. Thus, at the end of each year (and based on the months that make up the year), the number of service units performed by the fixed asset is multiplied by the depreciation share per service unit to find the annual depreciation share required. When the total number of service units by years reaches the number of service life units, depreciation is no longer calculated. Eq. (18) shows the depreciation in any year with IF units of production method

$$\tilde{D}_n = \frac{\text{Service units consumed during year } n}{\text{Total service units}} (\tilde{I} - \tilde{S}) \quad (18)$$

5. Application on autonomous trolley investment problem

The proposed IF depreciation methods will be applied on an illustrative example in this section. Suppose that a firm has bought an autonomous trolley for their warehouse where the corresponding IF data is presented in Table 1.

Table 1. Parameters and IF values of the autonomous trolley

Parameters	IF Value
\tilde{I}	(\$10,000; 0.95, 0.05)
\tilde{S}	(\$2,000; 0.90, 0.10)
\tilde{N}	(5; 0.90, 0.10)

Economic life here is the expected period of time during the asset remains useful to for its owner. The economic life of an asset can be different than its actual physical life. As it can be understood from its definition, the usage period of an asset cannot be known with certainty at the beginning. This account is accompanied by many variables. For example, reasons such as technological innovations, workplace accidents, usage errors, not operating in a suitable temperature environment or operating more than originally planned may cause a machine's life to be much shorter than originally anticipated. For this reason, this parameter, which is actually imprecise and contains uncertainty, should be expressed with fuzzy numbers instead of crisp numbers. The initial investment cost may be similarly affected by the exchange rate difference, price rise, inflation etc., and the amounts initially taken into account for the calculation may soon become obsolete. Since the salvage value is also a forecast value for a future date, assuming it is precise can lead to erroneous results. Therefore, in this study, these parameters are also considered under intuitionistic fuzziness.

The SL depreciation rate is $\frac{1}{(5; 0.90, 0.10)}$. Therefore, the annual depreciation charge, which is the standard yearly rate at which depreciation is charged to a fixed asset, becomes as follows by using Eq. (12).

$$D_n = \frac{((10,000; 0.95, 0.05) - (2,000; 0.90, 0.10))}{(5; 0.90, 0.10)} = \frac{(8,000; 0.50, 0.50)}{(5; 0.90, 0.10)} = (1,600; 0.56, 0.44)$$

Then, the autonomous trolley has the book values during its useful life as in Table 2, where B_{n-1} is the book value of before the depreciation charge for year n .

Table 2. Book values of the autonomous trolley with SL method

\tilde{n}	\tilde{B}_{n-1}	\tilde{D}_n	\tilde{B}_n
(1; 0.90, 0.10)	(\$10,000; 0.95, 0.05)	(\$1,600; 0.56, 0.44)	(\$8,400; 0.89, 0.11)
(2; 0.90, 0.10)	(\$8,400; 0.89, 0.11)	(\$1,600; 0.56, 0.44)	(\$6,800; 0.75, 0.25)
(3; 0.90, 0.10)	(\$6,800; 0.75, 0.25)	(\$1,600; 0.56, 0.44)	(\$5,200; 0.43, 0.57)
(4; 0.90, 0.10)	(\$5,200; 0.43, 0.57)	(\$1,600; 0.56, 0.44)	(\$3,600; 0.00, 1.00)
(5; 0.90, 0.10)	(\$3,600; 0.00, 1.00)	(\$1,600; 0.56, 0.44)	(\$2,000; 0.00, 1.00)

In the following, the same autonomous trolley problem will be handled with IF-DB method where the salvage value is expected to be $\tilde{S} = (\$778; 0.24, 0.87)$ this time. Here, double declining balance (DDB) depreciation will be used to calculate the annual depreciation and the book values.

The book value at the beginning of the first year is \$10,000, and the DDB is $\frac{2}{(5; 0.90, 0.10)}$. Then Table 3 is obtained for the DDB in terms of the book value of time.

Table 3. Book values of the autonomous trolley with DDB method

\tilde{n}	\tilde{B}_{n-1}	\tilde{D}_n	\tilde{B}_n
(1; 0.90, 0.10)	(\$10,000; 0.95, 0.05)	(\$4,000; 0.70, 0.30)	(\$6,000; 0.83, 0.17)
(2; 0.90, 0.10)	(\$6,000; 0.83, 0.17)	(\$2,400; 0.51, 0.49)	(\$3,600; 0.66, 0.34)
(3; 0.90, 0.10)	(\$3,600; 0.66, 0.34)	(\$1,440; 0.35, 0.65)	(\$2,160; 0.48, 0.52)
(4; 0.90, 0.10)	(\$2,160; 0.48, 0.52)	(\$864; 0.23, 0.77)	(\$1,296; 0.32, 0.68)
(5; 0.90, 0.10)	(\$1,296; 0.32, 0.68)	(\$518; 0.14, 0.86)	(\$778; 0.21, 0.79)

The depreciation deduction for the first year which shown bold in Table 3 is calculated by using Eq. (7) as follows.

$$(\$4,000; 0.70, 0.30) = \left(\frac{\$10,000 \times 2}{5}; 1 - (1 - 0.70)^{2/5}, 0.30^{2/5} \right)$$

The estimated salvage value ($\$778; 0.24, 0.87$) and the final book value ($\$778; 0.21, 0.79$) are defuzzified by using Eq. (11). With these parameter values, the final crisp book value is found to be equal to the estimated crisp salvage value of \$130 which is generally never the situation in real cases. When $\tilde{B}_{\tilde{n}} \neq \tilde{S}$, some adjustments needed to be done in the depreciation methods. In this case, there can be two options: either $\tilde{B}_{\tilde{n}} > \tilde{S}$ or $\tilde{B}_{\tilde{n}} < \tilde{S}$. If $\tilde{B}_{\tilde{n}} > \tilde{S}$, the book value (BV) can be equal to the salvage value by switching from DB to SL depreciation. Then, Eq. (19) is used to calculate the SL depreciation in any year n .

$$\tilde{D}_n = \frac{BV \text{ at the beginning of year } n - \tilde{S}}{\text{Remaining useful life at the beginning of year } n} \quad (19)$$

Now, suppose that all the parameters given are the same except the \tilde{S} . Here, the \tilde{S} will be considered as ($\$550; 0.35, 0.65$). Then, it is needed to determine the optimal time to switch from DB to SL depreciation. Table 4 presents the DDB depreciation of each year as before.

Table 4. DDB depreciation of each year

\tilde{n}	\tilde{D}_n	\tilde{B}_n
(1; 0.90, 0.10)	(\$4,000; 0.70, 0.30)	(\$6,000; 0.83, 0.17)
(2; 0.90, 0.10)	(\$2,400; 0.51, 0.49)	(\$3,600; 0.66, 0.34)
(3; 0.90, 0.10)	(\$1,440; 0.35, 0.65)	(\$2,160; 0.48, 0.52)
(4; 0.90, 0.10)	(\$864; 0.23, 0.77)	(\$1,296; 0.32, 0.68)
(5; 0.90, 0.10)	(\$518; 0.14, 0.86)	(\$778; 0.21, 0.79)

By using Eq. (19) the SL depreciation of each year is calculated as in Table 5. Then, defuzzified SL and DDB depreciation values are compared for each year, and it is switched from DDB to SL when the DB depreciation is less than or equal to SL. The transition from DB to SL depreciation can occur at any point within the n-year period, with the aim of determining the most advantageous year for the switch. The rule governing this transition is as follows: If the depreciation amount under DB in any given year is lower than (or equal to) the corresponding amount under SL, it is recommended to switch to the SL method and adhere to it for the entirety of the depreciable lifespan of the project.

Table 5. Comparison of SL and DDB depreciation

If Switch to SL At the Beginning of Year	IF SL Depreciation	Defuzzified SL Depreciation	IF DDB Depreciation	Defuzzified DDB Depreciation	Switching Decision
(2; 0.90, 0.10)	$((\$6,000; 0.83, 0.17) - (\$550; 0.35, 0.65)) / (4; 0.90, 0.10)$	\$1,079	(\$2,400; 0.51, 0.49)	\$1,081	Do not switch
(3; 0.90, 0.10)	$((\$3,600; 0.66, 0.34) - (\$550; 0.35, 0.65)) / (3; 0.90, 0.10)$	\$475	(\$1,440; 0.35, 0.65)	\$423	Switch to SL

The bold value (\$1,079) in Table 5 is calculated by using Eqs. (14-15) and Eq. (11), respectively as follows.

$$\frac{(\$6,000; 0.83, 0.17) - (\$550; 0.35, 0.65)}{(4; 0.90, 0.10)} = \frac{(\$5,450; 0.75, 0.25)}{(4; 0.90, 0.10)} = (1362.50; 0.83, 0.17) = \$1,079$$

Since it is found that the optimal time to switch from DB to SL is (3; 0.90, 0.10), the depreciation result is calculated as in Table 6.

Table 6. Depreciation results

Year	DDB with Switch to SL	End of Year BV
(1; 0.90, 0.10)	(\$4,000; 0.70, 0.30)	(\$6,000; 0.83, 0.17) = \$4,798
(2; 0.90, 0.10)	(\$2,400; 0.51, 0.49)	(\$3,600; 0.66, 0.34) = \$2,174
(3; 0.90, 0.10)	(\$1,017; 0.53, 0.47)	(\$2,583; 0.28, 0.72) = \$586
(4; 0.90, 0.10)	(\$1,017; 0.53, 0.47)	(\$1,143; 0.00, 1.00) = \$0
(5; 0.90, 0.10)	(\$1,017; 0.53, 0.47)	(\$279; 0.00, 1.00) = \$0
Total: (\$9,450; 0.98, 0.02)		

Although, end of year BV is finalized as \$0, the total IF DDB depreciation value is not exactly equal to the difference between IF initial cost and IF estimated salvage value. It is because that with the existing IF subtraction and division operations, the difference and the quotient of two IFNs cannot be defined in some cases and therefore have to be assigned to some specific values which means the developed operations are incomplete (Du, 2021).

This is why many different IF subtraction and division operations are proposed in the literature but there is still no consensus on which one should be preferred certainly.

In the second case, where $B_n < S$, the depreciating should stop when it gets down $B_n = S$. Here, suppose that $\tilde{S} = (\$2,000; 0.40, 0.60) = \680 this time. If the full deduction $(\$1,440; 0.35, 0.65) = \423 was taken, $B_{(3; 0.90, 0.10)}$ would have been less than $\tilde{S} = (\$2,000; 0.40, 0.60)$. Thus, $D_{(3; 0.90, 0.10)}$ is adjusted to $(\$1,600; 0.43, 0.57)$ by making $B_{(3; 0.90, 0.10)}$ equal to $(\$2,000; 0.40, 0.60)$. Then, the final adjusted depreciation results are presented in Table 7.

Table 7. Adjusted depreciation results

End of Year	D_n	B_n
(1; 0.90, 0.10)	(\$4,000; 0.70, 0.30)	(\$6,000; 0.83, 0.17)
(2; 0.90, 0.10)	(\$2,400; 0.51, 0.49)	(\$3,600; 0.66, 0.34)
(3; 0.90, 0.10)	(\$1,600; 0.43, 0.57)	(\$2,000; 0.40, 0.60)
(4; 0.90, 0.10)	(\$0; 0.00, 1.00)	(\$2,000; 0.40, 0.60)
(5; 0.90, 0.10)	(\$0; 0.00, 1.00)	(\$2,000; 0.40, 0.60)
Total: (\$8,000; 0.92, 0.08)		

In the following the same autonomous trolley problem will be handed with unit of production depreciation method. Suppose that the trolley's estimated net cost is $(\$10,000; 0.95, 0.05)$ and salvage value is $(\$2,000; 0.90, 0.10)$ same as before. The trolley is expected to give service for 150,000 miles. Then, the allowed depreciation amount for the trolley usage of 30,000 miles is computed by using Eq. (18).

$$\begin{aligned} & \frac{30,000}{250,000} ((\$10,000; 0.95, 0.05) - (\$2,000; 0.90, 0.10)) \\ &= \frac{30,000 \text{ miles}}{250,000 \text{ miles}} (\$8,000; 0.50, 0.50) \\ &= (\$960; 0.08, 0.92) = \$96 \end{aligned}$$

6. Conclusion

Businesses need new investments in order to grow, increase their sustainability and competitiveness. In economic terms, investment refers to the net additions made to capital goods in a certain period. The company pays attention to many evaluation criteria such as payback period, internal productivity rate, net present value while making investment decision.

As a result of these evaluations, the depreciation amount at the end of the period is also effective in the decision of the enterprise. In the calculation of the depreciation amount, the selected depreciation method is effective. While determining the method, besides the legal legislation, the fund-raising function of depreciation should not be overlooked in terms of business to the extent permitted by the legislation. The same business and the same transactions may cause the values in the financial statement to change with different methods chosen and may also affect the tax amount that the business has to pay, as well as the financing need and cost.

The most used depreciation methods, straight-line method, declining balance method, and unit-of-production method, are analyzed under IF environment in this study to represent the uncertainty in the parameters in a more realistic way. All numbers were left fuzzy until the last possible stage and no defuzzification was made. In this way, fuzzy data is preserved and taken into account until the last stage. Initial invest cost, salvage value, and useful life parameters are evaluated as IF values.

This study makes a significant contribution to the literature by incorporating the use of IFS) in the analysis of depreciation methods, providing a more comprehensive and nuanced approach to decision-making. By considering both membership and non-membership degrees, the study addresses the inherent vagueness and ambiguity in evaluating depreciation methods. It proposes the modification of traditional depreciation methods, such as the straight-line method and declining balance method, through fuzzy reasoning based on IFSs, taking into account cash flow uncertainty and offering investors different depreciation alternatives for informed decision-making. The

development of original equations and a framework for considering depreciation under IFSs expands the understanding of how fuzzy sets can be applied in the context of depreciation.

For the further research, it is recommended to perform a comparison analysis with other extensions of fuzzy sets such as Pythagorean fuzzy sets, spherical fuzzy sets, or picture fuzzy sets. Also, the tax depreciation method like MACRS depreciation can be analyzed under fuzzy environment to include the uncertainties in the parameters and gain better and more realistic results.

Conflicts of Interest

The author declared that there is no conflict of interest.

REFERENCES

- Akan, E., & Kiraci, K. (2023). A novel depreciation approach in an uncertain environment: interval type-2 fuzzy sets in the maritime industry. *Soft Computing* 27(4), 1941-1969. <https://doi.org/10.1007/s00500-022-06778-6>
- Atanassov, K.T. (1986). Intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems* 20(1), 87-96. [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(86\)80034-3](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(86)80034-3)
- Atanassov, K. (2012). *On intuitionistic fuzzy sets theory*. Berlin: Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-29127-2>
- Bang, S., & Park, S. (2021). Effect of depreciation method for long-term tangible assets on sustainable management: From a nuclear power generation cost perspective under the nuclear phase-out policy. *Sustainability (Switzerland)* 13(9), 5270. <https://doi.org/10.3390/su13095270>
- Bawono, I.R., & Handika, R. (2023). How do accounting records affect corporate financial performance? Empirical evidence from the Indonesian public listed companies. *Heliyon* 9(4), e14950. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14950>
- Conant, D., & Chaille, S. (2022). Asset depreciation method comparison: An excel-based classroom exercise. *Journal of Education for Business* 97(5), 351-356. <https://doi.org/10.1080/08832323.2021.1967841>
- Deng, J., Han, X., Pan, Z., Wang, J., Zhang, H., Geng, G., & Ling, C. (2020). Research on physical depreciation methods of non-toll road assets. *CICTP 2020: Advanced Transportation Technologies and Development-Enhancing Connections - Proceedings of the 20th COTA International Conference of Transportation Professionals*, 1011-1021. <https://doi.org/10.1061/9780784482933.088>
- Du, V.S. (2021). Subtraction and division operations on intuitionistic fuzzy sets derived from the Hamming distance. *Information Sciences* 571, 206-224. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2021.04.068>
- Hotelling, H. (1925). A general mathematical theory of depreciation. *Journal of the American Statistical Association* 20 (151), 340-353. <https://doi.org/10.2307/2965518>
- Kahraman, C., & Kaya, İ. (2008). Depreciation and income tax considerations under fuzziness. In: Kahraman, C. (eds) *Fuzzy Engineering Economics with Applications*. Studies in Fuzziness and Soft Computing, vol 233. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-70810-0_10
- Khalili, S., Mehrjerdi, Y.Z., & Zare, H.K. (2014). Choosing the best method of depreciating assets and after-tax economic analysis under uncertainty using fuzzy approach. *Decision Science Letters* 3(4), 457-466. <https://doi.org/10.5267/j.dsl.2014.8.001>
- Kranz, N., & Worrell, E. (2001). Effects of a shortened depreciation schedule on the investment costs for combined heat and power systems. Lawrence Berkeley National Laboratory. (Nov, 2001. LBNL-49518). https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc741193/m2/1/high_res_d/793010.pdf
- Li, K., & Ding, Z. (2022). Dynamic modeling and simulation of urban domestic water supply inputs based on ves production function. *Mathematics* 10(1), 89. <https://doi.org/10.3390/math10010089>
- Liapis, K.J., & Kantianis, D.D. (2015). Depreciation methods and life-cycle costing (LCC) methodology. *Procedia Economics and Finance* 19, 314-324. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(15\)00032-5](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(15)00032-5)
- Mendoza, M.D.L., Zhang, L., & Verstraete, W. (2022). Performance of a pilot Gradual Concentric Chambers (GCC) reactor treating low-strength sewage at a psychrophilic temperature. *Bioresource Technology Reports* 20, 101282. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101282>

- Mishin, Y.V., & Mishin, A.Y. (2020). Impact of depreciation deduction calculation method on financial soundness improvement of economic agents. *E3S Web of Conferences* 208, 03033. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020803033>
- Sampaio, I.S., Machado, C.C., Silva, V.F., & Zanuncio, J.C. (2021). Influence of the depreciation method on the wood transport cost. *Ciencia Florestal* 31(1), 145-156. <https://doi.org/10.5902/1980509832812>
- Sušková, A., & Buchtová, J. (2021). Issues related to definition of an appropriate depreciation method for the purposes of calculation in a metallurgical company. *METAL 2021 - 30th Anniversary International Conference on Metallurgy and Materials, Conference Proceedings*, 1415-1420. <https://www.confer.cz/metal/2021/download/4275-issues-related-to-definition-of-an-appropriate-depreciation-method-for-the-purposes-of-calculation-in-a-metallurgical-company.pdf>
- Uemura, T. (2022). Evaluating Japan's corporate income tax reform using firm-specific effective tax rates. *Japan and the World Economy* 61, 101115. <https://doi.org/10.1016/j.japwor.2022.101115>
- Wan, J., & Qiu, Q. (2022). Depreciation rate by industrial sector and profit after tax in China. *Chinese Economy* 55(2), 111-128. <https://doi.org/10.1080/10971475.2021.1930297>
- Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control* 8(3), 338-353. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)



Journal of Turkish Operations Management

Rüzgâr enerjisi yatırımlarının karbon fiyatlandırması ve rüzgâr hızı tahmini ile ekonomik analizi

Süleyman Atılğan¹, Muzaffer Alım^{2*}, Çağrı Koç³

¹Yenilenebilir Enerji Sistemleri Anabilim Dalı, Batman Üniversitesi, Batman

e-mail: suleyman@batman.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-6943-0055>

²Beşiri OSB MYO, Batman Üniversitesi, Batman

e-mail: muzaffer.alim@batman.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-4420-7391>

³Ankara Sosyal Bilimler Üniversitesi, Ankara

e-mail: cagri.koc@asbu.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-7377-204X>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 05.06.2023

Revize: 25.06.2023

Kabul: 14.07.2023

Anahtar Kelimeler

Rüzgâr enerjisi,
Rüzgâr hızı tahmini,
Enerji ekonomisi,
Karbon emisyon
fiyatlaması,
Türbin seçimi

Özet

Son yıllarda fosil kaynaklardan elde edilen enerji fiyatlarının artması, tedarik problemleri ve çevresel sorunlar gibi faktörler nedeniyle yenilenebilir enerji kaynakları giderek daha büyük bir öneme sahip olmaktadır. Bu enerji kaynaklarına yönelik yapılan yatırımların etkili olması için doğru bir şekilde ekonomik olarak analiz edilmesi gerekmektedir. Son dönemde artan karbon fiyatlandırması uygulamaları da bu analizlerde göz önünde bulundurulması gereken bir faktördür. Özellikle rüzgâr gibi düşük emisyonlu enerji kaynakları için, karbon fiyatlandırması ek bir gelir kaynağı sunmaktadır. Bu çalışmada, belirli bir bölgedeki geçmiş rüzgâr hızı verileri kullanılarak gelecek dönemler için rüzgâr hızı tahminleri yapılmış ve bu tahminlere dayanarak elektrik üretim miktarları hesaplanmıştır. Daha sonra, farklı rüzgâr türbinlerinin ekonomik olarak değerlendirilmesi için birim maliyetler karşılaştırılmıştır. Tahmin yöntemi olarak, mevsimsel ARIMA modeli tercih edilmiştir. Ayrıca, ekonomik analizde Net Bugünkü Değer yaklaşımı kullanılmıştır. Böylelikle, yatırımların maliyetleri, enerji üretimi ve karbon fiyatlaması gibi faktörler dikkate alınarak projenin ekonomik durumu değerlendirilmektedir. Özellikle karbon fiyatlamasının dahil edilmesiyle birlikte, rüzgâr türbinlerinin büyüklüğüne bağlı olarak birim maliyetlerde %9,4 ila %16 arasında azalmalar gözlemlenmiştir. Bu, yatırımcılar ve enerji şirketleri için yenilenebilir enerji projelerinin daha cazip hale gelmesini sağlamaktadır. Ayrıca, çevresel etkilerin azaltılması ve sürdürülebilir enerji üretimi hedeflerine ulaşma açısından da önemli bir adımdır.

Economic analysis of wind energy investments considering carbon pricing and wind speed forecasting

Article Info

Article History:

Received: 05.06.2023

Revised: 25.06.2023

Accepted: 14.07.2023

Keywords

Wind power,
Wind speed forecast,
Energy economics,
Carbon emission pricing,
Turbine selection

Abstract

In recent years, renewable energy sources have gained increasing importance due to the rising prices of fossil fuels, supply problems, and, most importantly, the environmental issues they create. To accurately analyse investments in these sources, all costs and revenues need to be taken into account. The implementation of carbon pricing, which has seen a growing trend in recent years, is also a crucial consideration. It offers an additional revenue opportunity for low-emission energy sources like wind power. This study calculates the electricity generation quantities based on the forecasted wind speeds for the future period by examining historical wind speed data in the selected region. Furthermore, different wind turbines are economically evaluated and compared in terms of unit energy costs. The seasonal ARIMA model is chosen as the prediction method, and the Net Present Value approach is employed for the economic analysis. The inclusion of carbon pricing results in unit cost reductions ranging from 9.4% to 16%, depending on the turbine size. This makes renewable energy projects more attractive to investors and energy companies. It is also an important step in terms of reducing environmental impacts and achieving sustainable energy production targets.

