



ANKARA YILDIRIM BEYAZIT UNIVERSITY
JOURNAL OF TURKISH OPERATIONS MANAGEMENT

ISSN 2630-6433 e-ISSN 2630-6433

JOURNAL OF TURKISH OPERATIONS MANAGEMENT

YEAR: 2022

VOLUME: 6

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 Beyazit University, Turkey	metegundogan@ybu.edu.tr
Prof. Dr. Ergün Eraslan	Department of Industrial Engineering, Ankara Yildirim Beyazit 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.



ANKARA YILDIRIM BEYAZIT UNIVERSITY
JOURNAL OF TURKISH OPERATIONS MANAGEMENT

ISSN 2630-6433 e-ISSN 2630-6433

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

Impact, benefits and challenges of IoT for Logistics and Supply Chain Management Göknur Arzu Akyüz, Buse Biçer	1153-1171
A study to measure the economic effects of COVID-19 on the textile industry: Comparative evidence from Bursa and Gaziantep Melike Bulur, Eren Özceylan, Cihan Çetinkaya	1172-1183
Airport terminal flow simulation: impact analysis of self-service check-in technologies usage past and during the Covid-19 pandemic Niyazi Cem Gürsoy, Savaş Ateş	1184-1195
Hizmet Kalitesinin Sayısal Yöntemlerle Ölçümü: Servqual Ölçeği ve İstatistiksel Analiz ile Hizmet Sektörü Örneği Emre Ekin, İlayda Gökçe Cesur	1196-1211
A study on supply chain applications in the health sector Betül Mutlu, Bahar Özyörük	1212-1229
Lifetime Extension Approach for decreasing e-wastes Sermin Elevli	1230-1238
Fuzzy linear programming approach for the capacitated vehicle routing problem Fatih Öztürk, Seçkin Ünver	1239-1251
An Inventory Optimization Model for a Textile Manufacturing Company Adem Pınar, Durdu Hakan Utku, Fatih Kasımoğlu	1252-1262
Paylaşımli konaklama hizmetlerinde algılanan risklerin incelenmesi Barış Özgür Duyu, Çiğdem Kadaifçi	1263-1276
Evaluation of the Airline Website Quality with the Intuitionistic Fuzzy TOPSIS Method Eda Çınaroğlu, Fulya Zaralı	1277-1296
Personel Atama Problemi: Bir Kamu Kurumu Uygulaması Cemil Şimşek, Berna Dengiz, Esra Karasakal, Yusuf Tansel İç	1297-1313
Ekip çizelgeleme problemi: Filyasyon ekibi çizelgeleme Müberra Koçak, Feyzanur Calku, Merve Gündaş, Zümra Poyraz, Emre Yazıcı, Hacı Mehmet Alakaş	1314-1326
Entropi Tabanlı TOPSIS VE VIKOR Yöntemleri İle Bankaların Finansal Performanslarının Değerlendirilmesine İlişkin Bir Uygulama Emre Ekin, İlayda Gökçe Cesur	1327-1344



ANKARA YILDIRIM BEYAZIT UNIVERSITY

JOURNAL OF TURKISH OPERATIONS MANAGEMENT

ISSN 2630-6433 e-ISSN 2630-6433

Amerika Havayolu Yolcu Milinin LSTM Modeli Kullanılarak Tahmini Bülent Sezen, Nalan Yüce	1345-1360
Capital Budgeting of Independent Projects with Budget Limitation Under Intuitionistic Fuzziness Elif Haktanır	1361-1372
İki kriterli en kısa yol problemi ve bir uygulaması Hakan Gürsoy, Ekrem Duman	1373-1389
İnsan hata yapma olasılığına dayanan yeni bir risk değerlendirme metodu: SPC-HEART S. Cihan Köseoğlu, Elif Kılıç Delice	1390-1409
Bir Otomobil Bakım Servisinde Müşteri Randevu Planlaması İçin Model Önerisi İbrahim Yılmaz	1410-1423
OECD yetkinlik çerçevesinin Türkiye'deki kâr amacı gütmeyen örgütler bağlamında analizi İhsan Aytekin	1424-1443



Journal of Turkish Operations Management

Impact, benefits and challenges of IoT for logistics and supply chain management

Goknur Arzu AKYUZ^{1*}, Buse BICER²

¹ Department of Logistics Management, Faculty of Business Administration, University of Turkish Aeronautical Association, Ankara, Turkey

e-mail: arzu.akyuz@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0003-2024-5884>

² Department of Logistics Management, Faculty of Business Administration, University of Turkish Aeronautical Association, Ankara, Turkey

e-mail: bicerrbuse@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0003-2750-2804>