1. Giriş

Enerji talebindeki artış, çevresel sorunlar ve kaynakların azalması yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi giderek arttırmaktadır. Sürdürülebilir kalkınma için enerjide arz-talep dengesinin sağlanması ve enerji üretiminin çevresel açıdan en temiz şekilde yapılması gerekmektedir. Ayrıca, ekonomik olarak herkes tarafından erişilebilir olması için maliyetler de makul bir düzeyde olmalıdır.

Avrupa Birliği (AB), sera gazı emisyonlarını 1990 seviyesine göre %40 düşürmeyi ve 2050 yılına kadar bu oranı %80-95 seviyelerine çıkarmayı hedeflemektedir. Türkiye, sera gazı emisyonlarının düşürülmesi amacıyla 2023 yılı enerji hedefleri doğrultusunda yenilenebilir enerji üretiminin %30'un sağlanmasını hedeflemektedir. (İncekara, 2019). Bu amaçla temiz ve ulaşılabilir enerjiyi teşvik etmek için ülkeler, direkt ve dolaylı olarak çeşitli uygulamalar ortaya koymaktadır. Temiz enerji kaynaklarının kullanımında vergi avantajları sunulduğu gibi ayrıca CO₂ emisyon kotası ve fiyatlandırması uygulanarak dolaylı olarak da firmalar yönlendirilmektedir. Ayrıca, temiz enerji üretimi yapan firmalar, karbon sertifikası alarak üretimlerini daha rahat bir şekilde yapabilmektedir. Gelişmiş ülkelerde emisyonu düşürmenin maliyeti hem daha yüksek hem de enerji verimliliği zaten yüksek olduğu için emisyon azaltma potansiyeli de çok düşüktür. Örneğin, Japonya'da bir ton karbon emisyonu azaltmanın maliyetinin 500 dolar olduğu tespit edilmiştir. Fakat, buna karşın emisyon kredilerinin değeri bunun çok altındadır. Emisyon ile ilgili düzenlemeler dünyanın herhangi bir yerinde yapılan emisyon azaltımını ülke içindeki ile bir tutmaktadır. Bu nedenle gelişmekte olan ülkeler, yenilenebilir enerji yatırımları için firmaları cezbetmektedir. Bu ülkelerden de hem rüzgâr hem de güneş enerjisinde büyük bir potansiyele sahip olan Türkiye, temiz enerji yatırımlarına uyguladığı vergi indirimleri ve elektrik satın alma garantisi ile öne çıkmaktadır.

Rüzgâr enerjisinin, sürdürülebilir bir dünyada yenilenebilir enerji kaynağı olarak önemli bir yeri olduğu görülmektedir. Rüzgâr enerjisinin diğer yenilenebilir enerji türleri gibi ilk yatırım maliyeti diğer kaynaklar ile karşılaştırıldığında yüksek olmasına karşın kullanım maliyetleri oldukça düşüktür. Ayrıca, çevresel açıdan en temiz enerji üretim teknolojilerinden birisidir. Fakat, rüzgâr hızına bağlı olarak değişen üretim potansiyeli, yatırım açısından bazı riskler doğurmaktadır. Bu da enerji üretim potansiyelinin doğru değerlendirilerek etkili bir performans maliyet analizinin yapılması ile ancak aşılabilir. Bu çalışmada, belirlenen bölgelerdeki rüzgâr hızlarına bağlı olarak rüzgâr üretim potansiyelinin tahminlemesi yapılarak buna göre ekonomik analiz yapılmaktadır. Paranın zaman değerini de içeren Net Bugünkü Değer (NBD) yaklaşımı kullanılarak yapılan ekonomik analiz hem doğru rüzgâr türbinin belirlenmesinde hem de birim elektrik üretim maliyetinin hesaplanmasında analitik bir destek sunmaktadır. Ayrıca, henüz Türkiye'de uygulanmamasına rağmen gelecekte olası karbon fiyatlandırmasının rüzgâr türbininden üretilen elektrik maliyetine etkisinin nasıl olacağı da incelenmektedir.

Bu çalışma dört bölümden oluşmaktadır. Bölüm 2'de literatür taraması, Bölüm 3'de tahmin yöntemi ve ekonomik modelin matematiksel sunumu, Bölüm 4'de deneysel sonuçlar, son olarak Bölüm 5'de sonuç ve öneriler sunulmuştur.

2. Literatür Taraması

Bir bölgedeki rüzgâr enerji üretim potansiyeli o bölgedeki rüzgâr hızına bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle rüzgâr potansiyeli hesaplanırken bölgenin geçmiş dönem rüzgâr hızı verilerine dayanarak tahmin yapılmaktadır. Literatürde rüzgâr hızı ve rüzgâr enerjisinden elektrik üretim tahminleri üzerine çalışmalar bulunmaktadır.

Mabel ve Fernandez, (2008), rüzgâr enerjisinden üretilebilecek elektrik üretiminin analizini ve tahminini yapmışlardır. Çalışmada Hindistan'daki yedi rüzgâr çiftliğinden alınan 2002 ile 2005 yılları arasındaki 3 yıllık veriler kullanılmıştır. Rüzgâr çiftliklerinin aylık güç üretiminin tahmini için yapay sinir ağları kullanılmış ve rüzgâr enerjisi tahmin modelini geliştirmek için MATLAB kullanılarak geri yayılım algoritmaları kullanılmış ve rüzgâr enerjisi tahmin modelini geliştirmek için MATLAB kullanılarak geri yayılım algoritmaları kullanılmıştır. Riahy ve Abedi (2008), yaptıkları çalışmada doğrusal tahmin yöntemini kullanarak rüzgâr türbinleri için kısa vadeli rüzgâr hızı tahmininde bulunmuşlardır. Hong, Chang ve Chiu (2010), çok katmanlı bir ileri beslemeli sinir ağı kullanılan yeni bir rüzgâr enerjisi ve hız tahmin yöntemi önermişlerdir. Çalışmada bir rüzgâr çiftliğinin 2003 ile 2004 yılları arasındaki saatlik ölçülen rüzgâr hızı ve rüzgâr enerjisi üretim verileri kullanılmıştır. Önerilen yöntemle 30 dakikalık ileri rüzgâr gücü ve hızı tahmininde bulunularak yöntem test edilmiş ve çok iyi doğruluk gösterdiği görülmüştür.

Kusiak ve Zhang (2010), yeni bir rüzgâr hızı ve gücü tahmin modeli oluşturmuşlardır. Büyük bir rüzgâr çiftliğinde 10 saniyelik aralıklarla toplanan rüzgâr türbini verilerini kullanarak tahminde bulunulmuştur. Rüzgâr hızı tahmin modellerinden biri gelecek 1 dakika için tahmininin %90 doğrulukta olduğu tespit edilmiştir. Rüzgâr gücü tahmin modeli oluşturulmak için ise beş farklı veri madenciliği algoritması kullanılarak üç model oluşturulmuştur. Bu modellerin kapsamlı performans analizi yapılmış ve üç güç tahmin modelinin de kısa zaman dilimlerinde üretilen gücü doğru bir şekilde tahmin etmiştir.

Liu, Shi ve Erdem (2010), rüzgâr hızı tahmini için yeni bir zaman serisi tahmin yöntemi önermişlerdir. Çalışmada ABD'deki bir gözlem alanından gelen bir yıllık saatlik rüzgâr hızı verileri kullanılmıştır. Önerilen yöntem Taylor Kriging modelinin rüzgâr hızı zaman serilerinin tahmini için uygun şekilde değiştirilmiş halidir. Bu yöntem ARIMA yönteminden %18.60 ve %15.23 daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir. Bouzougou ve Benoudjit (2011), rüzgâr hızı tahmini için farklı tahmin algoritmalarından oluşan çoklu mimari sistemine dayalı yeni bir model önermişlerdir. Önerilen model Cezayir'deki yedi gözlem noktasından alınan 10 yıllık veriler kullanarak test edilmiş ve deneysel sonuçlar geleneksel tahmin yöntemlerine kıyasla rüzgâr hızı tahmininin kesinliğini arttırdığı görülmüştür. Zhang, Wang, Zhao ve Tian (2013), radyal tabanlı fonksiyon sinir ağı, mevsimsel düzeltme yöntemi ve melezleyen hibrit modele dalgacık dönüşümü tekniği uygulanarak rüzgâr hızı tahmin için yeni bir model önermişlerdir. Önerilen model, Çin'de bulunan iki bölgenin bir ay için 24 saatlik ortalama verileri kullanılarak test edilmiştir. Sonuçlar önerilen modelin diğer modellere göre en küçük hataya sahip olduğunu göstermektedir. Li, Guan ve Wu (2015), rüzgâr çiftliklerinde enerji üretimini tahmin etmek için yeni bir yöntem geliştirmişlerdir. Çalışmada geliştirilen yöntem ABD'de bulunan dokuz rüzgâr çiftliğinden alınan 10 dakikalık aralıklarla ölçülen 1 yıllık rüzgâr hızı ve gücü verileri kullanılarak test edilmiştir. Test sonuçlarına göre geliştirilen yöntemle elde edilen tahminlerin güvenilir olduğu tespit edilmiştir. Dinçer, Rüstemi, Yılmaz ve Çıngı (2017), Kilis ili için 10 metre yükseklikteki rüzgâr hızı verilerini kullanarak farklı yükseklikteki rüzgâr hızlarını tahmin etmişlerdir.

Şenol ve Musayev (2017), rüzgâr enerjisinden elektrik üretimini yapay sinir ağları modeli oluşturarak tahmin etmişlerdir. Tahmin sonuçlarına göre seçilen bölgedeki rüzgâr enerjisi potansiyelinin oldukça iyi olduğunu ve kaliteli rüzgâr türbinleri kullanarak yüksek elektrik üretiminin sağlanabileceği görülmüştür. Dikmen ve Örgen (2018), Burdur Ağlasun bölgesindeki 2 metre yükseklikteki rüzgâr hızı verilerini kullanarak farklı yükseklikteki rüzgâr hızlarını tahmin etmişlerdir. Rüzgâr hızı dikkate alınarak bölge için en uygun türbin tespiti yapılarak bölgeden rüzgâr enerjisi ile elde edilebilecek enerjiyi tespit etmişlerdir. Naik, Satapathy ve Dash (2018), çekirdek sırtı regresyonu ile ampirik mod ayrıştırmasına dayalı kısa vadeli rüzgâr hızı ve gücü tahmini için bir hibrit yöntem önermişlerdir. ABD'de bulunan bir rüzgâr çiftliğinden alınan 10 dakika, 30 dakika ve 1 saatlik rüzgâr hızı ve gücü verileri kullanılarak önerilen yöntem test edilmiştir. Test sonuçlarında önerilen modelin en az hata metrikleri ve en yüksek kolerasyon katsayısı ile üstün tahmin performansı sergilediği görülmüştür.

Shabbir, AhmadiAhangar, Kütt, Lqbal ve Rosin (2019), rüzgâr enerjisi üretiminin kısa vadeli tahmini için destek vektör makinası tabanlı regresyon algoritması önermişlerdir. Estonya'daki 1 aylık veriler kullanarak rüzgâr enerjisi üretiminin 1 gün öncesinden tahmini yapılmıştır. Çalışmada önerilen algoritma Estonya enerji düzenleme kuruluşu tahmin algoritmasının sonuçlarıyla karşılaştırmış ve önerilen algoritmanın %10 daha az ortalama kare hatası değerine sahip olduğu görülmüştür. Görgel ve Kavlak (2020), İzmir Urla bölgesindeki rüzgâr hızı verilerini kullanarak rüzgâr enerjisinden üretilebilecek elektrik üretim miktarını tahmin etmişlerdir. Lee, Wang, Harrou ve Sun (2020), kısa vadeli rüzgâr enerjisi tahmini için üç topluluk öğrenme dayalı model önermişlerdir. Tahmin doğruluğunun değerlendirilmesi için Türkiye ve Fransa'da bulunan rüzgâr türbinlerinden her 10 dakikada bir alınan ölçümleri kullanılmıştır. Önerilen modellerin iyi bir tahmin sağladığı tespit edilmiştir.

Rüzgâr enerjisinin üretim potansiyeli mevsim şartlarına bağlı olduğu için doğru bir planlama yapılmaksızın kurulan türbinler ekonomik verimliliği sağlamayabilir. Rüzgâr türbinleri kurulmadan önce kurulması planlanan bölgedeki rüzgâr hızı, rüzgâr üretim gücünün doğru şekilde tespit edilmesi ve buna bağlı olarak ekonomik analizinin yapılması gereklidir. Kurulum maliyeti, işletme maliyeti ve bakım maliyeti gibi faktörler kurulması planlanan bölgedeki rüzgâr türbininin amortisman süresini ortaya koymaktadır. Literatürde rüzgâr türbinlerinin ekonomik analizleri üzerine çalışmalar bulunmaktadır. Blanco (2009), rüzgâr enerjisinin ekonomisini ve Avrupa'daki rüzgâr enerjisi projelerinin mevcut üretim maliyetlerini araştırmıştır. Araştırmada karadaki bir rüzgâr çiftliğinin üretim maliyeti 4,5 ile 8,7 ¢cent/kWh arasında, açık denizlerde bulunan bir rüzgâr çiftliğinin üretim maliyetinin ise 6 ile 11.1 ¢cent/kWh arasında olduğunu tespit etmiştir.

Malik ve Al-Badi (2009), Umman'da bulunan bir rüzgâr türbininin ekonomisini araştırmışlardır. Çalışmada yıllık ortalama rüzgâr hızı 5,7 m/s olan bir bölgede bulunan 50 kW gücündeki bir türbinini ele almışlardır. Araştırma sonucunda rüzgâr türbininin toplam öngül maliyetinin 7,4 ile 8,45 ¢cent/kWh arasında olduğunu ve türbinin basit geri ödeme süresinin 5.1 ile 5.4 yıl arasında indirimli geri ödeme süresinin ise 6.7 ile 8 yıl olduğunu tespit etmişlerdir. Vardar ve Çetin (2009), 22 farklı bölgedeki 1990 ile 2005 yılları arasındaki rüzgâr hızının saatlik ortalama değerlerini kullanarak 2500, 1300 ve 600 kW'lık kapasitede olan üç rüzgâr türbininin ürettiği elektriğin bu bölgeler için kWh başına maliyetini hesaplamışlardır. Araştırmada türbinlerden üretilecek elektriğin minimum maliyeti sırasıyla 0,023, 0,0316 ve 0,0478 ¢cent/kWh olarak Kumköy bölgesinde, maksimum maliyeti ise sırasıyla 0,3929, 0,5184 ve 0,806 ¢cent/kWh olarak Yalova bölgesinde olacağı tespit edilmiştir.

Mohammadi ve Mostafaeipour (2013), İran'ın Aligoodarz şehrinin 2005 ile 2009 yılları arasındaki 10 metre yükseklikte ölçülen rüzgâr hızı verilerini kullanarak güçleri 20 kW ve 150 kW arasında değişen altı rüzgâr türbininin ekonomik fizibilitesini değerlendirmişlerdir. Farklı türbinler için enerji maliyetleri 0,0470 ile 0,0720 ¢cent/kWh aralığında olduğu tespit edilmiştir. Geri ödeme süresi ve fayda maliyet oranı analizi yapıldığında bir türbin modeli dışında incelenen tüm rüzgâr türbinlerinin kurulumunun ekonomik olarak uygulanabilir olduğunu

göstermiştir. Katsigiannis ve Stavrakakis (2014), farklı rüzgâr türbini sınıfları için Avustralya'nın çeşitli bölgelerinde rüzgâr enerjisi üretiminin tahminini yapmışlardır. Çalışmada farklı rüzgâr türbinlerinin ekonomik analizi yapılmıştır. Effiom, Nwankwojike ve Abam (2016), Nijerya'da bulunan 500 MW'lık bir açık deniz rüzgâr türbini çiftliklerinin geliştirilmesinin fizibilitesi üzerine ekonomik maliyet değerlendirmesi yapmışlardır.

Bu çalışma, rüzgâr enerjisi alanında tahminleme ve ekonomik analizin birleştirilmesiyle rüzgâr enerjisi yatırımı değerlendirme konusunda katkı sağlamaktadır. Sonuçlar, seçilen bölge için en uygun türbin modelinin seçilmesi ve karbon fiyatlandırmasının elektrik üretim maliyetine etkisini belirlemek için kullanılabilir. Ekonomik model Vardar ve Çetin (2009)'nin geliştirdiği modele benzemesine karşın bu çalışmada rüzgâr hızının tahmini yapılması ve buna dayanan bir ekonomik analiz yapılması çalışmayı farklı kılmaktadır. Ayrıca ekonomik analizde karbon fiyatlandırmasının dahil edilmesi de daha güncel ve gerçekçi bir yaklaşım olarak değerlendirilebilir. Bu çalışmanın sonuçları, sürdürülebilir enerji politikalarının oluşturulmasında ve rüzgâr enerjisi yatırımlarının ekonomik açıdan değerlendirilmesinde karar vericilere rehberlik edebilir.

3. Yöntem

Bu çalışmada kullanılan yöntem bu bölümde detaylı anlatılmıştır. Bölüm 3.1'de rüzgâr enerjisi hesaplamaları, Bölüm 3.2'de veri ve matematiksel yaklaşım, Bölüm 3.3'de tahmin yöntemi ve son olarak Bölüm 3.4'de ekonomik model sunulmuştur.

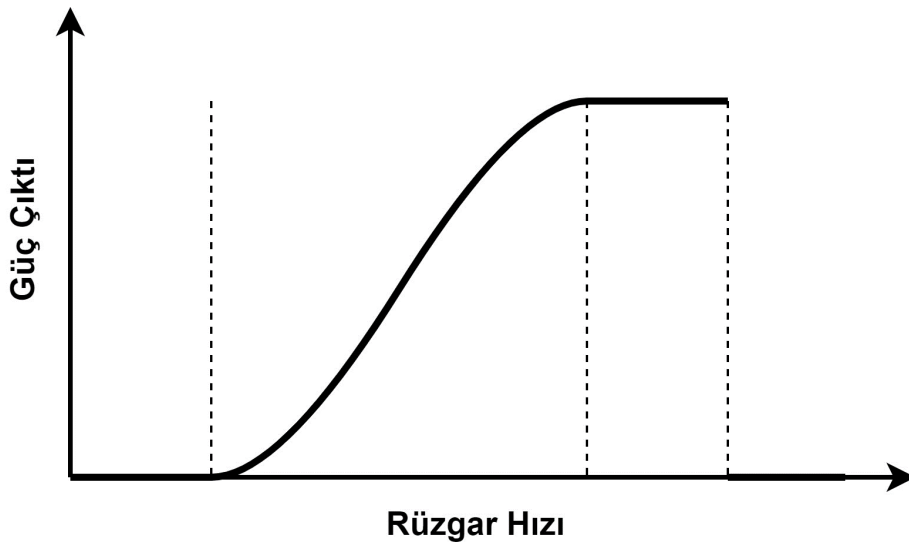
3.1. Rüzgâr Enerjisi Hesaplamaları

Rüzgâr türbinleri, rüzgâr enerjisindeki kinetik enerjiyi rotor kanatlarını hareket ettirerek mekanik enerjiye ve ardından elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Rüzgâr gücünden üretilebilecek enerji miktarı Denklem (1)'deki gibidir.

$$P_t = c_p \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (1)$$

Denklem (1)'deki ρ, A, v, c_p sırasıyla hava yoğunluğu, kanatların süpürdüğü alan, rüzgâr hızı ve güç katsayısı olarak tanımlanmaktadır. Betz Kanunu'na göre hiçbir rüzgâr türbini, rüzgârdaki kinetik enerjinin %59'undan fazlasını elektrik enerjisine dönüştüremez. Bu nedenle c_p değeri maksimum 0,59 olarak belirlenmiş olmasına karşın gerçekte bu değer 0,30 ile 0,45 arasındadır. Hava yoğunluğu $1,23 \text{ kg/m}^3$ olarak kabul edilmiştir. Kanatların süpürdüğü alan ise türbinlerin kanat uzunluklarına göre değişkenlik göstermektedir.

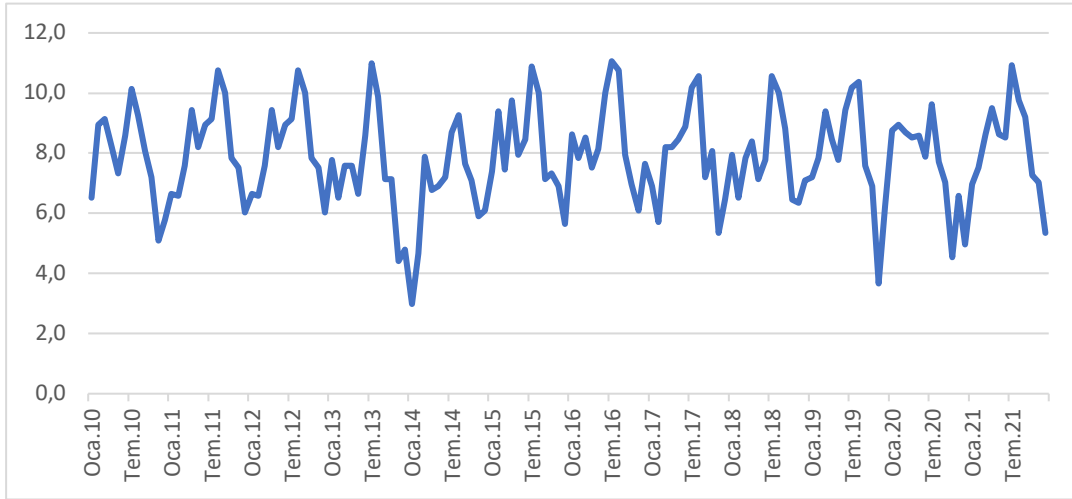
Tipik bir rüzgâr türbinindeki güç eğrisi dört bölümden oluşmaktadır. Türbinin üretime başladığı ilk rüzgâr hızına devreye alınma hızı denir ve rüzgârın bu hızın altında olması durumunda herhangi bir elektrik üretimi gerçekleşmez. Elektrik üretimi belirli bir seviyeye kadar rüzgâr hızıyla birlikte artış gösterir. Anma hızı olarak tanımlanan en yüksek hıza ulaştıktan sonra elektrik üretimi rüzgâr hızındaki artıştan bağımsız olarak sabit kalmaya başlar. Son olarak, rüzgâr hızı devre kesme hızının üzerine çıkarsa türbin üretimi durdurur. Güç eğrisinde bahsedilen bu dört bölüm Şekil 1'de sunulmuştur.