*Corresponding author

Article Info

Article History:

Received: 20.01.2022

Revised: 23.05.2022

Accepted: 20.06.2022

Keywords:

IoT (Internet of Things),
SCM (Supply Chain
Management),
E-logistics,
Benefits,
Challenges

Abstract

Smooth flow, integrity, and traceability of the processes in supply chain (SC) and logistics management is vital for Supply Chain Management (SCM). Companies are looking for and utilizing new technological applications for end-to-end management of the entire set of SC processes and assets to ensure on-line and real-time monitoring across processes and partners. Therefore, this article comprehensively addresses the role and impact of the Internet of Things (IoT) on SCM via a comprehensive literature review. The applications of the IoT term in the SC are examined in detail, and its benefits and challenges are discussed from SCM perspective. The findings reveal the dramatic impact that IoT has on SC processes as one of the most essential technologies of the twenty-first century.

1. Introduction

Due to the emergence of global markets, a sharp competition environment has been created. Since businesses are not self-sufficient, global, and competitive environment steers the workflow through the SC (Abdel-Basset, Manogaran, and Mohamed, 2018). SC function in a dynamic and turbulent environment and are exposed to a variety of risks at every level (Ben-Daya, Hassini, and Bahroun, 2019). Thus, SC processes should be planned, executed, and controlled in seamless coordination and integration. Delivering the right product to the right consumer in the appropriate volume, at the right location, and at the right time is what SCM entails (Wu et al., 2016) under complex and dynamic environments, with customer demands changing rapidly, rapid changes occurring in technology and new products being introduced to the market at significant speeds.

In this context, providers of logistics that can transport products by air, land, sea, and rail form wide and complex networks, and it is vitally important to reach information quickly in order to make the right decision across wide logistics network. (Lacey et al., 2015). The fact that the process gets stucked at one point will affect the entire value creation chain and competitiveness. Therefore, material flows and logistics processes both within the enterprise and across partners are to be optimally managed (Gunasekaran and Ngai, 2004; Erkan,2014). This can be achieved by making the SC smart.

Smart SC can be defined as a modern, networked system that extends from standalone, regional, and sole proprietorship applications to the broad and systematic application of SC (Abdel-Basset et al., 2018). In this

context, information technology (IT) assumes a vital role in the supply chain's effective management (Ross, 2002). IT has the power to improve SC performance by integrating various processes and partners both internally and outside, as well as through increasing communication, data and information collecting and transfer (Williamson, Harrison and Jordan, 2004). Consequently, one of the most important and new developments in information technology is the IoT.

Kevin Ashton invented the term "Internet of Things" in 1999 (Keary, 2016) to describe a "network of physical things embedded with sensors, software, and other technologies that can connect and exchange data with other devices and systems over the Internet". These devices include everything from standard household goods to complex industrial machines (Boyes et al., 2018). Within IoT context, SC visibility can be characterized as a group of physical items digitally connected for sensing, tracking, and interaction among information exchange (Da Xu, He and Li, 2014). This facilitates the planning, control, coordination, and traceability of SC processes across partners, with the integration of many technologies such as radio frequency identification (RFID), sensors, quick response (QR) codes, cloud, robotics, 3D printers and various ERP/SRM (enterprise resource planning/ supplier relationship management) and customer relationship management (CRM) solutions allowing for analysis and decision support.

With this understanding, this article focuses on impact, benefits, and challenges of IoT from logistics and SCM perspective.

The following is the section structure for the rest of the article: Section 2 describes the research methodology. Section 3 examines the impact and benefits of IoT from a logistics and SC perspective. Section 4 introduces main IoT applications. Section 5 includes main challenges of the IoT. Section 6 reviews the future of the IoT in the SC. Section 7 includes the discussion. Section 8 provides conclusion and further research suggestions.

2. Methodology

The focus of this article is to provide a systematic review on the impact of IoT technology on SC and logistics management. Hence, the systematic literature survey conducted in this study attempts to answer the following research questions: a) What are the impacts and benefits of IoT from logistics and SC perspective? b) What are the main IoT applications used in logistics and SC domain? c) What are the challenges of utilizing IoT technology in managing the SC processes? d) How are the IoT applications in logistics and SC expected to happen in the future?

The systematically reviews and analyzes the literature from academic articles, conference proceedings, book chapters and company reports, seeking to provide a complete and reliable overview (Abdel-Basset et al., 2018). Thus, criterion for obtaining and including the journal papers and conference papers in the review is that they have a strong affinity with the IoT, logistics and SC processes.