Şekil 1. Rüzgâr Türbini Güç Eğrisi

3.2. Veri ve Matematiksel Yaklaşım

Belirlenen problem doğrultusunda yapılacak olan analiz iki kısımdan oluşmaktadır. Öncelikle elde edilen rüzgâr hızı verilerine bağlı olarak seçili bölgenin rüzgâr hızı ile ilgili gelecek tahmini yapılmaktadır. Türkiye’deki rüzgâr enerjisinden elektrik üretim potansiyeli en yüksek illerden birisi olan Konya bu analiz için seçilmiştir. Hâlihazırda kurulu 263 MW rüzgâr üretim kapasitesine sahip olan Konya bu alanda Türkiye’deki ilk 15 şehir içerisinde yer almaktadır. Ayrıca deniz üstü kurulu rüzgâr türbinlerinde daha yüksek rüzgâr hızlarına erişilebilirken toprak üzerinde kurulu türbinlerde rüzgâr hızları daha düşük olmaktadır. Bu da aslında kara türbinleri için yapılan bir ekonomik analizin deniz üstü türbinleri için çok daha ekonomik olacağı beklentisini doğurmaktadır. Konya ilindeki 2010-2021 yılları arasındaki aylık rüzgâr hızı verileri Şekil 2’de gösterilmektedir (Weather Online, 2022).



Şekil 2. 2010-2021 Konya İli Aylık Ortalama Rüzgâr Hızı Ölçümleri (mil/saat)

Şekil 2’deki grafik incelendiği zaman rüzgâr hızında aylara göre değişen bir mevsimsellik olduğu açıkça görülmektedir. Eldeki rüzgâr hızı verilerin ortalaması alındığında bunun 7,9 mil/s olduğu görülmektedir. Ayrıca 2010-2021 yılları arasında rüzgâr hızı en düşük 2,9 mil/s iken en yüksek 11,1 mil/s olarak gerçekleşmiştir.

3.3. Tahmin Yöntemi

Şekil 2’de sunulan geçmiş rüzgâr hızı verilerine bakıldığında farklı yılların aynı aylarında belirgin şekilde bir mevsimsellik gözlemlenmektedir. Beklendiği gibi rüzgâr hızı çeşitli aylarda yüksek iken bazı aylarda daha düşük seyirde ilerlemektedir. Bu nedenle mevsimselliği göz önünde bulunduran zaman serileri ile tahminleme yapılmıştır.

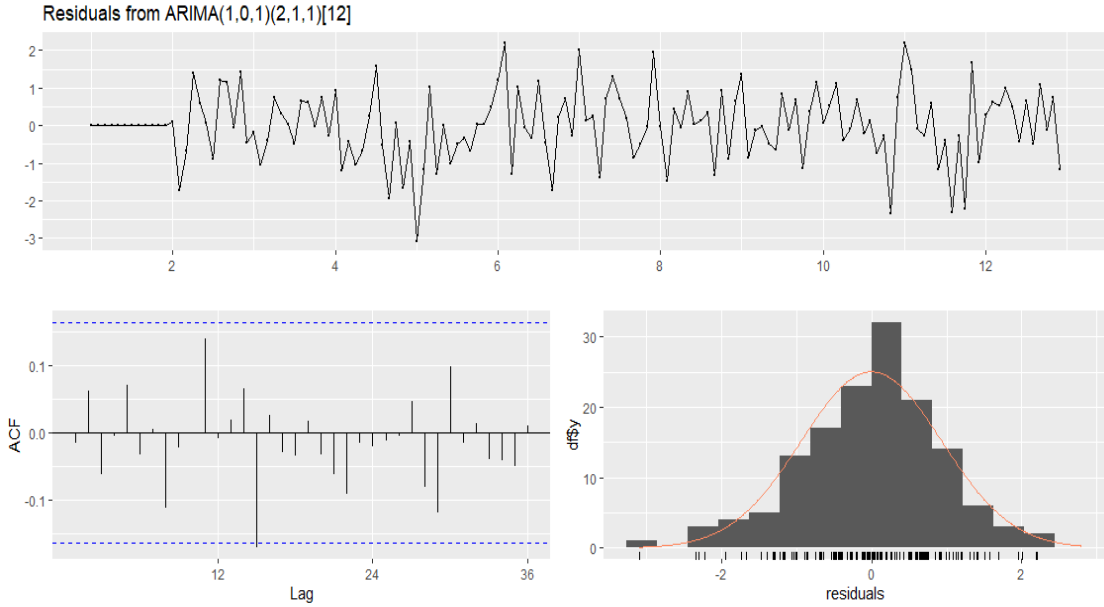
ARIMA (Bütünleşik Otoresif Hareketli Ortalama), belirli bir zaman serisini kendi geçmiş değerlerine, yani kendi gecikmelerine ve gecikmeli tahmin hatalarına dayanarak açıklayan bir modeldir. Bu model, gelecekteki değerleri tahmin etmek için kullanılabilir. Klasik bir ARIMA model $ARIMA(p,d,q)$ ile gösterilir. ARIMA modelleri tahmin edicilerin korelasyonsuz ve birbirinden bağımsız olduğu durumlar en iyi şekilde çalışmaktadır. Bu nedenle serinin durağan olması için fark alınması yani değerlerin bir önceki değerden çıkarılarak farkların gösterilmesi gerekmektedir. d değeri ise seriyi durağan hale getirmek için gereken minimum fark alma sayısıdır. Seri eğer durağan ise $d=0$ olur. Fakat, bazı karmaşık durumlarda bir den fazla kez fark alınması da gerekebilir. p , “Otomatik Gerileme (AR)” teriminin derecesidir. Tahmin edici olarak kullanılacak y gecikmelerinin sayısını ifade eder. q ise “Hareketli Ortalama (MA)” teriminin derecesidir. ARIMA modeline girmesi gereken gecikmeli tahmin hatalarının sayısını ifade etmektedir.

Mevsimselliği göz önünde bulunduran zaman serisi modellerinde ise normal modele ek olarak bir de mevsimsellik kısmı bulunmaktadır. Bu mevsimsel kısımda, tüm ARIMA parametrelerindeki faktörler gecikmenin yani bir sezondaki dönem sayısının katları boyunca çalışır. Mevsimsel bir ARIMA modeli, $ARIMA(p,d,q)(P,D,Q)_s$ olarak gösterilir. Buradaki (p,d,q) normal ARIMA modeliyle aynı iken P , mevsimsel otoresif modelinin derecesini, D , mevsimsel fark alma sayısını, Q , mevsimsel hareketli ortalama modelinin derecesini ve s ise bir sezondaki dönem sayısını ifade etmektedir. Tüm bu parametreleri içeren model ise Denklem (2)’de gösterilmektedir.

$$(1 - \varphi_1 B - \varphi_2 B^2 - \dots - \varphi_p B^p)(1 - \Phi_1 B^s - \Phi_2 B^{2s} - \dots - \Phi_P B^{Ps})(1 - B)^d(1 - B^s)^D y_t = (1 + \theta_1 B + \theta_2 B^2 + \dots + \theta_q B^q)(1 + \Theta_1 B^s + \Theta_2 B^{2s} + \dots + \Theta_P B^{Ps}) \varepsilon_t \quad (2)$$

Aylık periyotta mevsimseli hareketlerin yaşandığını gördüğümüz geçmiş dönem rüzgâr hızı verilerine mevsimsel ARIMA modelini R programı üzerinde uygulanmıştır. Eldeki veriye en yakın sonuçlara ulaşan ARIMA(1,0,1)(2,1,1)₁₂ modeli olduğu görülmüştür. Bu modelin matematiksel gösterimi Denklem (3)'te ve bu modele ait grafik ve sonuçlar Şekil 3'te sunulmuştur.

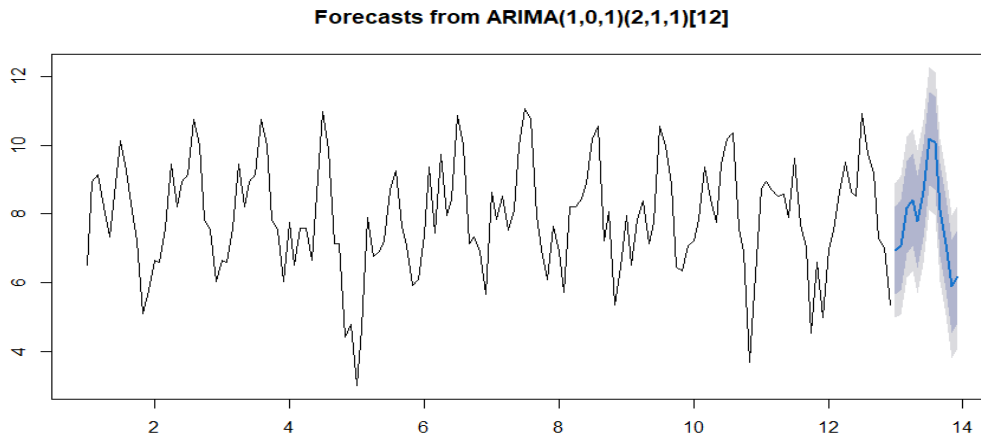
$$(1 - \varphi_1 B)(1 - \Phi_1 B^{12})(1 - \Phi_2 B^2)(1 - B)(1 - B^{12})y_t = (1 + \theta_1 B)(1 + \theta_1 B^{12})\varepsilon_t \quad (3)$$



Şekil 3. ARIMA(1,0,1)(2,1,1)[12] Kalıntı Değerleri

Şekil 3'teki ACF grafiğine baktığımızda neredeyse tüm değerlerin anlamlılık sınırları içerisinde olduğunu ve sadece bir tanesinde küçük bir aşma olduğunu görebiliriz. Bu nedenle elde ettiğimiz kalıntıların beyaz gürültü serisine oldukça yakın olduğu söylenebilir. ARIMA modelleri için kurulan varsayımın böylelikle sağlandığı görülmektedir.

Elde edilen model ile gelecek yıl için rüzgâr hızı verileri tahmini yapıldığında ise sonuç Şekil 4'teki gibi gerçekleşmektedir. Görüldüğü gibi geçmiş dönem hareketlere benzer şekilde bir gelecek tahmini yapılmıştır. Tahmin ortalamasının üzerinde koyu ve daha açık koyu alan ise %80 ve %95 güven aralıklarına göre tahminin değişebileceği seviyeleri göstermektedir.



Şekil 4. ARIMA(1,0,1)(2,1,1)[12] Gelecek Tahmini

Tahminin performans değerleri ortalama mutlak hata ve yüzdesel ortalama mutlak hata değerleri üzerinden değerlendirilmiştir. Buna göre ortalama mutlak hata değeri 0,695 iken yüzdesel değer 9,9 olarak ölçülmüştür. Bu da tahminin başarılı bir yöntem olduğunu göstermektedir. Şekil 4'te görüldüğü gibi rüzgâr hızı ortalamaları aynı yılın aynı dönemlerinde belirli bir artış ve azalış trendinde görülmektedir. Bu analiz, hangi aylarda rüzgâr hızında artış hangi aylarda düşüş olduğunu göstermektedir. Fakat rüzgâr türbinin için yapılacak analizde sadece ortalama rüzgâr hızı verilerini kullanmak yanı sıra neden olabilmektedir. Çünkü rüzgâr hızı ortalaması, türbinin devreye alma hızından düşük olsa bile bu hiçbir enerji üretimi olmayacak anlamına gelmemektedir. Bu nedenle ekonomik modelde aylık rüzgâr hızı güçleri ve bunların sıklıkları kullanılmıştır.

3.4. Ekonomik Model

Rüzgâr türbini yatırımının ekonomik analizinin yapılabilmesi için paranın zaman değerini de göz önünde bulunduran bir yöntem tercih edilmelidir. Çünkü bu tür yatırımlar on yıllar sürecek kapasitede olduğu için zaman içinde paranın azalan değerinin de dikkate alınması gerekmektedir. Rüzgâr türbini yatırımı için ekonomik maliyetler temel olarak ilk yatırım maliyetleri, dönemlik sabit maliyetler ve değişken maliyetleri olarak sınıflandırılabilir. İlk yatırım maliyetleri genel olarak, türbinin ve gerekli tesislerin kurulumu için gereken tek seferlik teçhizat, işçilik ve diğer maliyetlerdir. Toplam içerisindeki en büyük pay genellikle bu maliyete aittir. Dönemlik sabit maliyetler ise bakım-onarım maliyetleridir. Bunlar, düzenli olarak belirli periyotlarda yapılan bakım çalışmaları için ödenmektedir. Bunun üretilen elektrik ile herhangi bir ilişkisi yoktur ve sabit şekilde gerçekleşir. Değişken giderler ise türbinin çalışmasına bağlı olarak değişen maliyetlerdir. Üretilen enerji miktarı ile doğru orantılı olarak bu maliyetler artış göstermektedir. Yenilenebilir enerji türlerinin bir avantajı da herhangi bir yakıt tüketimi olmadığı için bu değişken maliyetlerin, diğer enerji türlerindeki göre daha düşük olmasıdır (Kumar ve Madlener, 2016). Ayrıca yenilenebilir enerjilerin karbon emisyonu daha düşük olduğu için elektrik üretiminden kaynaklanan ortalama emisyonu düşürmekte ve karbon fiyatlanması uygulanması halinde ekonomik bir katkı sağlamaktadır.

Ekonomik modelde, maliyetler kesikli olarak ödenirken, üretilen elektrikten elde edilen karbon geliri sürekli olarak elde edilmektedir. Bu nedenle toplam maliyetin Net Bugünkü Değeri, Denklem (4)'deki gibi hesaplanmaktadır. Ayrıca son olarak

$$NBD_{\text{rüzgâr}} = C_0 + C_{\text{sabit}} \left(\frac{1+i}{r-i} \right) \left[1 - \left(\frac{1+i}{1+r} \right)^N \right] + C_s \left(\frac{1+i}{1+r} \right)^N - C_{\text{carbon}} (E_{\text{avg}} - E_{\text{wind}}) \sum_{t=1}^N P_t(v_t) \left(\frac{1+i}{1+r} \right)^t \quad (4)$$

Denklem (4)'de C_0 rüzgâr türbinin kurulması için bugün harcanan maliyetleri kapsamaktadır. Bu maliyet kurulacak rüzgâr türbinin çeşidine göre değişmektedir. C_{sabit} ise yıllık düzenli olarak gerçekleşen bakım onarım maliyetleridir ve bunların bugünkü değeri için Denklem (4)'deki şekilde faiz formülüyle çarpılmıştır. Kullanım ömrü sonunda eldeki türbinin C_s fiyatına satılabileceği öngörülmektedir. Bu miktar genellikle kurulum maliyetindeki malzeme maliyetinin %10'u olarak kabul edilmektedir (Vardar ve Çetin, 2009). Ortalama karbon emisyonunda sağlanan düşüş kadar karbon, birim fiyatı C_{carbon} olacak şekilde satılabilmektedir. E_{avg} ve E_{wind} sırasıyla Türkiye'deki birim elektrikten kaynaklanan emisyon miktarını ve rüzgâr türbinindeki emisyon miktarını göstermektedir. Karbon fiyatlaması üretim miktarına bağlı olduğu için türbinin kullanım ömrü süresince (N), t anında v rüzgâr hızına bağlı olarak üretilen enerji miktarı ($P_t(v)$) üzerinden hesaplanmaktadır. Denklemdeki son kısım bu hesaplamayı göstermektedir. i enflasyon oranı (%10) ve r faiz oranı (%12) olarak seçilmiştir. $NPV_{\text{rüzgâr}}$ değeri toplam maliyetin bugünkü değerini vermektedir. Bunu toplam üretim miktarına böldüğümüzde ise kurulan rüzgâr türbini için birim elektrik üretim maliyeti hesaplanmış olur.

4. Deneysel Sonuçlar

Seçilen bölgenin rüzgâr hızı verileri ve bunun gelecek tahminine bağlı olarak ekonomik analiz yapılmaktadır. Şekil 4'te sunulan gelecek tahmini ekonomik model için kullanılacaktır. Rüzgâr hızı verilerinin aylık olarak değişmesi nedeniyle satılan karbon ve satış gelirlerinde aylık faiz oranı kullanılırken diğerleri yıllık bazda ödendiği için yıllık faiz oranı kullanılacaktır. Türbine dair teknik bilgiler Tablo 1'de ve bu türbinlerin ekonomik maliyetleri Tablo 2'de sunulmuştur.

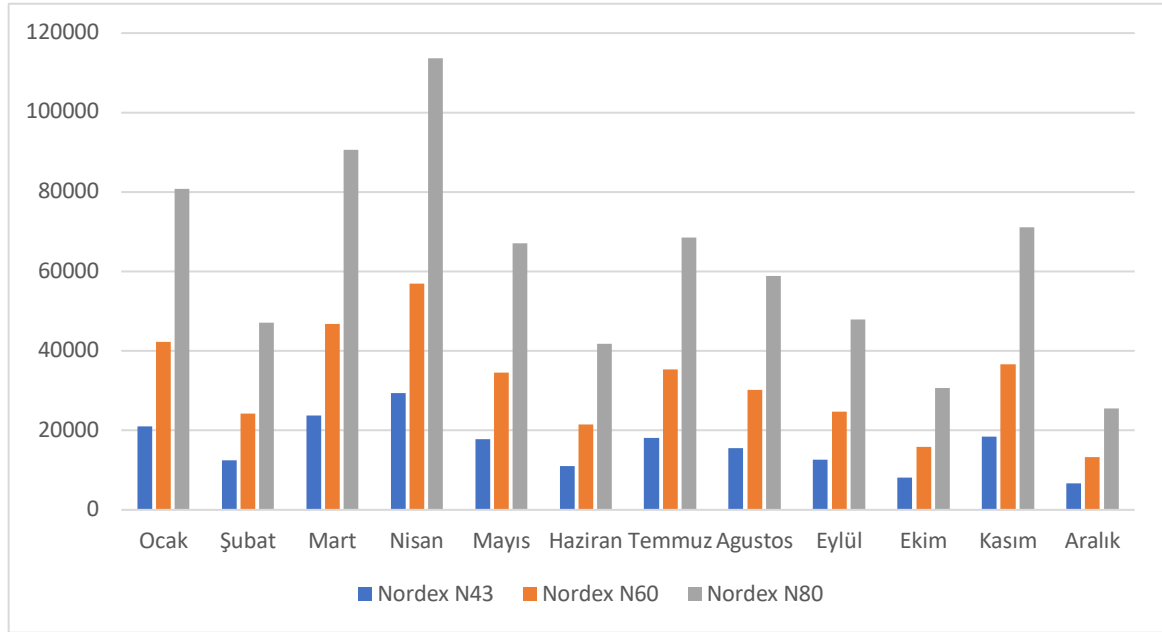
Tablo 1. Rüzgâr Türbinlerinin Teknik Özellikleri (Vardar ve Çetin, 2009)

Rüzgâr Türbini	Başlama ve Bitirme Hızı (m/s)	Anma Hızı (m/s)	Üretim Gücü (kW)	Rotor Çapı (m)	Yaşam Ömrü (yıl)
Nordex N43/600	3-25	13,5	600	43	20
Nordex N60/1300	3-25	15	1300	60	20
Nordex N80/2500	3-25	14	2500	80	20

Tablo 2. Rüzgâr Türbinlerinin Ekonomik Verileri (Vardar ve Çetin, 2009)

Rüzgâr Türbini	Yatırım Maliyeti (Euro)	Kule Maliyeti (Euro)	Kontrol Ünite Maliyeti (Euro)	Toplam İnşaat Maliyeti (Euro)	Yıllık Bakım ve Onarım Maliyeti (Euro)
Nordex N43/600	308.600	7.800	5.400	14.000	23.400
Nordex N60/1300	603.000	10.940	5.400	18.400	23.400
Nordex N80/2500	1,137,000	15.600	5.400	25.000	23.400

2021 yılı verileri baz alındığında ele alınan iki farklı türbinin seçilen bölge için elektrik üretim potansiyeli Şekil 5'teki gibi gerçekleşmektedir.

**Şekil 5.** Türbinlerin Aylara Göre Elektrik Üretim Potansiyeli (kWh)

Rüzgâr hızı verileri genelde düşük aralıkta olduğu için üretim potansiyeli de biraz düşük kalmaktadır. Ekonomik olarak analiz edildiğinde ise 20 yıllık toplam maliyet ve üretim miktarları bugünkü değeri göz önüne alındığında ekonomik sonuçlar Tablo 3'teki gibi elde edilmiştir.

Tablo 3. Ekonomik Analiz Sonuçları

Rüzgâr Türbini	Toplam Üretim (kWh)	Karbondan Elde edilen Gelir (Euro)	Maliyet (Euro)	Birim Maliyet (Euro/kWh)	Karbonsuz Birim Maliyet (Euro/kWh)
Nordex N43/600	3,90 milyon	64.923	701.803	0,163	0.180
Nordex N60/1300	7,65 milyon	127.387	982.685	0,112	0.129
Nordex N80/2500	14,88 milyon	247.855	1.489.918	0,084	0.100

Türkiye'de enerji bakanlığının verilerine göre 1 MWh elektrik üretimine karşın ortalama 0,440 ton CO₂ ortaya çıkmaktadır. Rüzgâr enerjisinden elektrik üretiminde ise 0,011 ton CO₂ meydana gelmektedir. Bu nedenle rüzgârdan üretilen her bir MWh için 0,429 ton CO₂ kazanım sağlanmaktadır. Karbon satış fiyatının 20 yıl boyunca sadece enflasyon kadar artacağı ve bugün 100 Euro/ton olarak belirlendiği bir ortamda eldeki rüzgâr hızı verilerine dayalı ekonomik analiz her üç türbin için de yapılmıştır. Büyük ekonomilerde karbon fiyatı 40-80 dolar arasında değişmesine karşın bu rakam Avrupa'da 100 euro'ya ulaşmıştır. Türkiye'de yenilenebilir enerji yatırımı yapacak

firmaların da büyük oranda Avrupa firmaları olacağı düşünülebileceğinden karbon fiyatı bu şekilde seçilmiştir. Buna göre 20 yılda Nordex N43 türbini 3,9 milyon kWh elektrik üretimi yaparken Nordex N60 7,65 milyon kWh ve Nordex N80 ise 14,88 milyon kWh üretim gerçekleştirmektedir. Birim başına maliyetlere bakıldığında ise 20 yıllık süreç için seçilen rüzgâr türbinlerinin birim maliyetleri sırasıyla 0,180, 0,129 ve 0,010 olarak hesaplanmıştır. Karbon satışından kaynaklanan gelirler buna eklendiğinde ise birim başına maliyetler 0,163, 0,112 ve 0,084'e düşmektedir. Bu da N43 türbini için maliyetlerde %9,4, N60 için %13 ve N80 için %16'lık bir düşüş meydana geldiğini göstermektedir. Karbon fiyatının 50 euro olarak alındığı durumda ise birim maliyetler 0,172, 0,12 ve 0,092 olarak ölçülmektedir. Yani karbon fiyatının yarıya inmesi durumunda N30 türbini için birim maliyet %5, N60 için %6,7 ve N80 için %8,7 oranında artış göstermektedir. Karbon fiyatındaki değişiklikten beklendiği gibi en çok üretim yapan türbin daha çok etkilenmektedir. Bu nedenle karbon fiyatlarındaki değişimin türbin seçimini doğrudan etkileyebileceği öngörülebilir.

5. Sonuç ve Öneriler

Artan teknolojik gelişmeler ve enerjide dışa bağımlılık ve bunun neden olduğu enerji krizleri enerjinin önemini giderek arttırmaktadır. Rusya-Ukrayna krizi Avrupa'nın enerjide bağımlılığının ne denli önemli siyasi sonuçları olabileceğini göstermektedir. Bu siyasi etkilerin yanında fosil kaynaklı enerji yakıtlarının neden olduğu çevresel problemler de küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi büyük sorunlara neden olmaktadır. Bu da yenilenebilir enerji kaynaklarını etkin bir alternatif olarak öne çıkarmaktadır. Türkiye'de elektrik üretiminde doğalgaz kullanımının yenilenebilir enerji yatırımları ile düşürülebileceği öngörülmektedir. Sürdürülebilirlik açısından da hem ekonomik hem çevresel faktörlerin birlikte değerlendirilmesi ve ayrıca enerjide dışa bağımlılığın etkileri düşünüldüğünde yenilenebilir enerji kaynaklarına büyük önem verilmesi gerektiği görülmektedir. Son yıllardaki yenilenebilir kurulu güçteki büyük artış da bu önemi göstermektedir. Bu tür kaynaklar mevsimsel şartlara bağlı olduğu için çeşitli kısıtlara sahiptir. Eldeki kısıtlı imkânlarla, bu alana yapılan yatırımlardan maksimum verimin elde edilebilmesi için doğru bir planlama ve analiz yapılması gerekmektedir. Bu durum da mevcut çalışmaların daha detaylı bir şekilde enerjinin tüm boyutlarını ele alacak şekilde geliştirilmesini mecburi hale getirmektedir.

Rüzgâr hızı tahminleri, türbin performansının doğru bir şekilde değerlendirilmesini sağlamaktadır. Rüzgâr hızı, enerji üretimi ve dolayısıyla finansal getiriler üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Doğru tahminler, enerji üretimi potansiyelinin en iyi şekilde değerlendirilmesine yardımcı olurken, yanlış tahminler tesisin etkinliğini olumsuz yönde etkileyebilir. Bu nedenle, rüzgâr hızı tahminlerinin doğruluğu, türbin seçimi sürecinde kritik bir faktördür. Bu çalışmada ele alınan mevsimsel ARIMA modeli bu konuda oldukça başarılı sonuçlar ortaya koymaktadır. Ayrıca, karbon fiyatlarının sisteme dahil edilmesi, türbin seçiminde sürdürülebilirlik ve çevresel etkilerin değerlendirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Karbon fiyatları, enerji üretimi maliyetlerini etkilemektedir ve düşük karbon emisyonuna sahip enerji üretim teknolojileri, uzun vadede daha ekonomik ve sürdürülebilir bir seçenek olacaktır.

Sonuç olarak, rüzgâr hızı tahminlerinin doğruluğu ve karbon fiyatlarının sisteme dahil edilmesi, türbin seçimi sürecinde ekonomik analizde dikkate alınması gereken önemli faktörlerdir. Bu faktörlerin doğru bir şekilde değerlendirilmesi, rüzgâr enerjisi projelerinin finansal getirilerini artırabilir, sürdürülebilirlik hedeflerine katkıda bulunabilir ve çevresel etkilerini azaltabilir. Ayrıca ilave devlet destekleri, teşvikler ve yeşil finansman sayesinde rüzgâr başta olmak üzere yenilenebilir enerji yatırımları daha cazip hale getirilebilir. Bu makalede sadece kara üzerindeki türbinler ele alınmış olup aynı yükseklikteki rüzgâr hızı değerleri üzerinden hesaplama yapılmıştır. Farklı yükseklikteki rüzgâr hızı ölçümleri ve deniz üstü rüzgâr türbinleri için de bu analizler yapılabilir. Gelecekteki araştırmalar, rüzgâr enerjisi sektöründe bu faktörlerin daha etkin bir şekilde kullanılmasını ve karar verme süreçlerini iyileştirmeyi hedefleyebilirler. Daha geniş bir çerçeveden bakıldığında kullanılan türbinlerin maliyetlerinin azalması bu kaynaklardan üretilen enerji maliyetini azaltacaktır.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Süleyman ATILGAN, literatürün taranması, verilerin toplanması, makale yazımında, Muzaffer ALIM, problem tanımlanması, araştırma sürecinin planlanması ve matematiksel analizlerin yapılmasında, Çağrı KOÇ, analizlerin kontrolü, sonuçların yorumlanması ve metnin revizyonu konularında katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması

Bu çalışmada yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynaklar

- Blanco, M. I. (2009). The Economics of Wind Energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(6-7), 1372-1382. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.09.004>
- Bouzgou, H. & Benoudjit, N. (2011). Multiple Architecture System for Wind Speed Prediction. *Applied Energy*, 88(7), 2463-2471. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.01.037>
- Dikmen, E. & Örgen, F. K. (2018). Ağlasun Bölgesi için Rüzgâr Hızı Tahmini ve En Uygun Türbin Tespiti. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(2), 871-879. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ngumuh/issue/38579/445314>
- Dinçer, F., Rüstemli, S., Yılmaz, Ş. & Çıngı, A. (2017). Kilis için Farklı Yüksekliklerdeki Rüzgâr Potansiyelinin Belirlenmesi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(1), 12-20. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/bitlisfen/issue/30042/298458>
- Effiom, S. O., Nwankwojike, B. N. & Abam, F. I. (2016). Economic Cost Evaluation on the Viability of Offshore Wind Turbine Farms in Nigeria. *Energy Reports*, 2, 48-53. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2016.03.001>
- Görgel, P. & Kavlak, E. (2020). Uzun Kısa Süreli Hafıza ve Evrişimsel Sinir Ağları ile Rüzgâr Enerjisi Üretim Tahmini. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 11(1), 69-80. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/dumf/issue/53363/596533>
- Hong, Y. Y., Chang, H. L. & Chiu, C. S. (2010). Hour-Ahead Wind Power and Speed Forecasting Using Simultaneous Perturbation Stochastic Approximation (SPSA) Algorithm and Neural Network with Fuzzy Inputs. *Energy*, 35(9), 3870-3876. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.05.041>
- İncekara, Ç. Ö. (2019). Türkiye ve AB'nin Enerji Hedefleri. *Journal of Turkish Operations Management*, 3(2), 298-313. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/jtom/issue/51652/583491>
- İncekara, Ç. Ö. (2020). Türkiye'nin Elektrik Üretiminde Doğalgaz Talep Tahminleri. *Journal of Turkish Operations Management*, 4(2), 494-508. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/jtom/issue/59336/851882>
- Katsigiannis, Y. A. & Stavrakakis, G. S. (2014). Estimation of Wind Energy Production in Various Sites in Australia for Different Wind Turbine Classes: A Comparative Technical and Economic Assessment. *Renewable Energy*, 67, 230-236. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.11.051>
- Kusiak, A. & Zhang, Z. (2010). Short-Horizon Prediction of Wind Power: A Data-Driven Approach. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 25(4), 1112-1122. Doi: <https://doi.org/10.1109/TEC.2010.2043436>
- Lee, J., Wang, W., Harrou, F. & Sun, Y. (2020). Wind Power Prediction Using Ensemble Learning-Based Models. *IEEE Access*, 8, 61517-61527. Doi: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2983234>
- Li, P., Guan, X. & Wu, J. (2015). Aggregated Wind Power Generation Probabilistic Forecasting Based on Particle Filter. *Energy Conversion and Management*, 96, 579-587. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.03.021>
- Liu, H., Shi, J. & Erdem, E. (2010). Prediction of Wind Speed Time Series Using Modified Taylor Kriging Method. *Energy*, 35(12), 4870-4879. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.09.001>
- Mabel, M. C. & Fernandez, E. (2008). Analysis of Wind Power Generation and Prediction Using ANN: A Case Study. *Renewable Energy*, 33(5), 986-992. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2007.06.013>
- Malik, A. & Al-Badi, A. H. (2009). Economics of Wind Turbine as an Energy Fuel Saver—A Case Study for Remote Application in Oman. *Energy*, 34(10), 1573-1578. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.07.002>
- Mohammadi, K. & Mostafaepour, A. (2013). Economic Feasibility of Developing Wind Turbines in Aligoodarz, Iran. *Energy Conversion and Management*, 76, 645-c. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.06.053>
- Naik, J., Satapathy, P. & Dash, P. K. (2018). Short-Term Wind Speed and Wind Power Prediction Using Hybrid Empirical Mode Decomposition and Kernel Ridge Regression. *Applied Soft Computing*, 70, 1167-1188. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2017.12.010>
- Riahy, G. H. & Abedi, M. (2008). Short Term Wind Speed Forecasting for Wind Turbine Applications Using Linear Prediction Method. *Renewable Energy*, 33(1), 35-41. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2007.01.014>
- Shabbir, N., AhmadiAhangar, R., Kütt, L., Iqbal, M. N. & Rosin, A. (2019). Forecasting Short Term Wind Energy Generation Using Machine Learning. In *2019 IEEE 60th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)* (pp. 1-4). IEEE. Doi: <https://doi.org/10.1109/RTUCON48111.2019.8982365>

Şenol, Ü. & Musayev, Z. (2017). Rüzgâr Enerjisinden Elektrik Üretiminin Yapay Sinir Ağları ile Tahmini. *Bilge Uluslararası Fen ve Teknoloji Araştırmaları Dergisi*, 1(1), 23-31. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/324901>

Vardar, A. & Çetin, B. (2009). Economic Assessment Of The Possibility Of Using Different Types Of Wind Turbine İn Turkey. *Energy Sources, Part B*, 4(2), 190-198. Doi: <https://doi.org/10.1080/15567240701620465>

Weather Online, (2022). Web: <https://www.weatheronline.co.uk> , (Erişim tarihi: 10 Nisan 2022).

Zhang, W., Wang, J., Wang, J., Zhao, Z. & Tian, M. (2013). Short-Term Wind Speed Forecasting Based on a Hybrid Model. *Applied Soft Computing*, 13(7), 3225-3233. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2013.02.016>



Journal of Turkish Operations Management

BioRAM© programıyla biyolojik risk değerlendirme metodolojisinde çok kriterli karar verme yaklaşımı

Ergün Eraslan¹, Nuray Alpoğlu Akbulut^{2*}

¹İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Ankara
e-mail: erguneraslan@gmail.com, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-5667-0391>

²İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Ankara
e-mail: nurayakbulut@gmail.com, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0001-7772-2798>

Makale Bilgisi

Makale Geçmiş:

Geliş: 01.08.2023

Revize: 17.11.2023

Kabul: 05.12.2023

Anahtar Kelimeler:

BioRAM©,
Olasılık,
Şiddet,
Çok Kriterli Karar Verme

Özet

BioRAM © metodolojisi ile risk değerlendirmesinde Çok Kriterli Karar Verme yaklaşımı biyolojik ajanların ve analizlerin oluşturduğu görece risklerin laboratuvar ortamında karşılaştırılmasını sağlamaktadır. Bu yöntemde kullanılan anket Saaty'nin semantik ikili karşılaştırma ölçeği kullanılarak uzman görüşleriyle olasılık ve şiddet kriterlerinin ağırlıklarının hesaplanması prensibine dayanmaktadır. Kriterlerin alt değişkenlerine 0-1 arasında değerler atayan model biyolojik risk değerlendirmesinde standart ölçek olarak kullanılmaktadır. Çalışmada "Çiğ süt numunesinde Koagülaz pozitif *Staphylococcus aureus* aranması" proseslerinin BioRAM© 2022 programıyla biyolojik risk değerlendirmesi yapılmıştır. İki boyutlu grafiklerle kriter ağırlıklarını hesaplayan programa göre biyolojik ajanın biyokimyasal özelliklerine göre solunum, temas, sindirim yoluyla risk düzeyi **yüksek riskli** olarak hesaplanmıştır. Mikrobiyolojik analiz prosedürleri uygulanırken temas ve sindirim yoluyla yüksek riskli, perkütan yaralanma yoluyla **orta riskli**, inhalasyon yoluyla **orta** riskli olarak hesaplanmıştır. Toplum için solunum, sindirim ve temas yoluyla risk düzeyi **yüksek riskli**dir. Perkütan yaralanma yoluyla risk düzeyi **orta riskli** olarak hesaplanmıştır. Biyogüvenlik ve risk azaltma önlemleri alındıktan sonra analizin risk düzeyi sindirim, temas ve inhalasyon yoluyla **orta riskli** olarak hesaplanmıştır. Ancak önlemlere rağmen analizin toplum için oluşturduğu risk düzeyi temas, sindirim ve solunum yoluyla yüksek risklidir. İyi düzeyde önlemler alınmasına rağmen risk düzeyi kabul edilebilir düzeye getirilememiştir. Çalışmanın sonunda bu mikroorganizmanın manipülasyonları sırasında risk düzeyinin kabul edilebilir düzeye getirilmesi için Kişisel Koruyucu Donanım önlemlerinin artırılması önerilmiştir. Ayrıca bu mikroorganizmanın manipülasyonlarında geleneksel mikrobiyolojik analizlerinin yerine malzeme hacmini ve aerosol riskini azaltan moleküler tekniklerin kullanılması önerilmiştir.

Multi-criteria decision-making approach in biological risk assessment methodology with bioRAM© program

Article Info

Received: 01.08.2023
Revised: 17.11.2023
Accepted: 05.12.2023

Keywords:

Bioram,
Probability,
Severity,
Multi-Criteria Decision Making

Abstract

The Multi-Criteria Decision Making approach in risk assessment with the BioRAM © methodology enables comparison of the relative risks posed by biological agents and analysis in the laboratory environment. The questionnaire used in this method is based on the principle of calculating the weights of probability and severity criteria with expert opinions using Saaty's semantic pairwise comparison scale. The model, which assigns values between 0 and 1 to the sub-variables of the criteria, is used as a standard scale in biological risk assessment. In the study, biological risk assessment of the process "Detecting Coagulase positive Staphylococcus aureus in raw milk samples" was carried out with the BioRAM© 2022 program. According to the program that calculates the criterion weights with 2-dimensional graphics, the risk level through inhalation, contact, and digestion is calculated as high risk according to the biochemical properties of the biological agent. When applying microbiological analysis procedures, it was calculated as high risk through contact and ingestion, medium risk through percutaneous injury, and medium risk through inhalation. It poses a high risk to the public through inhalation, ingestion and contact. The risk level through percutaneous injury is calculated as medium risk. After biosafety and risk reduction measures were taken, the risk level of the analysis was calculated as medium risk through ingestion, contact, and inhalation. However, despite the precautions, the risk level posed by the analysis to society is high through contact, ingestion, and inhalation. Although good precautions were taken, the risk level could not be brought to an acceptable level. At the end of the study, it was recommended to increase Personal Protective Equipment measures to bring the risk level to an acceptable level during the manipulations of this microorganism. In addition, it has been suggested to use molecular techniques that reduce material volume and aerosol risk instead of traditional microbiological analyses in the manipulation of this microorganism.

1. Giriş

Mikrobiyoloji laboratuvarlarına tanı konmak üzere gelen şüpheli binlerce numunede mikroorganizmayı saptanabilir kılmak için kullanılan çoğaltma teknikleri (kültür), enfeksiyöz ajanların etrafa yüksek dozda saçılma olasılığını artırmaktadır (Başustaoglu, 2012). Bu saçılmaların meslek hastalıkları ve Laboratuvar Kaynaklı Enfeksiyonlara (LKE) neden olma ihtimali "İş Sağlığı Güvenliği" ve "Halk Sağlığı" araştırmalarında önemli bir probleme işaret etmektedir. İlk alan yazın taramasında laboratuvarların sağlık çalışanları için en fazla enfeksiyona maruz kaldığı potansiyel alanlar olduğu görülmüştür (Başustaoglu, 2012; Siengsan-Lamont and Blacksell, 2018). Bu enfeksiyonları biyogüvenlik boyutuyla ele alan çalışmaların odağında kesici delici alet yaralanmaları ve aerosollerle bulaşların nedenleri vardır (Singh, 2009; Siengsan-Lamont and Blacksell, 2018; Peng 2018; WHO, 2020). Buna göre yüksek bulaştırıcılığa sahip mikroorganizmaların manipülasyonları (santrifüjleme, pipetaj, pasaj yapma) laboratuvarlarda yüksek salınımı neden olmaktadır (Siengsan-Lamont and Blacksell, 2018; WHO, 2020ab). Bu salınımı düşük düzeye getirmek için temel önlemlere artırılmış önlemlerin (sekonder önlemler) etkin ve planlı şekilde eklenememesi mikroorganizma manipülasyonları sırasında etrafa saçılmasına yol açmaktadır (WHO, 2020a) Kabul edilemez risk düzeyi oluşturan uygulamalara karşı sürdürülebilir ve etkin risk yönetim strateji öğelerinin belirleyiciliğinin ortaya konulması önemlidir. Bu bağlamda işe başlamadan önce risk değerlendirmesi yapılmalıdır (Başustaoglu, 2012; APHL, 2016; NIH, 2020, WHO,2020)

Dünyada epidemilerin ve pandemilerin yayılmasıyla birlikte biyolojik risk değerlendirmesi risk kontrol stratejilerinin belirlemede daha da önemli hale gelmiştir. Bu çerçevede Dünya Sağlık Örgütü (WHO) Amerika Halk Sağlığı Kontrol Merkezi (CDC) ile kılavuzlar yayımlayarak biyolojik risk değerlendirme metodolojisini belirlemiştir. Buna göre Biyolojik Risk Değerlendirmesi bilinen veya potansiyel bulaşıcı ajanın tehlikeli özelliklerini, bir kişinin bir ajana maruz kalmasıyla sonuçlanabilecek faaliyetleri, bu maruziyetin bir LKE' ye neden olma olasılığını ve muhtemel tehlikeyi belirlemek için kullanılan bir süreçtir (WHO, 2020a). Dünyada laboratuvarların birçoğu ISO 15189 akreditasyonuna, İyi Laboratuvar Uygulamaları (GLP) uygunluk beyanına sahiptir. Ancak sürecin dinamik olması, sağlık personeli eliyle yapılıyor olması yeni risklere maruziyet olasılığını

doğurduğundan sürecin sürekli izlenmesini gerektirmektedir (WHO, 2020b). Risk değerlendirme süreci bir laboratuvar protokolünde uygulanan her prosenin tekrar tekrar gözden geçirilmesini mümkün kılmaktadır.

Bu bağlamda çalışmada Gıda Kontrol Mikrobiyolojik Analiz laboratuvarlarında *Staphylococcus aureus* bakterisi izole edilmiştir. Daha sonra bu bakterisinin BioRAM© programı ile biyolojik risk değerlendirmesi yapılmıştır. Bu programda olasılık düzeyi laboratuvar prosedürlerinin ve önlemlerinin detaylı bir şekilde tanımlanmasıyla belirlenmektedir. Şiddet düzeyi analizler sırasında üreyen mikroorganizmaların virülans faktörlerinin ve patojenitesinin tanımlanmasıyla belirlenmektedir. Bu bağlamda İlk bölümde BioRAM© programının prensipleri ve risk düzeyinin hesaplanmasıyla ilgili bilgi verilmiştir. Uygulama bölümünde *Staphylococcus aureus*'un identifikasyon aşamaları verilmiştir. Tehlikelerin tanımlanması başlığı altında önce mikroorganizmanın biyolojik ajan özellikleri ve morbiditesi, daha sonra izole edilirken kullanılan prosedürlerde aerosol, temas, perkütan yaralanma risk düzeyi ilgili bilgi verilmiştir (Tablo 2). Uygulama bölümünde *Staphylococcus aureus* bakterisinin laboratuvarlar için oluşturduğu risk düzeyi somut bir şekilde hesaplanmıştır.

Staphylococcus aureus bugün dünyada önemli mortalite ve morbidite oranlarına sahiptir. Bugün hala yoğun bakım servislerinde nazokomiyal hastalık etkeni olarak, MRSA (Metisilen direçli *Staphylococcus aureus*), katater gibi cihazlarda biyofilm geliştirmesi nedeniyle mortalite etkeni olarak araştırılan bir bakteridir. Laboratuvarlarda üretilen bu mikroorganizma laboratuvar çalışanının burun mukozasına kolonize olabilmektedir. Burun kolonizasyonu oto enfeksiyona yol açabilmektedir. SEB enterotoksinleri biyolojik silah olarak kullanılabilir. Literatür taraması yapıldığında bu bakteri ile ilgili birçok araştırma bulunmaktadır. Ancak bu mikroorganizmanın biyolojik risk analizi ile ilgili yeterli çalışma bulunmamaktadır. Genellikle klinik laboratuvarlarda izole edilen suşları ile ilgili araştırmalara rastlanmaktadır. Mastitisli ineklerin çiğ sütünden elde edilen bakteri ile insandan izole edilen bakterinin virülans genleri kıyaslandığında bazı farklılıklar bulunmaktadır. Diğer taraftan çalışmada çiğ süttten elde edilen *Staphylococcus aureus*'un insanlardan elde edilen suşlarda olduğu gibi fem A gen bölgesine sahip olduğu ve MRSA geliştirdiği bilinmektedir. Bu bağlamda çalışmada çiğ süttten izole edilen *Staphylococcus aureus* bakterisinin izolasyonu yapılmıştır. Gıda laboratuvarlarında Koagülaz pozitif *Staphylococcus spp.* analizi rutin yapılan bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Çalışmada gıda mikrobiyoloji analistlerinin maruz kaldıkları risklerin risk düzeyinin hesaplanması amaçlanmıştır. Bu bakteri biyolojik risk bağlamıyla ilk defa ele alınmış ve ilk kez bu kadar detaylı biyolojik risk analizi BioRAM© programıyla yapılmıştır.