In this context, the reference list includes resources addressing the following dependencies among these concepts, and revealing the nature of IoT-SC coupling:

- The relationship of the SC with the IoT
- Benefits of IoT on SC processes
- Holistic challenges of IoT in this area
- IoT applications in SC and logistics management
- The impact of future IoT applications on the SC

The articles used in this study are searched from ScienceDirect, IEEE Xplore and Google Scholar using the following search terms:

- "IoT impact on SC and logistics management"
- "IoT"
- "IoT in the SC"
- "IoT applications in SC and logistics", and
- "IoT in the future"

The article collection and analysis process took place between March and December 2021. The following table offers the distribution of resources with respect to type:

Table 1. Distribution of resources with respect to type

Articles	72
Book chapters	4
Conference papers	20
Web links	17
Thesis	1
White paper	1
Report	2
Total	117

3. IoT impact and benefits from logistics and SC perspective

There are various discussions in the literature about the role of IoT in the SC. According to Morgan, the IoT is a technological concept connecting various devices with the ability to use software and automated processes for smart practices, turning the web on and off (Morgan, 2014). This means that integration of abundance of devices and objects within IoT and SC context opens unprecedented businesses opportunities (Abdel-Basset et al., 2020). The literature review by Ben-Daya, Hassini, and Bahroun (2019) shows that IoT in the context of SCM is conceptualized only with minimal experimental or exploratory studies.

The concept of IoT can be considered into three basic parts: internet-oriented (middleware), object-oriented (devices, sensors) and semantically oriented (information) (Atzori, Iera, and Morabito, 2010). IoT has grown in popularity since the introduction of wireless technology (Anirudh, Pandey, Sodhi, and Bagga, 2017), and IoT and associated technologies are strongly linked with the service-oriented architecture SOA (Yuqiang, Jianlan, and Xuanzi, 2010).

It is generally supported in literature that adopting IoT solutions can provide more transparency in business processes and greater visibility in information and material flows (Ahmed et al., 2021.; Haddud et al., 2017; Lacey et al., 2015). In this way, various studies, both in the services and industrial industries, support the theoretical benefits by highlighting better accuracy, real-time information availability, and more effective operational operations performed along the forward and backward flow of physical products. (Haddud et al., 2017). IoT is also supported to increase the worker safety. Thanks to IoT sensor-based applications, employees are informed of accidents and find solutions as quickly as possible. In addition, wearable devices that can monitor human health and environmental conditions also become part of today's logistic systems (Haghi, Thurow, and Stoll, 2017).

The IoT impact and benefits from the logistics and SC perspective are expounded in detail in the Table 2 below.

Table 2. IoT impact and benefits

Fields	Impact & Benefits	Related Supporting Technologies	Source
Transportation and Logistics	Transportation visibility between across partners the whole chain. (full logistics traceability)	RFID, sensor-based technology, near field communication (NFC).	Ellis, Santagate, and Morris, 2015; Govinda and Saravanaguru, 2016; Al-Dweik et al., 2017
	Ability to monitor the vehicle's location and condition, tracking package conditions.	Smart vehicle monitoring system (SVMS), telematics sensors, multi-sensor tags, 4G, GSM/GPRS module.	Macaulay, Buckalew, and Chung, 2015; Mallidi and Vineela, 2018; Wang et al., 2016; Manoj Kumar and Dash, 2017.
	Reduced RFID scanning and recording times by more than 300 percent.	RFID tags, sensors, smartphones.	Tadejko, 2015; Yan et al., 2014.