Dünyada SARS-CoV-2 pandemisiyle beraber yayınlanan geçici kılavuzun ardından DSÖ'nün 2020'de yayınladığı iki ayrı kılavuzda (4. yayını biyolojik risk değerlendirme ve 4. yayını biyogüvenlik kılavuzu) biyolojik risk değerlendirme metodolojisinin prensipleri çok detaylı irdelenmiştir. Bu yaklaşıma göre risklerin ortaya çıkma **olasılığı ve şiddeti** değerlendirilirken ilk risk kabul edilemez risk (orta, yüksek, çok yüksek) ya da kabul edilebilir risk (çok düşük, düşük) olarak tanımlanmaktadır (Caskey et al., 2010; WHO,2020). Çalışmada bu kılavuzlardaki yönergeler göre mikrobiyoloji laboratuvarlarında izole edilen *Staphylococcus aureus* suşlarının biyolojik risk değerlendirmesi yapılmıştır. Amaç lokal anlamda uygulanabilir ve sürdürülebilir etkin kontrol önlemi prosedürlerinin tanımlanmasıdır. Diğer taraftan bu tehlikeleri iş sağlığı güvenliği bakış açısı ve güçlü bir metodoloji ile irdeleyen araştırma ülkemizde biyolojik risk araştırmalarında ve biyolojik risk değerlendirme yöntemlerinin geliştirilmesinde önemli bir boşluğu dolduracaktır.

Genellikle literatürde risk analizleri nitel yöntemlerle yapılmaktadır. Ancak olasılık ve şiddet faktörünü belirleyen faktörlerin etki düzeyi farklılık göstermektedir. Bu nedenle sahada analizler yapılmış ve analiz sırasında alt faktörlerin düzeyi 0-1 arasında puanlandırılarak nicel olarak hesaplanması yapılmıştır. Sandia 2010 yılında mühendis ve halk sağlığı uzmanlarıyla birlikte geliştirdiği BioRAM© anketi Türkçeye ilk kez çevrilmiş, program ülkemizde bir analiz sırasında ilk kez kullanılmıştır. Bugün SARS-CoV-2, *Staphylococcus aureus* gibi sağlık çalışanlarının ve toplumun sağlığını tehdit eden birçok mikroorganizma biyolojik silah olarak kullanılabilir. Dünyada bir salgın ilk defa ortaya çıktığında “epidemi olarak mı yoksa pandemi olarak mı halk sağlığını tehdit edecek” sorularının cevabını bulmak önemlidir. Bunun için kullanılan risk analizinde BioRAM© programından yararlanılmaktadır. Ülkemizde mikrobiyoloji referans laboratuvarlarının biyogüvenlik kılavuzunda biyolojik risk analizi sadece biyogüvenlik önlemleri dikkate alınarak nitel olarak yapılmaktadır. Türkiye’de Halk sağlığı merkezlerinin bu metodolojiden yararlanması pandemi ve epidemilerin kontrol altına alınmasında oldukça önemlidir. Bu bağlamda Türkçe ’ye ilk kez uyarlanmış olan bu anket ve programın bir mikroorganizma izole edilirken kullanılması oldukça önemli bir boşluğu doldurmaktadır.

2. Biyolojik Risk Perspektifiyle *Staphylococcus aureus*

S. aureus, yaşamı tehdit eden çeşitli hastalıklara neden olabilen fırsatçı bir patojendir. *S. aureus*, enterotoksinler (SEA, SEB, SEC, SED, SEE, SEG, SEH, SEI ve SEJ), Panton-Valentine lökositidin (PVL), toksik şok sendromu toksini I (TSST-1), eksofoliyatif toksin (ETA ve ETB) ve alfa toksin (Hlg) üretebilmektedir (Jans, et al, 2022).

Suşlarının çoğu, gıdalarda geliştiğinde enterotoksinlerini salgılayarak tipik intoksikasyon tip gıda kaynaklı hastalıklara neden olmaktadır (Nwankwo and Nasiru, 2011). Kişiden kişiye bulaşma, pürülan bir lezyonla veya taşıyıcıyla temas yoluyla gerçekleşmektedir (Kluytman, et al., 1997). Enfeksiyon kişiden kişiye sağlık çalışanları

veya hastalar aracılığıyla yayılabilmektedir (Kluytman, e al., 1997). Burun kolonizasyonu oto enfeksiyona yol açabilmektedir. Araştırmalar biyolojik ajanın SEB enterotoksinleri nedeniyle intravenöz ve inhalasyon yoluyla maruz kalmada oldukça toksik olduğunu ve pulmoner ödem nedeniyle ölüme neden olduğunu göstermiştir.

Hastanelerde Metisilin dirençli *S. aureus* lar bakteriyemi, pnömoni, cerrahi enfeksiyonlar ve nazokomiyal enfeksiyonlara neden olmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan hastalıkları önleme ve kontrol merkezlerinin verilerine göre sağlık kuruluşlarında meydana gelen *S. aureus* enfeksiyonlarının %59,5'inin MRSA'lardan kaynaklandığı belirtilmektedir. Antimikrobiyal süreyans programı tüm dünyada yoğun bakım ünitelerinde MRSA vakalarının arttığını belirtmektedir. *S. aureus* enterotoksinleri gıda zehirlenmelerine; TSST-1 toksik şok sendromuna neden olmaktadır (Nwankwo and Nasiru, 2011). TSST-1toksininin klinik tablosu şiddetlidir ve akut semptomlar yüksek ateş, damar kollapsı, kusma, ishal, miyalji, hipotansiyon, eritematöz döküntü, deskuamasyon ve en az 3 organ tutulumu şeklinde klinik tablo göstermektedir. Bu toksinin yol açtığı mortalite oranları çok yüksektir ve 2 saat içinde ölüm gerçekleşebilmektedir. Panton-Valentin toksini etkisini konak hücre membranını eriterek göstermektedir. Metisilin dirençli *S. aureus* ile enfekte olmuş hastalarda nekrotizan pnömoni ve nekrotizan kutanöz enfeksiyonlara neden olmaktadır. *S. aureus* ekzotoksin olarak hemolizin salgılamaktadır. Bunlar (alfa, beta, gama ve delta), nükleaz, proteaz, lipaz, hiyolarunidaz, proteinazlar vardır. Alfa hemolizin Nörotoksik ve dermatonekrotik etkiye sahiptir. Bir araştırmada sığır mastitislerinden izole edilen 103 suşun kültürlerinden 25'inde alfa hemoliz 50'sinde beta hemoliz gördüklerini bildirmişlerdir (Özpinar, 2011). Epidermiste salgılanan eksfoliyatif toksinlerden (ETA ve ETB) haşlanmış deri sendromuna yol açmakta, yeni doğanlarda, küçük çocuklarda büllöz impetigo ve bunun yayılmış formu stafilokokal scaled-skin syndrome (SSSS)'a neden olmaktadır (Nunes, 2007).

3. BioRAM© Programı ve Biyolojik Risk Değerlendirmesi

Mikrobiyoloji laboratuvarlarında sağlıklı ve güvenli ortam oluşturma yolunda ilk adım çalışmaya başlamadan önce risk değerlendirmesinin yapılmasıdır (Başustaoglu, 2012; APHL, 2016; NIH, 2020, WHO,2020). TS 18001 İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemlerine göre risk değerlendirmesi, tehlikelerden kaynaklanan riskin büyüklüğünü tahmin etmek ve mevcut kontrollerin yeterliliğini dikkate alarak riskin kabul edilebilir olup olmadığına karar vermek için kullanılan procestir. Biyolojik risk değerlendirmesi metodolojisinde Kanada ve birçok gelişmiş ülkede BioRAM© programı kullanılmaktadır. BioRAM© programıyla Mourya (2021) çalışmasında *SARS-CoV-2* virüsünün laboratuvarlarda RT-PCR'la izole edilirken risk düzeyini hesaplamıştır. Plebeian et al. (2016) çalışmasında *Zika* virüsü ile ilgili yaptıkları araştırmada BioRAM© programı ile biyolojik risk değerlendirmesi yapmışlardır. Qasmi et al., (2012) çalışmasında Pakistan'da klinik laboratuvarlarda 8 ay boyunca 18 şehirde araştırma gerçekleştirmişlerdir. BioRAM© programı ve Sandia'nın laboratuvarlarındaki risk yönetiminden yararlanılarak anket geliştirmişlerdir. Amy et al. 2014'te Ulusal Amerika'da biyogüvenlik sisteminde BioRAM© ve Sandia güvenlik risk değerlendirme aracını kullanmışlardır.

Biyolojik ajanlara maruziyet olasılığını ve şiddetini belirleyen çok fazla kriter bulunmaktadır. Bu kriterlerin olasılık ya da şiddet üzerine etkisinin saptanmasında önem düzeyinin belirlenmesi önemlidir. Bu bağlamda bu program ile risk değerlendirmesinde Çok Kriterli analiz yaklaşımıyla kriterlerin ağırlıkları hesaplanmaktadır. Ancak bu metodoloji risk seviyesini değerlendirmek yerine risk karakterizasyonu ile riskin kabul edilebilir, kontrol edilebilir veya kabul edilemez olup olmadığının belirlenmesine yardımcı olmaktadır (Caskey et al., 2010).

3.1. Risk Analizinin Prensipleri

3.1.1. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi (ÇKKV)

Bu metodolojinin mutlak riskin resmi bir nicel değerlendirmesi olması amaçlanmamıştır. Ancak biyolojik ajanların ve uygulamaların oluşturduğu görece risklerin laboratuvar ortamında karşılaştırılması için yöntemin yapılandırılmasını sağlamaktadır. Yapılandırılmış risk değerlendirmesine yönelik çok sayıda yaklaşım vardır. Çok kriterli karar verme bu yöntemlerden biridir. ÇKKV karar analizi için bilimsel olarak sağlam bir yöntem olarak tanımlanmış ve risk analizinde kullanım için kapsamlı bir şekilde doğrulanmıştır (Caskey et al., 2010). Linkov vd., sınırlı sayıda emsal verinin olduğu ve yüksek belirsizlik düzeyi olduğu durumda ÇKKV'yi geleneksel risk değerlendirmesinin bir parçası olarak kullanılmasını savunmuşlardır. ÇKKV sağlam bir disiplin olarak örneklendirmede ve gerekçelendirmede yararlıdır. ÇKKV, sınırlı detaylı bilgiye sahip alanlara odaklanan ve zamanla değişebilen bilgileri kullanabilen yapılandırılmış risk değerlendirmeleri için risk topluluğu tarafından yürütme aracı olarak kabul edilmiştir. Yapıya ek olarak, ÇKKV sayısal hesaplamaya yardımcı olması ve karar vericilerin risk yönetimi konusundaki tercihlerinin desteklenmesi bağlamıyla şeffaf bir risk değerlendirme metodu sağlamaktadır (Linkov, 2006). Bu yöntem uzman görüşü alınarak birden fazla bilgi kaynağını birleştirmek için bir mekanizma sağlamaktadır (Linkov, 2007).

Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV); birçok kriteri birlikte değerlendirerek alternatiflere değerler atama süreci olarak ifade edilmektedir (Karaatlı, 2015) Çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri genel olarak karar

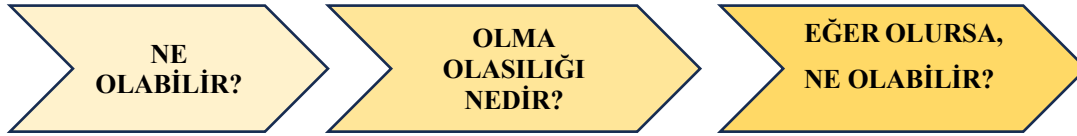
değişkenleri ve ağırlıklarını da dikkate alarak alternatifler arasında sıralama yapıp en iyi alternatifi seçmeyi amaçlamaktadır (Nacar, Erdebilli, 2021). ÇKKV' de analizin temel yapısı, durumu tanımlayan ilgili kriterleri tanımlamaktır. Sayısal ölçümlerin ve görelî ölçümlerin nasıl yapıldığını tanımlayan birkaç matematiksel modelde önem dereceleri belirlenmektedir. Aynı şekilde ölçümlerin birleştirilmesi de modelden modele farklılık göstermektedir. Bu analizde kullanılan yaklaşım tüm kriterleri birleştirmekte ve tüm ağırlıklı sayısal değerleri (a_{ij} , w_j) toplayarak tek bir puana (A) ağırlık vermektedir (Triantaphyllou, 2000).

$$A = \sum_{j=1}^n a_{ij}w_j$$

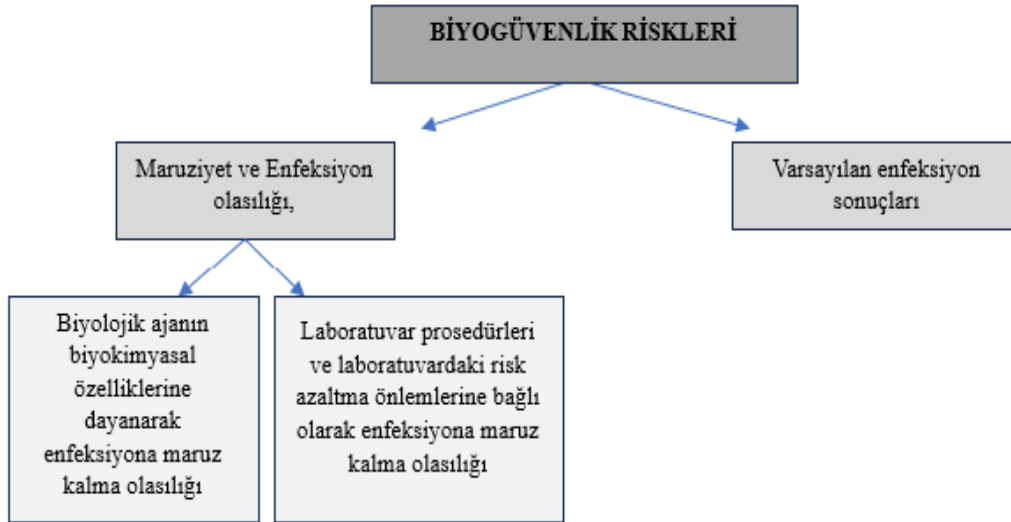
Risk analizi için ÇKKV kullanıldığında, ağırlıklı toplamın elde edilen puanı, görelî risk sıralamasının oluşturulmasında kullanılmaktadır. Olasılık ve şiddet birbirinden bağımsızdır. Bu iki değer göreceli risk karakterizasyonunu birleştirmek için kullanılmaktadır.

3.1.2. Biyogüvenlik Risk Değerlendirme Metodolojisi

Kaplan ve Garrick, (1981) tarafından tanımlandığı gibi, risk analizi üç özel sorunun yanıtlanmasından oluşmaktadır:



Bu metodolojide biyogüvenlik riskleri laboratuvar iş uygulamaları ve prosedürlere bağlı olarak bulaşıcı yoldan maruz kalma olasılığı ve sonuçlarını enfeksiyon olasılığının bir fonksiyonu olarak tanımlamaktadır (Şekil 1) (Caskey et al., 2010). Ek- 1,2 ve 3' de Biyogüvenlik risk değerlendirme modeli için uzmanların belirlediği bazı ağırlıklar yer almaktadır.



Şekil 1. Biyogüvenlik Risk Değerlendirme Metodolojisi (Caskey et al., 2010)

Şekil 1' de görüldüğü üzere olasılık faktörü hesaplanırken iki ayrı faktörün alt faktörleri hesaplanmaktadır. Bunlar dan birincisi analizler sırasında üreyen biyolojik ajanın biyokimyasal özelliklerine dayanarak hesaplanan olasılık düzeyidir. İkincisi laboratuvar prosedürleri ile biyogüvenlik önlemlerine dayalı olarak hesaplanan olasılık düzeyidir. Bu metodolojide hastalığın olasılığı ve sonuçları bireysel risk düzeyi, toplumsal risk düzeyi grafiklerle değerlendirmektedir. Bu metodoloji tüm senaryoların görelî risklerini sayısallaştırmak için her spesifik senaryonun

tüm elementlerini bir araya getirmektedir. Bu risk hesaplamaları kabul edilebilir riskleri belirlemede ve risk azaltma faaliyetlerine odaklanmada yardımcı olmaktadır.

3.1.3. Biyolojik Risk Analizi Modeli

Biyolojik risk değerlendirmesinde 13 ayrı senaryo modellenmiştir. Bulaşıcı ajanın her bulaş yolu ya da rotası için biyolojik ajanın manipülasyonlarında risk olup olmadığı, risk azaltmanın düzeyi ve biyolojik ajanın enfeksiyöz dozu (ID50) BioRAM© ölçeğinde puanlandırılmaktadır. Tablo 1 de örnek senaryo gösterilmiştir.

Tablo 1. Senaryo 1(Caskey et al., 2010)

OLASILIK MODELİ	OLASILIK MODELİ
Solunuma laboratuvar süreçleri yoluyla maruz kalma potansiyeli	İnsanlarda damlacıkların neden olduğu bir enfeksiyon olasılığı üst veya alt solunum yoluna girdiğini varsayalım
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Kazara Aerosol ✓ Aerosol Deneyi ✓ Dökülme ✓ Ekipmanın temizliği ve bakımı yoluyla maruz kalma potansiyeli ✓ Laboratuvarda hayvan kullanımına maruz kalma potansiyeli 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Bu ajanın inhalasyon yoluyla enfeksiyona neden olduğu laboratuvar ortamında biliniyor mu? ✓ Bu ajanın damlacıklarla inhalasyon yoluyla enfeksiyona neden olduğu doğal çevrede biliniyor mu? ✓ Bu ajanın bu yol için bulaşıcı dozu (ID50) 1000'den az mı veya bilinmiyor mu?
Birincil Koruma	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ KKD ✓ Solunum cihazları ✓ Prosedürler ✓ Özel taşıma teknikleri ✓ Özel hayvan taşıma teknikleri 	
ŞİDDET MODELİ	
Bu ajan veya yan ürünlerinden biri insan ve konakçıda kanserojen veya mutajenik etkilere neden olur mu?	
Bu ajanın vücutta olumsuz etkisi olan toksin veya enzim üretimi var mı?	
Bu ajan bir insan konakçının bağışıklık sistemini baskılıyor mu?	
Hastalığın süresi sağlıklı bir insan konakta ne kadardır?	
Hastalığın ciddiyeti nedir (hastalığın ortalama şiddeti, normal sağlıklı bir insan konakçıda hastalık belirtileri kritik durumda hastaneye kaldırılır mı?)	
Organizma normal sağlıklı bir insan konakçı olduğunda enfeksiyonun süresi ne kadardır (ev sahibine virüs bulaştığı sürenin uzunluğu) ?	
Bu hastalık normal sağlıklı bir insanda uzun süreli durumlara (sekeller) neden olur mu?	
Belirli bir dönemde bu hastalığın neden olduğu insanlarda ölüm sıklığı nedir?	
Bu hastalığın salgınları için ne düzeyde ulusal veya uluslararası raporlama gereklidir?	
İnsanlar için etkili teşhis testleri var mı?	
Maruziyet sonrası tedaviler (immünoglobulin, aşılar ve antimikrobialler dahil) insanlar için var mı?	
İnsanlar için önleyici tedbirler (aşılar) var mı?	

Tablo 1' de risk düzeyi hesaplanırken olasılık ve şiddet alt kriterler nasıl hesaplandığı hakkında bilgi verilmiştir. Buna göre inhalasyon yoluyla bulaşa neden olan prosedürlerin olduğu laboratuvar iş uygulamalarındaki senaryoya göre BioRAM© ölçeğinde puanlandırma yapılmaktadır. Böylece alt kriterlerin ağırlığına göre yani sırasıyla rotaya göre aerosol düzeyi, biyolojik ajanın enfeksiyöz dozu, risk azaltma düzeyi ve biyolojik ajanın patojenitesine göre risk düzeyi hesaplanmaktadır. Kazara aerosol oluşmuşsa ve üreyen mikroorganizma solunum yoluyla bulaş yolu oluşturuyorsa üreyen mikroorganizma hastalık oluşturmaktadır. Şöyle ki kazara aerosol oluşmuş fakat mikroorganizma perkütan yaralanma yolu ile bulaş yolu oluşturuyorsa risk oluşmamaktadır. Perkütan yaralanma ve mukoz membranlar yoluyla maruz kalma için benzer senaryolar planlanmaktadır (Caskey et al., 2010).

3.2. Biyogüvenlikte Saaty Ölçeği ve Kriter Ağırlıklarının Hesaplanması

Sandia Amerikan Biyogüvenlik Derneği Colorado ve Kanada Halk Sağlığı Kurumu Bulaşıcı hastalıklar uzmanlarıyla ortaklaşa çalışarak biyolojik ajan maruziyet olasılığı ve şiddet kriterlerini belirlemiştir. Bu kriterler

ve alt kriterlerin ağırlıklarının hesaplamak için Saaty'nin semantik ikili karşılaştırma ölçeği kullanılmıştır. Bu tipik olarak Saaty semantik ölçeği kullanılarak birinin görelî önemi değerlendirilerek yapılmaktadır.1 (eşit önem) ile 9 (önemli ölçüde daha önemli) ölçeğinde bir kriterden diğerine karşılaştırma prensibine dayanmaktadır. Biyogüvenlik risk değerlendirme modellerinin altında yatan matematiğe dayalı olarak ikili karşılaştırma anlamsal ölçeklerin kullanılması mümkün olan en iyi ağırlıklandırma alternatifi olarak seçilmiştir. Model birbiriyle ilişkili kriterlere sahip olmayacak şekilde tasarlanmış ve kriterler ağırlıklandırıldıktan sonra değiştirilmemiştir. Uzmanlardan her birinden kriteri ikili olarak karşılaştırmaları istenmiştir. Bu aktivite önceden oluşturulmuş bir matris kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar daha sonra ticari bir yazılım uygulamasına (Expert Choice™)17 girilmiştir. Saaty ölçeklerini sayısal değerlere dönüştürmek ve bir standart kullanmak için tasarlanmıştır. Böylece tüm uzman tercihlerini tek bir küresel ağırlıkta birleştirmek için dağıtım modeli tasarlanmıştır.

Her model için dört spesifik değer hesaplanmıştır.

İlk değer (Li) olasılığı tanımlamaktadır. Örneğin, inhalasyon yoluyla enfeksiyon olasılığı.

İkinci değer (Le), prosedürlere dayalı olarak belirli bir yol için maruz kalma potansiyelini tanımlamaktadır, Örneğin aerosol maruziyeti olasılığı.

Üçüncü değer (Lm), belirli bir rota için yerinde güvenlik seviyesini tanımlamaktadır. Örneğin, Biyogüvenlik Kabini (BGK) kullanımına bağlı olarak aerosol maruziyetindeki azalma

Dördüncü değer (C), bir konakçıda hastalığın sonucunu tanımlamıştır. Örneğin, enfeksiyon ve olası tedavinin etkinliği.

Modellerin tümü, dört değer her birini hesaplamak için bir ek değer işlevi kullanmıştır; kriter önce her bir kriter değerini kendi ağırlığı ile çarparak ilgili ağırlıkları ile birleştirmiş, sonra tüm ağırlıklı kriterler toplanmıştır. Her senaryo için görelî riski hesaplamak için, belirli olasılık değerleri daha sonra genel olasılık skorunu oluşturmak için birleştirilmiş ve sonuç "risk altındaki" konakçıların her biri için puan hesaplanmıştır.

Maruz Kalma Olasılığı;

Belirli bir rota için maruz kalma olasılığı hesaplamak için daha fazla azaltma riskin değerini küçültmektedir. Ancak risk asla sıfır olamamaktadır. İlk olarak, model "Mitigation Value" (LM) değerini hesaplamaktadır; bu değer, "mükemmel" azaltma ile karşılaştırıldığında yerinde biyogüvenlik önlemlerinin etkililik yüzdesi olarak tanımlanmaktadır. Mutlak ölçekte tanımlandığı şekliyle "mükemmel" hafifletme eşittir dörde; hiçbir azaltma sıfır olarak tanımlanmamaktadır. Bu değeri hesaplamak için ağırlıklı toplam değer tüm yerinde azaltma önlemi puanları "mükemmel" azaltma değerine (dört) bölünmektedir. Bu değer daha sonra maruz kalma potansiyeli değeri ile çarpılmaktadır (ağırlıklı katkı değeri belirli maruz kalma yolu için tanımlanmış kriterlerin değeri) (Le). Bu, genel tanımlama **etkililik yüzdesi** yerinde güvenlik önlemlerinin belirli rotanın maruz kalması potansiyelini azaltmak için tanımlanmıştır.

$$LM = (Lm / 4) * Le$$

Genel maruz kalma olasılığı daha sonra ağırlıklı hafifletme değeri çıkarılarak hesaplanmaktadır.

$$LE = Le - (LM * Wm)$$

Bu süreç, genel maruz kalma olasılığını çok küçük yapmak için daha fazla hafifletmeye izin vermektedir. Ancak sıfırdan küçük veya sıfıra eşit olmasına izin vermemektedir.

Enfeksiyon olasılığı ağırlıklı kriterle birlikte ek değer fonksiyonuyla hesaplanmaktadır.

Genel Olasılık;

Enfeksiyon olasılığı (Li) ile enfeksiyon olasılığı ile enfeksiyona maruz kalma olasılığı arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır.

Bu değerlerin geometrik bir ortalama kullanılarak birleştirilmesinin genel olasılığını hesaplamaktadır.

$$L = \sqrt{(Le * Li)}$$

Sonuçlar;

Hastalığın enfeksiyon varsayarak sonuçları, tüm kriterlerin ek ağırlığı alınarak hastalığın sonuçlarını (Cd) tanımlayan değeri ve ağırlıklı mevcut sonuç azaltma önlemlerinin ek değeri (Cm) çıkarılarak hesaplanmaktadır.

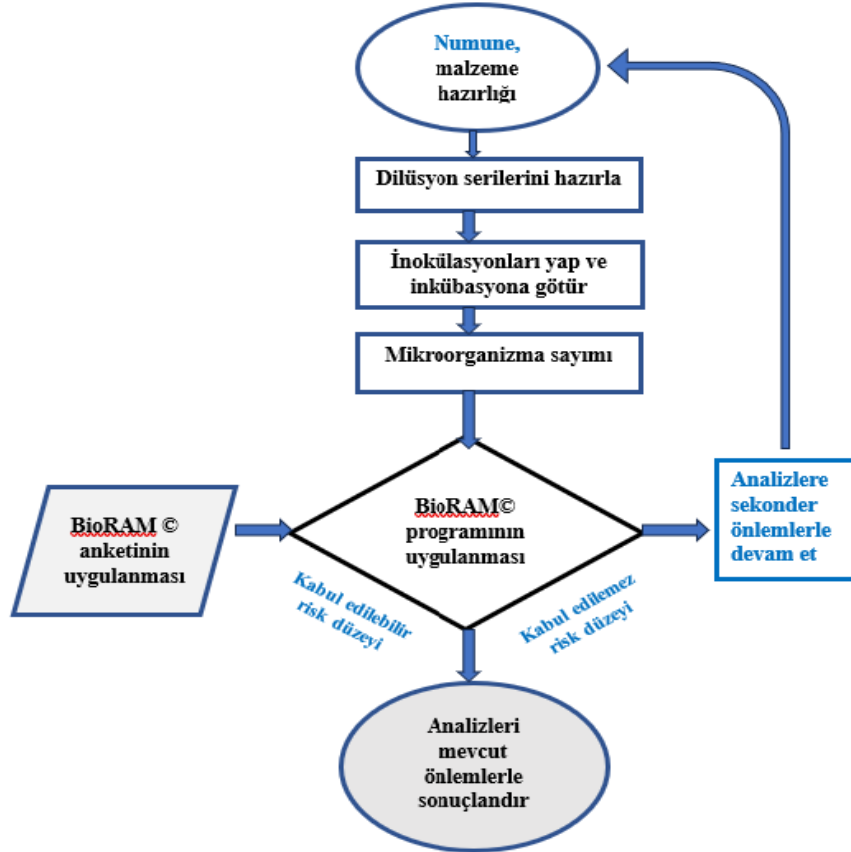
$$C = Cd - Cm$$

Risk;

Risk, olasılık ve sonuçlar olarak tanımlanmaktadır. Her riskin bu sonuç değeri (olasılık ve sonuçlar), bir eksenle olasılıkla iki boyutlu bir grafik kullanılarak görüntülenmektedir. Kaplan ve Garrick tarafından gösterildiği gibi sonuçların, tek bir risk puanı üretme olasılığına göre farklılaşmaya izin vermemesi düşük olasılıklı yüksek sonuçlu olay ile yüksek olasılıklı düşük sonuçlu olay arasında sonuçların niceliksel olarak tek bir değer olarak veya grafiksel olarak gözden geçirilmesinde etkilidir. (Caskey et al., 2010)

4. Yöntem

Çalışmada gıda kontrol mikrobiyolojik analiz laboratuvarlarında rutin yapılan “Koagülaz pozitif *Staphylococcus aureus* sayım ve identifikasyon” işlemi Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Merkez Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma merkezinde yapılmıştır. *Staphylococcus aureus* identifikasyon işlemleri sırasında biyolojik ajana maruz kalma **olasılığı** ve **şiddeti** BioRAM© 2022 programıyla hesaplanmıştır. Yöntemin sahada uygulanışı iş akışında şematik olarak sırasıyla gösterilmiştir.



Şekil 2. *Staphylococcus aureus* identifikasyonu sırasında BioRAM anketlerinin ve programın uygulama aşamaları

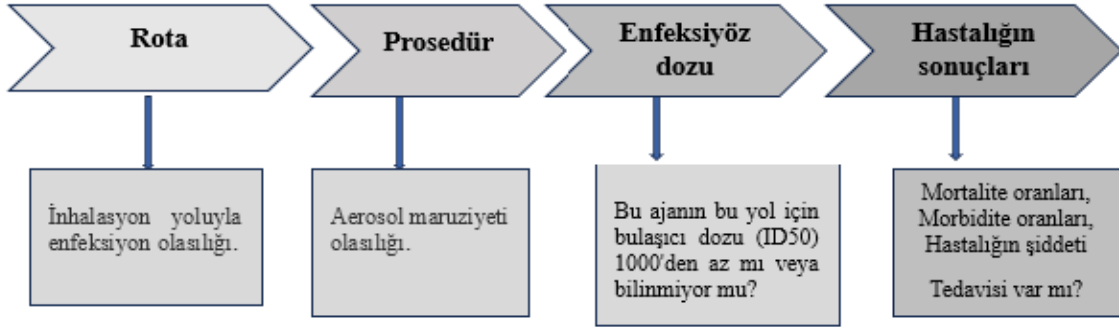
4.1. Tehlikelerin Tanımlanması

BioRAM© programında Olasılık ve Şiddet faktörünü tanımlayan her bir alt faktör **olasılığa** ve **şiddete** neden olma derecesine göre 0, 0.25, 0.50, 0.75, 1 şeklinde değerler atanmıştır. Bazı faktörlerin hesaplanmasında 0, 0.25, 0.75, 1 ; bazı faktörlerin hesaplanmasında 0, 0.25, 0.50, 1 değerleri atanmıştır. Bazı ana faktörlerin hesabında 3 değer atanmıştır. Atanan değerler ekler bölümünde Ek-4’te Tablo 4’te verilmiştir. Geliştirilmiş modelde bu değerler Saaty semantik 16 matrisinde ikili karşılaştırmalar neticesinde olasılığa neden olma derecesine göre puanlandırılmıştır. Tüm faktörlerin değişkenlerinin ağırlığının hesaplanması için anketlerde alt faktör değişkenleri

ikili karşılaştırmalarda şu şekilde puanlandırılmıştır: İlgili faktör için maruziyet olasılığına neden olmuyorsa (%0) 0 değeri; biraz neden oluyorsa (%25) 0,25 değeri; oldukça önemli düzeyde neden oluyorsa (%50) 0,50 değeri; çok önemli düzeyde neden oluyorsa (%75) 0,75 değeri; son derece önemli düzeyde neden oluyorsa 1 değeri atanmaktadır.

4.2. Risk Değerlendirme

Bunun için Tablo 2 ile biyolojik ajana maruz kalmaya neden olabilecek faktörlerden prosedür faktörü, rota faktörü, biyolojik ajanın enfeksiyöz dozu, risk azaltma düzeyi ve hastalığın sonuçları puanlandırılarak risk düzeyi hesaplanmıştır. Hesaplama yapılırken risk hesaplama prensibi şekil 3’ de verilmiştir.



Şekil 3. BioRAM© programı risk düzeyi hesaplama modeli

BioRAM© programında Tablo 2’ deki soruların cevapları yanıtlanarak prosedür, risk azaltma, biyogüvenlik, biyolojik ajanın enfeksiyöz dozu, rota, mortalite oranları, morbidite oranları faktörlerinin alt faktörleri ağırlıklarına göre 0-1 arasında puanlar almışlardır. Sonuçlara göre *Staphylococcus* enterotoksinlerinin ve ekzotoksinlerinin bireysel risk düzeyi ve toplum için risk düzeyi grafiklerle gösterilmiştir.

5. Uygulama

5.1. *Staphylococcus aureus* bakterisinin izolasyonu

Dilüsyonların hazırlanması:

1. Hatay peyniri numunesi steril şartlarda 10 g tartılarak Stomacher torbalarının içerisine aktarılmış ve üzerine %0,1’lik 90 ml peptonlu su (Merck, 1.07214) ilave edilmiştir.
2. Stomacher cihazında homojenize edilmiştir.
3. Her numune aktarımından önce numuneler vorteks ile karıştırılmıştır

Yayma plak yöntemiyle inokülasyonların yapılması

4. Brain Heart Infusion Broth (Merck 1.10130) petri kutusundaki katı besiyeri yüzeyinde bir nokta seçilmiş ve buraya 10^{-1} etiketli tüpten 100µL örnek aktarılmıştır. Aktarılan bu sıvı örnek, drigalski spatülüyle besiyeri yüzeyine yayılmıştır. 10^{-2} ve 10^{-3} ve 10^{-4} dilüsyon tüplerden ekimlere devam edilmiştir.

Micrococ ve Staphylococcus sayımı;

İnokülasyonları tamamlanan besiyerleri 37 °C’de 24-48 saat inkübasyonda bekletilmiştir. İnkübasyon sonucu 10^{-4} dilüsyonlardan ekim yapılan kültürler büyüteç kullanılarak sayılmıştır. İnkübasyonu takiben plaklarda üreyen koloniler sayılmış ve bu koloniler mikrokok/stafilokok olarak değerlendirilmiştir.

Fenotipik Yöntemlerle *Staphylococcus aureus* bakterisinin identifikasyonu

Fenotipik Yöntemler: İdentifikasyon amacıyla katalaz testi, mikroskopik muayene, tüpte koagülaz ile testi yapılmıştır.

- a. **Katalaz testi:** %3 Hidrojen peroksit (Merck, 1.07209) kullanılarak yapılmış ve katalaz pozitif koloniler değerlendirmeye alınmıştır.

- b. **Koagülaz test:** Tipik veya atipik kolonilere koagülaz test uygulanmıştır. Bu amaçla tavşan plazması ile tüpte koagülasyon testi yapılmıştır.

Çalışmanın sonunda koloniler katalaz pozitif olarak değerlendirilmiştir. Bu kolonilere daha sonra koagülaz test uygulanmıştır. Bu test sonucunda pıhtılaşma oluşmuş ve koloniler koagülaz pozitif olarak değerlendirilmiştir. Mikroskopik muayene sonucu mor renkte üzüm salkımı şeklinde koloniler *Staphylococcus aureus* olarak değerlendirmeye alınmıştır. Pembe renkte görülen koloniler *E. coli* olarak değerlendirmeye alınmıştır.

5.2. Tehlikelerin Tanımlanması

Laboratuvar prosedürleri sırasında dilüsyonların hazırlanması sırasında homojenizasyon işlemi, numunelerin tüplere aktarılması sırasında mikropipetleme işlemi ve inokülasyon öncesi tüplerin vortekslenmesi işlemi aerosol olasılığı yüksek olan işlemlerdir. Orta düzeyde temas yoluyla bulaş ve sindirim yoluyla bulaş olasılığı taşımaktadır. İnokülasyon işlemi, gram boyama ve mikroorganizmaların sayılması işlemi temas olasılığı yüksek işlemlerdir. Ancak bu işlemlerde de aerosol riskli basamaklar bulunmaktadır. Katalaz ve koagülaz testi ise aerosol olasılığı yüksek işlemlerdir. Bu testler sırasında orta düzeyde temas ve sindirim yolu bulaş olasılığı bulunmaktadır.

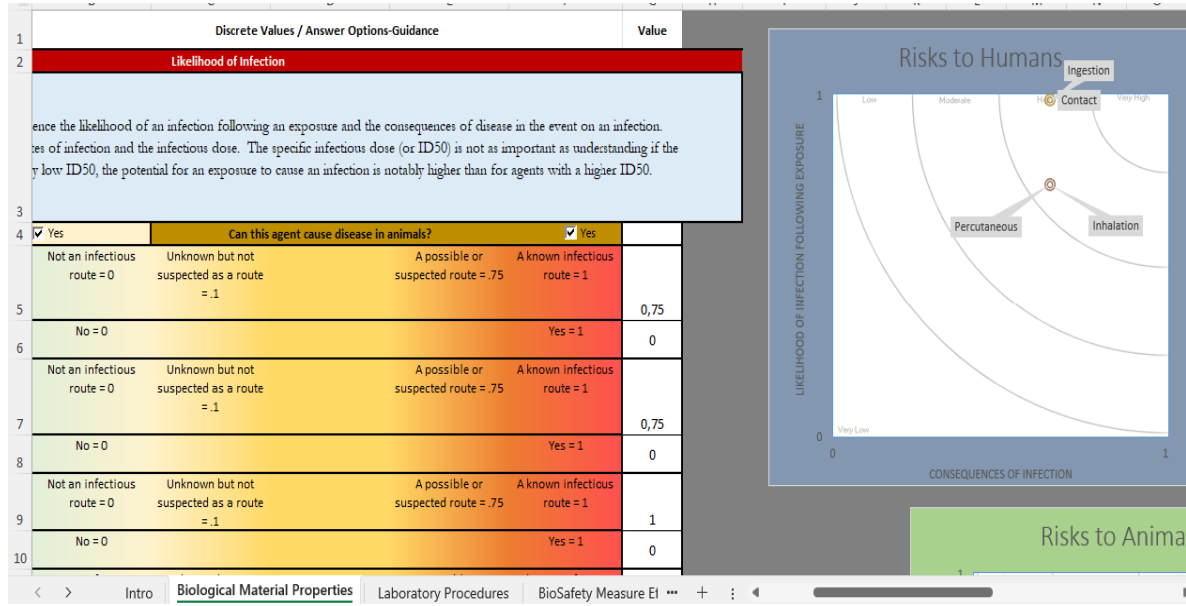
Staphylococcus aureus bakterisinin manipülasyonları sırasında laboratuvar prosedürleri dikkate alınarak aerosol olasılığı yüksek işlemler ve uygulamalar tanımlanmıştır. İşlem de kullanılan numune tipi, numune hacmi ve kesici delici alet kullanımı tanımlanmıştır. Tanımlanan tehlikelere göre Tablo 2' deki sorular BioRAM© 2022 sürümüyle yanıtlanmıştır. Yanıtlanan soruların bir kısmı aşağıda Tablo. 2' de verilmiştir.

Tablo 2. Biyolojik ajanlara maruziyet olasılığını ve şiddetini ölçen değişkenlerin önem derecesine göre puanlandırılması

KRİTERLER	ALT KRİTERLER	DEĞİŞKENLER (0-1 ARASI DEĞERLER ATANIR)	
1. BİYOLOJİK AJAN ÖZELLİKLERİ	A1. Bu ajanın inhalasyon yoluyla enfeksiyona neden olduğu biliniyor mu?	0,75	
	A1a. Bu ajanın bu yol için bulaşıcı dozu (ID50) 1000'den az mı yoksa bilinmiyor mu?	0	
	A2. Bu ajanın perkütan maruziyet yoluyla enfeksiyona neden olduğu biliniyor mu?	0,75	
	A2a. Bu ajanın bu yol için bulaşıcı dozu (ID50) 1000'den az mı yoksa bilinmiyor mu?	0	
	A3. Bu ajanın doğrudan temas yoluyla enfeksiyona neden olduğu biliniyor mu?	1	
	A3a. Bu ajanın bu yol için bulaşıcı dozu (ID50) 1000'den az mı yoksa bilinmiyor mu?	0	
	A4. Bu ajanın yutma yoluyla enfeksiyona neden olduğu biliniyor mu?	1	
	A4a. Bu ajanın bu yol için bulaşıcı dozu (ID50) 1000'den az mı yoksa bilinmiyor mu?	0	
	2. PROSEDÜR	Bu prosedürde ne tür malzeme kullanılacak?	0,1
		Prosedürde aynı anda mevcut olan en büyük malzeme hacmi nedir?	0,25
Bu prosedürün bir yan ürünü olarak aerosollerin oluşma potansiyeli nedir? (Örn. pipetleme, sonikasyon vb.)?		1	

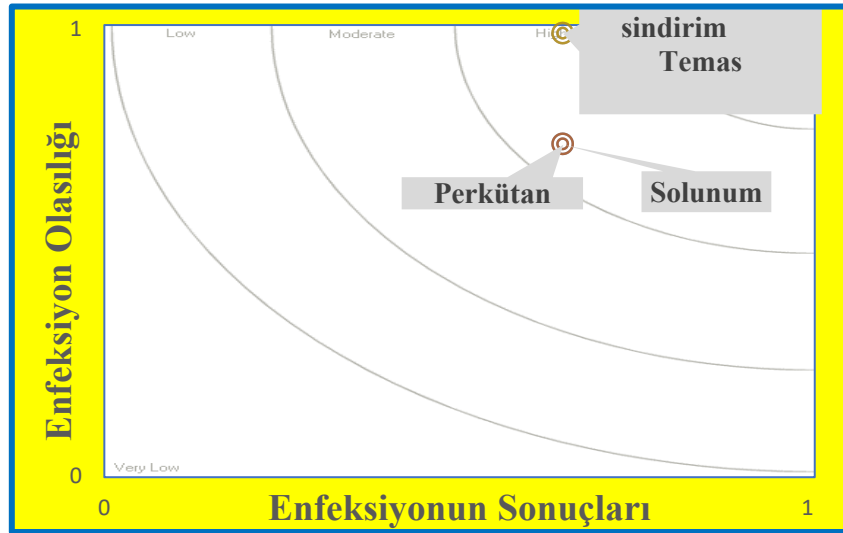
	Bu prosedürün bir parçası olarak aerosol haline getirme deneyleri yapılıyor mu?	1
	Prosedürde kullanılan kesici alet miktarı nedir?	0,50
	Bu laboratuvardaki kırılabilir malzeme veya keskin kenarlı öğelerin miktarı nedir?	0,50
	Bu prosedürde sıçrama ve dökülme riski olan işlem miktarı nedir?	0,75
3.BİYOĞÜVENLİK ÖNLEMLERİ	Bu prosedürde Biyogüvenlik kabinleri kullanılıyor mu?	1
	Bu prosedürde kullanılan ve enfeksiyöz aerosol üretme potansiyeline sahip tüm ekipman kullanılıyor mu? (örn. santrifüj, vorteksleyici, sonikatör) Bunların kullanımdan önce aerosol kaçışını önleyecek şekilde izole edilmiş veya kapatılmış mı (örn. kapalı rotor kapları, BSC'deki ekipman, vb.)	1
	Laboratuvardan çıkan enfeksiyöz aerosolleri azaltmak için önlemler var mı? (Havalandırma / HVAC)	1
	Sıvı atık (atık su) nasıl işlenir?	1
	Kontamine atık laboratuvarında nasıl saklanır?	1
	İyi laboratuvar uygulamaları ne düzeyde yapılıyor?	1
4.MORTALİTE ORANLARI	Belirli bir popülasyonda belirli bir zaman aralığında bu hastalıkların neden olduğu insanların ölüm sıklığı nedir? (Mortalite oranı)	0,75
MORBİDİTE	Normal sağlıklı bir insan konakçıda, hastalık belirtisi olmamasından kritik durumda hastaneye yatırılmasına kadar değişen hastalığın şiddeti nedir?	0,75
6. RİSK AZALTMA ÖNLEMLERİ	İnsan için etkili teşhis testi var mı?	0,1
	Maruziyet sonrası tedavi yapın (bağışıklık globulin aşıları ve antimikrobiyal dahil)	0,5
	İnsan için önleyici tedbirler (aşılar) yapılıyor mu?	1

BioRAM© programına yukarıdaki tablodaki değerler girilerek programla aşağıdaki ekran görüntüsünde görüldüğü üzere risk düzeyi hesaplanmıştır.



Şekil 3. BioRAM programı ekran görüntüsü

Tüm kriterlerin puanlandırılması yapıldıktan sonra BioRAM© programıyla *Staphylococcus aureus* bakterisinin risk düzeyi iki boyutlu grafiklerle gösterilmiştir. 1. grafikte solunum, sindirim, perkütan yaralanma yoluyla bireysel risk düzeyi mikroorganizmanın biyolojik ajan özellikleri dikkate alınarak hesaplanmıştır. 2. Grafikte biyolojik ajanın manipülasyonları sırasında (santrifüjleme, pipetaj, pasaj) uygulanan her bir prosesten kaynaklı bireysel ve dışardaki toplum açısından risk düzeyi hesaplanmıştır. 3. Grafikte ise biyolojik ajanın manipülasyonlarının risk azaltma ve biyogüvenlik önlemleri neticesinde oluşturduğu risk düzeyi hesaplanmıştır.

Grafik 1. *Staphylococcus aureus* bakterisinin biyolojik ajan özelliklerine göre insanlar için oluşturduğu risk düzeyi

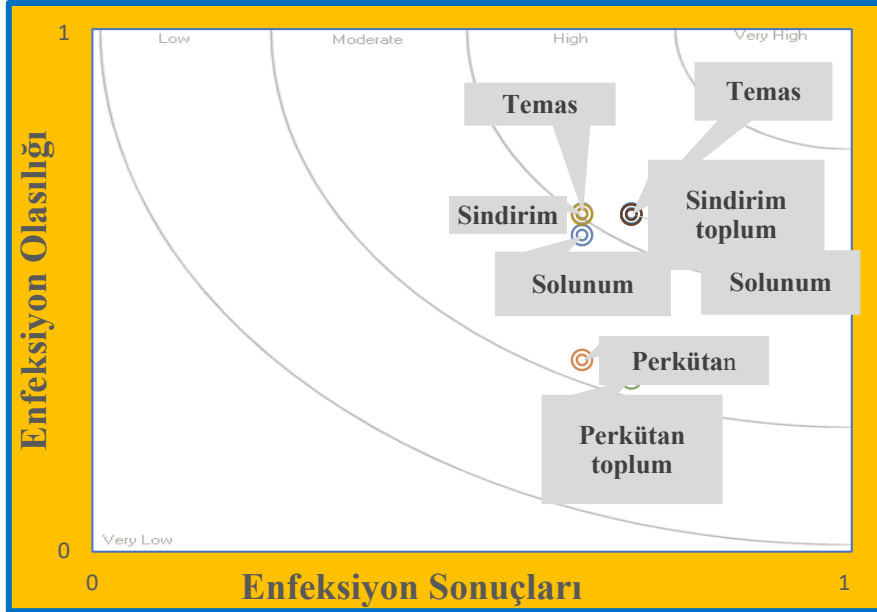
Solunum yolu ile risk düzeyi: [olasılık; 0,74; şiddet:0,65]

Perkütan yaralanma yolu ile risk düzeyi: [olasılık; 0,74; şiddet:0,65]

Sindirim yolu ile risk düzeyi: [olasılık; 0,99; şiddet: 0,65]

Temas yolu ile risk düzeyi: [olasılık; 0,99; şiddet: 0,65]

Grafik 1'de görüldüğü üzere biyolojik ajanın biyokimyasal özelliklerine göre inhalasyon, temas, sindirim ve perkütan yaralanma yoluyla bulaş riski "**yüksek risk**" oluşturmaktadır.



Grafik 2. *Staphylococcus aureus* bakterisinin identifikasyonu sırasında uygulanan prosedürlerden kaynaklı insanlar için oluşturduğu risk düzeyi

Bireysel laboratuvar(B) solunum yolu ile risk düzeyi: [olasılık; 0,61; şiddet:0,65]

Bireysel laboratuvar(B) perkütan yaralanma yolu ile risk düzeyi: [olasılık; 0,36; şiddet:0,65]

Bireysel laboratuvar(B) sindirim yolu ile risk düzeyi: [olasılık; 0,65; şiddet: 0,65]

Bireysel laboratuvar(B) temas yolu ile risk düzeyi: [olasılık: 0,65; şiddet: 0,65]

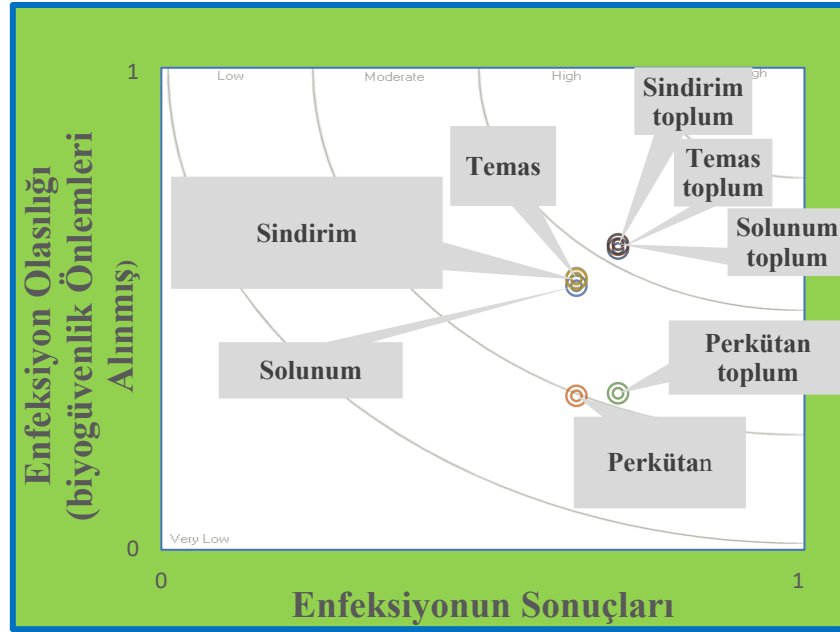
Laboratuvar dışındaki toplum için (T) solunum yolu ile risk düzeyi: [olasılık; 0,71; şiddet:0,65]

Laboratuvar dışındaki toplum için (T) temas yolu ile risk düzeyi: [olasılık; 0,71; şiddet:0,65]

Laboratuvar dışındaki toplum için (T) sindirim yolu ile risk düzeyi: [olasılık; 0,71; şiddet:0,65]

Laboratuvar dışındaki toplum için (T) perkütan yaralanma yolu ile risk düzeyi: [olasılık; 0,33; şiddet:0,65]

Grafik 2’de görüldüğü üzere laboratuvarlarda çiğ süt numunesinden *Staphylococcus aureus* identifikasyonu prosedürlerinde her bir proses için uygulanan biyolojik ajanın manipülasyonları laboratuvar çalışanı için temas, perkütan yaralanma ve sindirim yoluyla “**yüksek risk**”; perkütan yaralanma yoluyla “**orta risk**” oluşturmaktadır. Ancak solunum yoluyla bulaş riski “**orta**” düzeyde olduğu görülmektedir. Toplum için solunum, sindirim ve temas yoluyla bulaş riski “**yüksek risk**” düzeyinde hesaplanmıştır. Analizin perkütan yaralanma riski toplum için orta risklidir.

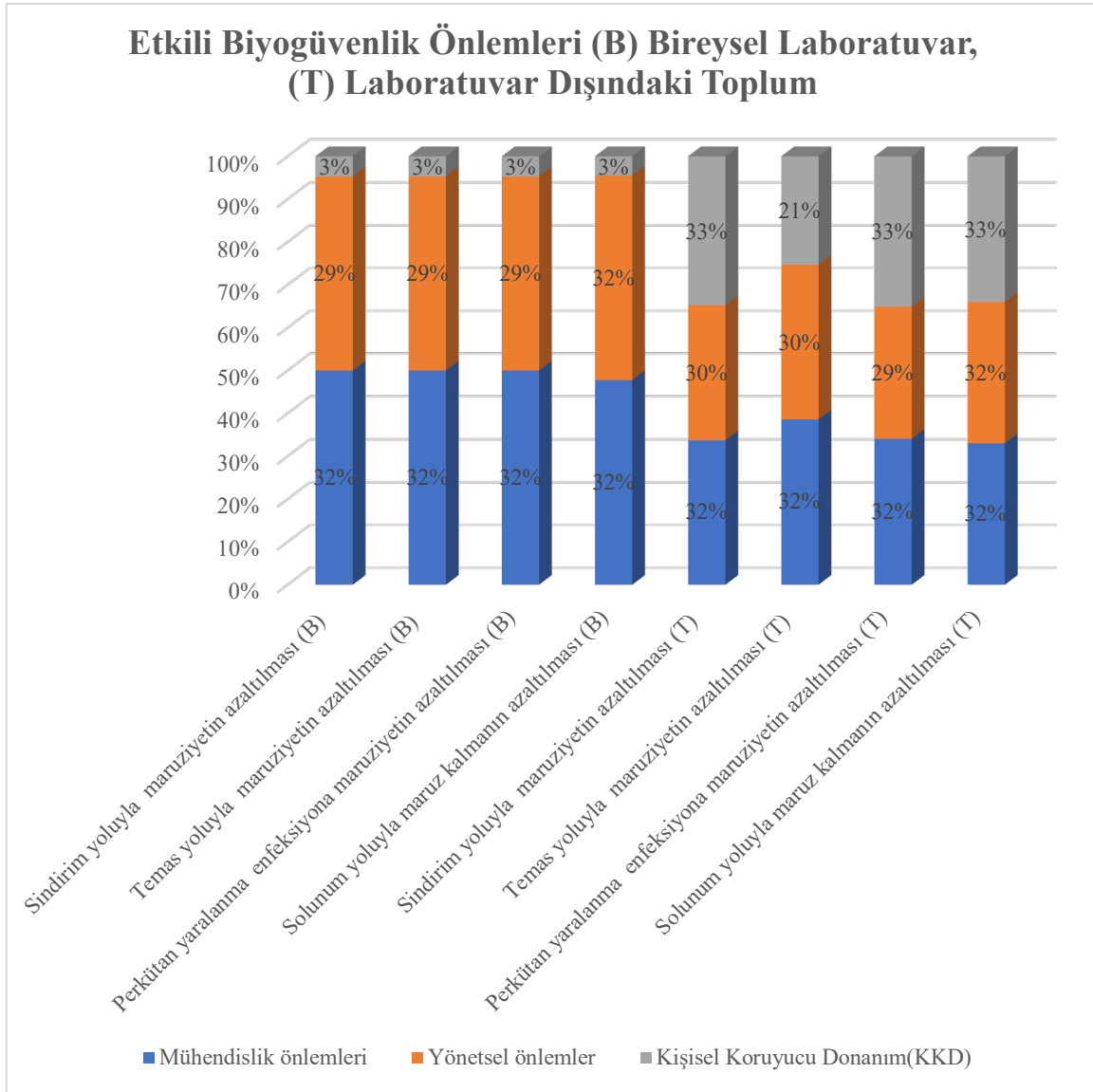


Grafik 3. *Staphylococcus aureus* bakterisinin risk azaltma ve biyogüvenlik önlemleri sonrası insanlar için ve toplum için oluşturduğu risk düzeyi

Biyogüvenlik ve risk azaltma önlemleri iyi düzeyde alındıktan sonraki risk düzeyleri;

- Bireysel laboratuvar(B) solunum yolu ile risk düzeyi: [olasılık; 0,56; şiddet:0,65]
 Bireysel laboratuvar(B) perkütan yaralanma yolu ile risk düzeyi: [olasılık; 0,36; şiddet:0,65]
 Bireysel laboratuvar(B) sindirim yolu ile risk düzeyi: [olasılık; 0,56; şiddet: 0,65]
 Bireysel laboratuvar(B) temas yolu ile risk düzeyi: [olasılık; 0,56; şiddet: 0,65]
 Laboratuvar dışındaki toplum için (T) solunum yolu ile risk düzeyi: [olasılık; 0,71; şiddet:0,64]
 Laboratuvar dışındaki toplum için (T) temas yolu ile risk düzeyi: [olasılık; 0,71; şiddet:0,64]
 Laboratuvar dışındaki toplum için (T) sindirim yolu ile risk düzeyi: [olasılık; 0,71; şiddet:0,64]
 Laboratuvar dışındaki toplum için (T) perkütan yaralanma yolu ile risk düzeyi: [olasılık; 0,32; şiddet:0,64]

Grafikte 3'te görüldüğü üzere biyogüvenlik önlemleri ve risk azaltma önlemleri alındığında biyolojik ajanın oluşturduğu risk düzeyi sindirim, temas ve inhalasyon yoluyla “orta risk” düzeyinde hesaplanmıştır. Grafik 1 ile Grafik 3 kıyaslandığında inhalasyon, sindirim, temas ve perkütan yoluyla bireysel risk düzeyi “yüksek risk” düzeyinden “orta risk” düzeyine gelmiştir. Grafik 2 ile Grafik 3 kıyaslandığında *Staphylococcus aureus* bakterisinin identifikasyonu sırasında prosedürlerden kaynaklı inhalasyon yoluyla bireysel risk düzeyi “orta risk” ve “yüksek risk” sınırında iken “orta risk” düzeyinde hesaplanmıştır. Temas yoluyla bireysel risk düzeyi “yüksek risk” iken “orta risk” düzeyinin ortalarında hesaplanmıştır. Sindirim yoluyla bireysel risk düzeyi “yüksek risk” düzeyinde iken “orta risk” düzeyinde hesaplanmıştır. Perkütan yaralanma yoluyla bireysel risk düzeyi “orta risk” düzeyinde iken “orta risk ile düşük risk” sınırında hesaplanmıştır. Grafik 2 ile Grafik 3 kıyaslandığında toplum için bu ajanın risk düzeyi *yüksek* iken yine *yüksek risk* düzeyinin biraz altına getirilmiştir.



Grafik 4. Etkili risk azaltma biyogüvenlik önlemleri

Grafik 4 incelendiğinde yönetmel önlemler, mühendislik önlemlerinin yeterli düzeyde alındığı görülmüştür. Ancak KKD önlemlerinin bireysel riskleri önlemede yeterli olmadığı görülmüştür. Gıdadan elde edilen *S. aureus* izolatlarında metisilin direnç geni geliştiren femA gen bölgeleri bulunmaktadır. Gıdadan elde edilen suşlar Enterotoksin, ekzotoksin, TSST-1, protein A, alfa beta hemolizin, biyofilm üretmesi nedeniyle insanlardan izole edilen suşlar kadar tehlikelidir. Hastanelerde Metisilin dirençli *S. aureus* 'lar bakteriyemi, pnömoni, cerrahi enfeksiyonlar ve nazokomiyal enfeksiyonlara neden olmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan hastalıkları önleme ve kontrol merkezlerinin verilerine göre sağlık kuruluşlarında meydana gelen *S. aureus* enfeksiyonlarının %59,5'inin MRSA'lerden kaynaklandığı belirtilmektedir. Ayrıca biyolojik ajanın SEB enterotoksinleri biyolojik silah olarak kullanılabilir. Biyogüvenlik önlemleri yeniden gözden geçirilmeli, KKD önlemlerinin artırılması yönünde önlemler artırılmalıdır. Yüz siperliği, koruyucu gözlük gibi sekonder KKD önlemlerinin etkin ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılması sağlanmalıdır. Bu mikroorganizmanın manipülasyonlarında geleneksel mikrobiyolojik analizlerinin yerine malzeme hacmini ve aerosol riskini azaltan moleküler tekniklerin kullanılması risk yönetiminde önemli hedeflerden biri olmalıdır.

6. Tartışma

Mesleki risk düzeyi yüksek olan *Staphylococcus aureus* gibi mikroorganizmalarla çalışmadan önce işe biyolojik risk değerlendirmesi ile başlanmalıdır. Ancak biyolojik risk değerlendirmesi oldukça karmaşık aşamaları barındırmaktadır. Biyolojik ajan maruziyetine neden olan olasılık ve şiddet kriterlerinin çok fazla alt kriteri bulunmaktadır. Nitel analizlerde bu alt kriterlerin risk düzeyi oluşturmada önem düzeyi göz ardı edilmektedir. BioRAM© programı ile *bu kriterlerin önem düzeyi ve risk oluşturmada önceliği hesaplanmaktadır.*

Çalışmada biyolojik ajanın biyokimyasal özelliklerine göre temas, sindirim yoluyla bulaş riski **yüksek** düzeydedir. Çiğ süt numunesinden *Staphylococcus aureus* identifikasyonu prosedürlerinde her bir proses için uygulanan manipülasyonları **“yüksek risk”** düzeyi oluşturmaktadır. Toplum için solunum yoluyla bulaş riski **“yüksek risk”** düzeyinde hesaplanmıştır. Laboratuvar çalışanı ve toplum için direkt temas ve sindirim yoluyla bulaş riski **“yüksek risk”** düzeyinde hesaplanmıştır. Solunum yoluyla bulaş riski **orta risk düzeyinde**, perkütan yaralanma olasılığı **orta risk** düzeyindedir. Biyogüvenlik önlemleri ve risk azaltma önlemleri alındığında biyolojik ajanın oluşturduğu risk düzeyi sindirim, temas ve solunum yoluyla orta risk düzeyine getirilmiştir. Solunum yoluyla risk düzeyi 0,61’den 0,65’e getirilmiştir. Ancak risk düzeyi orta risk olduğundan kabul edilebilir düzeyde değildir. Temas ve sindirim yoluyla risk düzeyi 0,65’ten 0,56’ya getirilmiştir. Ancak risk düzeyi orta risk olduğundan kabul edilebilir düzeyde değildir. Perkütan yaralanma riski 0,36 da iken önlem alınmasına rağmen 0,36’da kalmıştır. Toplum için solunum, sindirim ve temas yolu ile risk düzeyi 0,71 iken yine 0,71’de kalmıştır. Risklere maruz kalma olasılığı ve şiddeti değerlendirilirken ilk risk kabul edilemez risk (orta, yüksek, çok yüksek) ya da kabul edilebilir risk (çok düşük, düşük) olarak tanımlanmaktadır. *Kabul edilebilir risk düzeyi* olması için risk düzeyi **“düşük”** ya da **“çok düşük”** olması gerekmektedir. Sekonder güvenlik önlemleri alınmadan işlemlere devam edilmemelidir. Yüz siperliği, gözlük kullanılmalı, homojenizasyon, mikropipetleme, vorteksleme, inokülasyon işlemleri, mikroorganizma sayma, gram boyama işlemleri, katalaz, koagülaz testleri BGK’da yapılmalıdır. Bu prosedürde sadece mikroskopta inceleme işlemi tezgah üzerinde açıkta yapılabilmektedir. BGK2+ düzeyinde üst düzey güvenlik önlemleri alınmalıdır.

Çalışmamızda gıda kontrol mikrobiyolojik analiz laboratuvarlarında üretilen *Staphylococcus aureus* bakterisinin mesleki risk olarak laboratuvar çalışanları için yüksek risk oluşturduğu ortaya konmuştur. Oliviera et.al., (2022) çalışmasında fırın çalışanlarında %40, domuz işçilerinde %54; itfaiyeciler arasında *S. aureus* asemptomatik taşıyıcıları yüksek prevalans göstermiştir. Sağlık çalışanlarında %43,3 MRSA (Metisilen direçli *Staphylococcus aureus*); veteriner hekimlerde %33,3 MRSA gözlenmiştir. Ledvoch et al., (2018) çalışmasında 3 hastaneden aldıkları örneklerde %58 *S.aureus* pozitif çıkmıştır. Huang et al., 2014 çalışmasında domuz çiftliği işçilerinin %6,8’inde MRSA ‘ya rastlanmıştır. Viegas et al., 2021 çalışmasında Portekiz’de ilk yardım görevini de üstlenen itfaiye ambulanslarında *S. aureus* prevalansı %48 bulunmuştur. Larson et al., 2012 çalışmasında domuz çiftliği işçilerinde MRSA prevalansı yüksek çıkmıştır. LeClaire, (2005) çalışmasında *Staphylococcal enterotoksinler* intravenöz ve inhalasyon yoluyla maruz kalmada oldukça toksik olduğu ve pulmoner ödem nedeniyle ölüme neden olduğu bildirilmiştir. Literatürdeki araştırmalar çalışmamızda olduğu gibi *S.aureus* bakterisinin yayılımının yüksek olduğunun, mesleki riskler arasındaki yaygınlığının ve çalışanlar için yüksek risk oluşturduğunun altını çizmektedir.

Daha sonraki çalışmalarda biyolojik risk değerlendirmesinde Fuzzy AHP, VİKOR, TOPSİS, MOORA gibi Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile olasılık ve şiddetin faktör ve alt faktörlerinin ağırlıkları hesaplanarak Risk öncelik Sırası (RÖS) hesaplaması yapılmalıdır. MATLAB-R 2023b sürümüyle risk düzeyi hesaplanabilmektedir. Bu yöntemlerin birlikte kullanılmasıyla biyolojik risklerin değerlendirmesinde disiplinler arası çalışmalara yer verilmelidir. Ayrıca biyolojik risk değerlendirmeleri bu geliştirilmiş yöntemlerle hastanelerin yenidoğan bakım ünitelerinde, cerrahi alanlarında ve yoğun bakım servislerinde uygulanmalıdır.

Sağlık çalışanları, diş hekimleri, veteriner hekimler, tarım işçileri ve gıda işiyle uğraşanlar biyolojik risklere maruz kalabilmektedir. Çalışmada Gıda Kontrol Mikrobiyolojik Analiz laboratuvarlarında rutin yapılan Koagülaz pozitif *Staphylococcus aureus* analizinin BioRAM© programı ile biyolojik risk değerlendirmesi aşamaları gerçekleştirilmiştir. Programın risk değerlendirmesinde uygulanabilirliği açısından oldukça kullanışlı bir araç olduğu görülmüştür. Bu bağlamda çalışmada diğer biyolojik ajanlara maruziyet riski olan işyerlerinde biyolojik risk değerlendirme aşamalarına genel bir bakış sunması bağlamıyla alana katkı sağlamıştır.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Ergün ERASLAN BioRAM ve Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinin açıklanmasında ve risk analizinin yapılmasında; Nuray Alpoğlu AKBULUT problem analizinin yapılması, bilimsel yayın araştırmasında ve makalenin oluşturulmasında; katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Teşekkür

“Koagülaz pozitif *Staphylococcus aureus* sayımı ve identifikasyon işlemi” Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Merkez Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma merkezinde yapılmıştır. Laboratuvar malzemeleri ve besiyerleri Gazi Üniversitesi Biyoloji Eğitimi Mikrobiyoloji laboratuvarında hazırlanmıştır. Araştırma sürecinde laboratuvarını kullanmamı sağlayan Doç. Dr. Mustafa Güngörmüş hocamıza ve ekibindeki tüm arkadaşlara, Gazi Üniversitesi’nde çalışma sürecine destek olan Prof Dr. Hikmet KATIRCIOĞLU’na ve Burak GÜRKAN’a katkılarından dolayı teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

Association of public health laboratories, (2016). *Risk Assesment Best Practices. Retrived from <https://www.aphl.org/programs/preparedness/Documents/APHL%20Risk%20Assessment%20Best%20Practices%20and%20Examples.pdf>*

Başustaoğlu, N. (2012). Klinik mikrobiyoloji laboratuvarlarında biyogüvenlik. Başustaoğlu, A. C., Güney M. (Ed), *Laboratuvar risk değerlendirmesi* içinde (s.3-9). Ankara: Klı mud.

Beer, D., Vandermeer, B., Brosnikoff, C., Shokoples, S., Rennie, R., & Forgie, S. (2006). Bacterial contamination of health care workers' pagers and the efficacy of various disinfecting agents. *The Pediatric Infectious Disease Journal*, 25(11), 1074–1075. <https://doi.org/10.1097/01.inf.0000242649.27400.94>

Caskey, S, Gaudio, J, Salerno R., Wagner, S., Shigematsu, M., Risi, G., Kozlovac, J., Prat, V., H., K., E (2010). Biosafety Risk Assessment Methodology. *Sandia Report. Sandia National Laboratories <https://www.coursehero.com/file/29741758/Biosafety-Risk-Assessment-Reportpdf/>*

Evangelos Triantaphyllou, (2000) *Multi-Criteria Decision Making Methods: A comparative Study*, Kluwer Academic Publishers, <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4757-3157-6>

Huang, E., Gurzau, A. E., Hanson, B. M., Kates, A. E., Smith, T. C., Pettigrew, M. M., Spinu, M., & Rabinowitz, P. M. (2014). Detection of livestock-associated methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* among swine workers in Romania. *Journal Of Infection And Public Health*, 7(4), 323–332. <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2014.03.008>

Jans, C., Wambui, J., Stevens, M. J., & Tasara, T. (2022). Comparative genomics of dairy-associated *Staphylococcus aureus* from selected sub-Saharan African regions reveals milk as reservoir for human-and animal-derived strains and identifies a putative animal-related clade with presumptive novel siderophore. *Frontiers in Microbiology*, 13, 923080. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.923080>

Linkov, I., (2006). “Comments on the OMB Risk Assessment Bulletin”, https://georgewbush-whitehouse.archives.gov/omb/inforeg/comments_rab/cei.pdf

Linkov, I., satterstrom, F.K., Steevens, J.et al. (2007) Multicriteria decision analysis and enviromentai risk assesment for nanomaterials. *J Nanopart Res*), 543-554 <https://doi.org/10.1007/s11051-007-9211-0>

Karaatli, M., Ömürbek, N., Budak, İ., & Okan, D. A. Ğ. (2015). Çok kriterli karar verme yöntemleri ile yaşanabilir illerin sıralanması. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (33), 215-228. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1724830>

Kluytmans, J., van Belkum, A., & Verbrugh, H. (1997). Nasal carriage of *Staphylococcus aureus*: epidemiology, underlying mechanisms, and associated risks. *Clinical microbiology reviews*, 10(3), 505–520. <https://doi.org/10.1128/CMR.10.3.505>

Laboratory biosafety manual, fourth edition, (2020)(b). *Laboratory biosafety manual, fourth edition and associated monographs* Geneva: World Health Organization <https://www.who.int/publications/i/item/9789240011311>

- LeClaire RD, Pitt MLM. (2005). Biological Weapons Defense: Effect Levels. In: Lindler LE, Lebeda FJ, Korch GW, editors. *Biological Weapons Defense: Infectious Diseases and Counterbioterrorism*. Totowa (NJ): Humana Press, Inc. 35, 41–61. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7122899/pdf/978-1-60327-297-1_Chapter_23.pdf
- Madsen, A. M., Phan, H. U. T., Laursen, M., White, J. K., & Uhrbrand, K. (2020). Evaluation of Methods for Sampling of *Staphylococcus aureus* and Other *Staphylococcus* Species from Indoor Surfaces. *Annals Of Work Exposures And Health*, 64(9), 1020–1034. <https://doi.org/10.1093/annweh/wxaa080>
- Medina, P., Calzado, C., Centeno, R., Tandoc III, A., & Lupisan, S. (2016). Biological Risk Assessment: Zika Virus Detection at the Research Institute For Tropical Medicine. *PJP*, 1(1), 19–23. <https://doi.org/10.21141/PJP.2016.004>
- Mourya, D. T., Sapkal, G., Yadav, P. D., M Belani, S. K., Shete, A., & Gupta, N. (2020). Biorisk assessment for infrastructure & biosafety requirements for the laboratories providing coronavirus SARS-CoV-2/(COVID-19) diagnosis. *The Indian journal of medical research*, 151(2 & 3), 172–176. https://doi.org/10.4103/ijmr.IJMR_763_20
- National Institutes of Health, (2020). *Biosafety in Microbiological and Biomedical Laboratories 6th Edition* https://www.cdc.gov/labs/pdf/SF_19_308133-A_BMBL6_00-BOOK-WEB-final-3.pdf
- Nacar, E. N., & Erdebili, B. (2021). Tesis Yeri Seçimine Yeni Bir Bakış: Katmanlı Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi. *Verimlilik Dergisi*, (4), 103-117 <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1419070>
- Nunes, S. F., Bexiga, R., Cavaco, L. M., & Vilela, C. L. (2007). Technical note: Antimicrobial susceptibility of Portuguese isolates of *Staphylococcus aureus* and *Staphylococcus epidermidis* in subclinical bovine mastitis. *Journal of dairy science*, 90(7), 3242–3246. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-739>
- Nwankwo, E. O., & Nasiru, M. S. (2011). Antibiotic sensitivity pattern of *Staphylococcus aureus* from clinical isolates in a tertiary health institution in Kano, Northwestern Nigeria. *The Pan African medical journal*, 8, 4. <https://doi.org/10.4314/pamj.v8i1.71050>
- Oliveira, K., Viegas, C., & Ribeiro, E. (2022). MRSA Colonization in Workers from Different Occupational Environments—A One Health Approach Perspective. *Atmosphere*, 13(5), 658. <https://doi.org/10.3390/atmos13050658>
- Özpınar, (2011). Erzincan tulum peynirinden izole edilen *staphylococcus aureus* izolatlarında antibiyotik direncinin ve biyofilm oluşturma özelliğinin fenotipik ve genotipik olarak belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. https://acikbilim.yok.gov.tr/bitstream/handle/20.500.12812/549713/yokAcikBilim_395034.pdf?sequence=-1&isAllowed=y
- Peng H, Bilal M, Iqbal HMN (2018). Improved Biosafety and Biosecurity Measures and/or Strategies to Tackle Laboratory-Acquired Infections and Related Risks. *Int J Environ Res Public Health*. 29;15(12):2697. doi: 10.3390/ijerph15122697.
- Risk assessment (2020) (a). *Laboratory biosafety manual, fourth edition and associated monographs*. Geneva: World Health Organization <https://www.who.int/publications/i/item/9789240011458>
- Sandialabs *Exceptional service in the national interest*. Erişim adresi: <https://github.com/sandialabs/BioRAM>
- Shamsul A. Qasmi, Erum Khan, and Azhar Z. Maqbool. (2012) Survey of Biorisk Management in Clinical Laboratories in Karachi, Pakistan, *Applied Biosafety*. 198-207 <https://www.liebertpub.com/doi/epdf/10.1177/153567601201700405>
- Siengsan-Lamont J, Blacksell SD. A (2018). Review of Laboratory-Acquired Infections in the Asia-Pacific: Understanding Risk and the Need for Improved Biosafety for Veterinary and Zoonotic Diseases. *Trop Med Infect Dis*. 26;3(2):36. doi: 10.3390/tropicalmed3020036.
- Smith, A. R., Johnson, B., Weaver, P. J., & Fitch, J. P. (2014). New Entity CDC Select Agent Registration Process—A Practical Guide to Lessons Learned. *Applied Biosafety*, 19(2), 56-67.
- Singh K. Laboratory-acquired infections. *Clin Infect Dis*. 2009 Jul 1;49(1):142-7. doi: 10.1086/599104.

EK-1



Grafik 5. İnsan konak kriterlerinde hastalığın sonuçlarına ilişkin ağırlıklar (Sandia National Laboratories, 2010)

EK-2



Grafik 6. Tüm yollar için enfeksiyon olasılığı ağırlıkları ağırlıklar (Sandia National Laboratories, 2010)

EK-3

Tablo 3. Prosedür alt faktörleriyle beraber risk azaltma kriterlerinin ağırlıkları Sandia National Laborotories, (2010)

Laboratuvar İçerisindeki Bireylerin Solunuma Maruz Kalma Olasılığı				
	Ağırlığı		Ağırlığı	
Niteliği	%8,38			
Solunum maruziyeti	Miktarı	%3.10	Sınırlama	%28,90
	Kazara Aerosol	%22,14	KKD Solunum cihazları	%15,30
	Aerosol Deneyi	%24,60	Prosedürler İşleme	%12,75
	Dökülme	%14.76		
	Ekipmanın dekontaminasyonu	%9.02	Standart prosedürler	Envanter %0,10
				Soy Kimliği %0.11
Hayvanlar	Hayvanların sayısı	%4.50	Donanım Bakımı	%0,34
	Hayvanların büyüklüğü	%4.50	Olay Müdahale Planları	%0,26
			KKD Programı	%0,19
			GLP	%0.20
	Birden fazla tür	%3.06	Yönetmek	Roller ve sorumluluklar %1,65
	Dökülme	%2.97		%0,59
			Taahhüt	
	Atık	%2.97	Dokümantasyon	%0,26
			Gözden geçir	0,53
			Tatbikatlar	0,26
		Hayvanlar	Ev sahipliği %7,01	
			yapmış %7,01	
			Manüpüle edilmiş %7,01	
			Taşınan İşlenmiş %7,01	

Ek 4.

Tablo 4.BioRAM anketi (Olasılık faktör, alt faktörleri, şiddet faktör, alt faktörleri)

Laboratuvar analisti olarak yaptığımız analiz sırasında prosedür ve laboratuvar risk azaltma önlemlerine göre aşağıdaki sorulara 0-1 arası puanlar veriniz. Cevaplarınız olasılık ve şiddet parametreleriyle birlikte risk düzeyinin hesaplanmasında kullanılacaktır.

No	Olasılık faktörünü belirleyen alt faktörler	Puanlandırma
1	Bu prosedürde hangi tip materyal kullanılmış olacak?	1=Saflaştırılmış biyolojik materyal 0,5=Tanı numunesi (kan, ürin, tükürük, doku vs.) 0,01= Çevre örneği (toprak, su)
2	Prosedürde bir anda mevcut olan en büyük malzeme hacmi nedir?	1=10 litrenin üzerinde 0,5=10 litreye kadar 0,01= Milimetre volüm
3	Bu prosedürün bir yan ürünü olarak aerosollerin oluşma potansiyeli nedir? (pipetasyon, sonikasyon)	1= Aerosol üretimi için kayda değer bir potansiyel üretilebilir. 0,25=Sınırlı miktarda aerosol üretilebilir. 0,01=Kullanımda aerosol oluşturabilecek prosedür yoktur.
4	Aerosolizasyon deneyi bu prosedürün bir parçası olarak yürütülüyor mu?	1=Büyük ölçekli aerosolizasyon deneyi yapılıyor. 0,5=Küçük ölçekli aerosolizasyon deneyi yapılıyor. 0,01=Herhangi bir aerosol deneyi gerçekleştirilmiyor.
5	Prosedürdeki kesicilerin miktarı nedir?	1=Kullanımda çok miktarda kesici alet (örneğin, bu prosedürde en az günlük olarak kullanılan neşter veya iğneler kullanılıyor). 0,5=Kullanımda az miktarda kesici alet (örneğin bu prosedürde neşter ve iğneler nadiren kullanılıyor). 0,01= Kesici alet kullanılmıyor.
6	Bu laboratuvarıda kırılabilir malzeme veya keskin kenarlı maddeler nelerdir?	1= Çok miktarda kırılabilir malzeme kullanılıyor (örneğin laboratuvarıda yaygın olarak kullanılan cam eşyalar). 0,5=Az miktarda kırılabilir malzeme kullanılıyor. 0,01= Laboratuvarıda kırılabilir materyal kullanılmıyor.
7	Bu prosedürde bir sıçrama veya dökülmenin potansiyeli ve kapsamı nedir?	1=Enfeksiyöz materyalin yüksek basınçta sürekli salımı için bir potansiyeli vardır. 0,75=Enfeksiyöz materyalin dökülme veya sıçrama potansiyeli var. 0,01= Laboratuvarıda dökülebilir formda malzeme mevcut değil
8	Biyosafety kabinleri bu prosedürde kullanılmakta mıdır?	0= Biyosafety kabini kullanılmamakta ya da yok. 0,25= Biyosafety kabini var fakat periyodik olarak kullanılıyor. 0,5=Biyosafety kabinleri var ancak kullanımları için resmi eğitim programları veya prosedürleri mevcuttur. 0,75=Biyogüvenlik kabinleri var ama amaçlı olarak sertifikalanmadı. 1=Biyosafety kabinleri daima kullanılır, rutin olarak doğrulanırlar, iyi korunurlar ve uygun kullanım için prosedürler vardır.
9	Bu prosedürde kullanılan tüm ekipmanların bulaşıcı aerosol üretme potansiyeli var mı? (örn. santrifüj, vorteksleyici, sonikatör aerosol kaçışını önleyecek şekilde izole edilmiş veya mühürlenmiş) (örn. BSC'de veya bir biyo-kabarcıkta vb. kullanımdan önce sızdırmaz rotor kapları ekipmanı)	0=Ekipman açık tezgahta veya açık bir alanda bulunur ve kullanılır ve dahili sızdırmazlık mekanizması yoktur. 0,25=Ekipman izolasyon içinde veya içten mühürlü (örn. Bir BSC ekipmanında kullanılır, sızdırmaz rotor cups, vb. kullanılır) ama kullanım için resmi prosedürler yoktur. 0,5=Ekipman izolasyonda (örn. kullanılmış bir BSC'de) veya içten mühürlü, ancak mekanizma doğrulanmadı. 1=Ekipman her zaman İzole edilir ve cihazlar doğrulanır ve iyi korunur.

10	Laboratuvarda bulunan bulaşıcı aerosolü azaltmak için önlemler mevcut mu?	1=Bu laboratuvardan atılan tüm hava, bakımlı HEPA filtreleri aracılığıyla sağlanır. 0,75=Bu laboratuvardan atılan tüm hava, başka bir alana yeniden sirküle edilmeyen ördek çalışmasıyla sağlanır. 0,5=Tüm laboratuvar havası yeniden sirküle edilmez, ancak özellikle ördek yoluyla dışarı atılmaz 0=Laboratuvar havası potansiyel olarak başka bir tesise veya topluluk alanına sirküle edildi.
12	Sıvı atık (atık) nasıl işlenir?	0=Sıvı atıklar laboratuvarda güvenli ve verimli bir şekilde işlenir 0,25=Sıvı atık, harici arıtma için laboratuvarı terk ediyor 1=Sıvı atıklar laboratuvardan çıkarılır ve işlenmez
13	Kirlenmiş atık nasıl işlenir	0=Kirlenmiş atıklar laboratuvarda güvenli ve verimli bir şekilde işlenir 0,25=Kirlenmiş atık, harici arıtma için laboratuvardan çıkıyor 1=Kirlenmiş atıklar laboratuvardan çıkarılır ve işlenmez.
17	Bu prosedürde bir sıçrama veya dökülmenin potansiyeli ve kapsamı nedir?	1=Enfeksiyöz materyalin yüksek basınçta sürekli salımı için bir potansiyeli vardır. 0,75=Enfeksiyöz materyalin dökülme veya sıçrama potansiyeli var. 0= Laboratuvarda dökülebilir formda malzeme mevcut değil.
18	Prosedürdeki kesicilerin miktarı nedir?	1=Kullanımda çok miktarda kesici alet (örneğin, bu prosedürde en az günlük olarak kullanılan neşter veya iğneler kullanılıyor). 0,75=Kullanımda az miktarda kesici alet (örneğin bu prosedürde neşter ve iğneler nadiren kullanılıyor). 0= Kesici alet kullanılmıyor.
19	Biyosafety kabinleri bu prosedürde kullanılmakta mıdır?	0= Biyosafety kabini kullanılmamakta ya da yok. 0,25= Biyosafety kabini var fakat periyodik olarak kullanılıyor. 0,5=Biyosafety kabinleri var ancak kullanımları için resmi eğitim programları veya prosedürleri mevcuttur. 0,75=Biyogüvenlik kabinleri var ama amaçlı olarak sertifikalanmadı. 1=Biyosafety kabinleri daima kullanılır, rutin olarak doğrulanırlar, iyi korunurlar ve uygun kullanım için prosedürler vardır.
21	Laboratuvarda bulunan bulaşıcı aerosolü azaltmak için önlemler mevcut mu?	1=Bu laboratuvardan atılan tüm hava, bakımlı HEPA filtreleri aracılığıyla sağlanır. 0,75=Bu laboratuvardan atılan tüm hava, başka bir alana yeniden sirküle edilmeyen ördek çalışmasıyla sağlanır. 0,50=Tüm laboratuvar havası yeniden sirküle edilmez, ancak özellikle ördek yoluyla dışarı atılmaz 0=Laboratuvar havası potansiyel olarak başka bir tesise veya topluluk alanına sirküle edildi.
22	İyi Laboratuvar uygulamaları ne düzeyde yapılıyor?	0=Bu laboratuvar, standart iyi laboratuvar uygulamalarını içeren prosedürler oluşturmamaktadır. 0,25= Bu laboratuvar, standart iyi laboratuvar uygulamalarını içeren prosedürler sınırlıdır. 0,5= Bu laboratuvar, bazı standart iyi laboratuvar uygulamalarını içeren prosedürlere sahiptir ancak uygulamada gözetimden yoksun. 1= Bu laboratuvar, standart iyi laboratuvar uygulamalarını içeren prosedürlere başarılıdır ve bu prosedürler çalışanların aşına olduğu ve uyguladığı iyi tanımlanmış prosedürlerdir
23	Sıvı atık (atık) nasıl işlenir?	0=Sıvı atıklar laboratuvarda güvenli ve verimli bir şekilde işlenir 0,50=Sıvı atık, harici arıtma için laboratuvarı terk ediyor 1=Sıvı atıklar laboratuvardan çıkarılır ve işlenmez
24	Mortalite oranları nedir?	1=High mortality (%75 ya da fazla) 0,75=Medium mortality(%15 'den %74'e kadar) 0,50=Düşük mortality (%1'den %14'e kadar) 0=Mortality yok

25	Normal sağlıklı bir insan konakçıda, hastalık belirtisi olmamasından kritik durumda hastaneye yatırılmasına kadar değişen hastalığın şiddeti nedir?	1=aşırı hastalık belirtisi (yaşamı veya ölümü sürdürmek için gerekli mekanik yardım) 0,75=yüksek hastalık belirtisi (işlev yapamıyor/hastaneye yatırılmış) 0,50=orta derecede hastalık belirtisi sınırlı bir şekilde işlev görebilir (yatak istirahati) 0,25=düşük hastalık belirtisi (işlev yapabiliyor ancak semptom gösteriyor) 0= hastalık belirtisi yok
26	Bu ajanın dozu, insan konakçı sağlığı üzerinde olumsuz etkisi olan toksin ve enzim üretimine sahiptir.	1= Evet 0,50=Bilinmiyor 0= hayır
27	İnsan için etkili teşhis testi var mı?	1= Evet 0,50=Bilinmiyor 0= hayır
28	Maruziyet sonrası tedavi yapın (bağışıklık globulin aşıları ve antimikrobiyal dahil)	0=Hiçbiri yok 0,50=Var. Ancak kısmen etkili olarak kabul edilir 1= Etkili maruz kalma sonrası tedavi mevcuttur
29	İnsan için önleyici tedbirler (aşılar) yapın	0= Koruyucu önlem yok 0,50= Var. Ancak kısmen etkili olarak kabul edilir (hastalığın etkisini engellemeyecek, ancak sınırlayacaktır ya da sadece küçük bir popülasyona etkilidir) 1= Etkili önleyici önlemler mevcuttur
30	Bu ajanın doğal ortamda insanda solunum yoluyla hastalığa etken olduğu biliniyor mu?	1=Tercih edilen güzergah 0,75=Olası bir güzergah 0,25=Bilinmiyor 0= Bir rotası yok
31	Bu ajanın doğal ortamda insanda sindirim yoluyla hastalığa etken olduğu biliniyor mu?	1= Tercih edilen rota 0,75=Olası bir rota 0,25=Bilinmiyor 0= Bir rotası yok
32	Bu ajanın doğal ortamda insanda temas yoluyla hastalığa etken olduğu biliniyor mu?	1=Tercih edilen güzergah 0,75=Olası bir güzergah 0,25=Bilinmiyor 0= Bir rotası yok
33	Bu ajanın doğal ortamda insanda perkütan yaralanma yoluyla hastalığa etken olduğu biliniyor mu?	1=Tercih edilen güzergah 0,75=Olası bir güzergah 0,25=Bilinmiyor 0= Bir rotası yok
34	Tüm yollar için enfeksiyöz dozu LD50 1000 'in altında mı yoksa bilinmiyormu?	1=LD50 1000 altında ya da bilinmiyor 0=LD50 1000'in üstünde