	Quality assurance, real-time responsiveness, and cost optimization.	RFID, time-temperature integrators (TTIs), wireless sensors, smart packaging.	Giannakourou and Taoukis, 2003; Shih and Wang, 2016; Bogataj, Bogataj, and Hudoklin, 2017.
	Fleet management and route optimization by reducing the transportation distances and fuel consumption.	Vehicle tracking systems, GPS (Global Positioning System), RFID, mobile scanners, GIS (Geographical Information Systems), CTF (Control Total Fleet).	Manoj Kumar and Dash, 2017; Tadejko, 2015; Vivaldini, Pires, and Souza, 2012; Almomani et al., 2011.
	End-to-end SC risk management.	Sensor networks, cloud centralized database.	Macaulay, Buckalew and Chung, 2015; Tsang et al., 2018.
	Keeping track of temperature in food, beverage, flower, and pharmaceutical industries throughout the entire logistics cycle.	TTIs, temperature data loggers, RFID.	Popa, et al., 2019; Mijanur Rahman et al., 2018; Hasanat et al.
Warehousing	More than 1000% savings in transaction times via high speed, technology-oriented applications.	QR-code scanner, RFID tags, wireless connection, mobile and desktop application, temperature sensors, cloud service.	Mostafa, Hamdy, and Alawady, 2019; Macaulay, Buckalew, and Chung, 2015; Wu et al., 2020.
	Collaborative warehousing	Smart things, multi-agent systems, RFID.	Reaidy, Gunasekaran, and Spalanzani, 2015; Mostafa, Hamdy, and Alawady, 2019.
	Prevention of possible accidents by determining risks in advance.	Sensor node, RFID tag, RFID reader, automated guided vehicle (AGV).	Dutt, 2019; Trab, et al., 2018.
	Monitoring inventory data, equipment, and vehicles with digital voice.	Mobile devices, RFID tagged, voice picking systems.	Tadejko, 2015; Wong, 2016.
	More efficient transfer and loading processes of the packaged products.	Autonomous systems, RFID, cloud computing, artificial intelligence (AI).	Mostafa, Hamdy, and Alawady, 2019; Song et al., 2020.
Inventory Management	Reducing inventory levels throughout the SC.	QR Code, RFID.	Jayaram, 2017; Haddud et al., 2017.
	Better inventory management, control, and real time visibility	RFID, blockchain, cloud, wireless connectivity, big data.	Dasaklis and Casino, 2019; Jayaram, 2017; Fernández-Caramés et al., 2019.
	Enabling VMI through real time visibility	Smart things, cloud, big data.	Jayaram, 2017; Fernández-Caramés et al., 2019.

Production	Enabling visibility and transparency of different production stages and workflows based on real-time shop-floor information.	RFID readers, sensors, cyber-physical systems, cloud.	Zhong, Xu and Wang, 2017; Ahmed et al., 2021; Tu, Lim and Yang, 2018.
Maintenance	Allowing continuous monitoring of equipment, remote monitoring, machine condition monitoring and anomaly detection in real time for predictive failure analysis.	Sensors, cloud-based, big data.	Rio and Banker, 2014; Tedeschi et al., 2016.
	Enabling improved equipment uptime and accurate failure prediction for predictive maintenance.	Big data, monitoring chips, sensors, machine learning algorithms.	Song et al., 2020; Grizhnevich, 2018; Lee, Lee and Kim, 2019.
Purchasing/ procurement	Enabling real time and fast feedback in purchasing.	Industry 4.0, business intelligence (BI).	Gottge, Menzel, and Forslund, 2020; Osmonbekov and Johnston, 2018.
	Improving purchasing performance, developing an effective energy consumption system, and diversifying resource allocation.	Industry 4.0, BI.	Gottge, Menzel, and Forslund, 2020; Zhou et al., 2019.
SRM	Real-time data exchange and visibility with the suppliers. Suppliers can choose which monitoring services can access their equipment and ensure that they are working on their own system. SRs become more attentive to client expectations as a result of the real-time data offered by IoT.	Cloud server, sensors, RFID, big data.	Chen, et al., 2018; Lee, 2019.
Distribution Channels	Providing an ideal platform for decentralized administration of warehouses in distribution areas.	Big data, cloud computing, active distribution network (ADN).	Li, Shahidehpour, and Liu, 2018; Reaidy, Gunasekaran, and Spalanzani, 2015.
	Providing intelligent management in the SC process by integrating technical equipment such as intelligent distribution centers, intelligent transportation, automatic separation equipment and information processing systems.	Distributed energy resources (DERs), near-field communications, wireless sensor networks, RFID, big data.	Li, Shahidehpour, and Liu, 2018; Want, 2006; Tsang, et al., 2018.

	Providing a higher level of security, efficiency, and convenience for distribution channels in SC processes.	Active distribution network (ADN), DERs, near-field communications, wireless sensor networks, RFID, cloud services.	Li, Shahidehpour, and Liu, 2018; Want, 2006; Liu, Zhang, and Wang, 2018.
After-sales service	Maximizing profit while providing efficient control of information flow in the after-sales process.	RFID, fog Computing, cloud.	Hu, et al., 2018; Curtin, Kauffman, and Riggins, 2007.
	Supporting business goals, system architecture design and evaluation.	RFID, thing-to-cloud communication (TCC), wireless sensor networks (WSN).	Hu, et al., 2018; Curtin, Kauffman, and Riggins, 2007.
	Ensuring customer loyalty and profitability by making decisions based on real-time data.	WSN, big data.	Yerpude and Singhal , 2017; Hu, et al., 2018; Nedelcu, 2013.
CRM	Ability to create meaningful reports by using huge amounts of IoT data, such as consumer information and contextual inputs and historical corporate data.	Big data, sensors, cloud-based software.	Rizvi , 2017; Yerpude and Singhal, 2017.
	Enabling improved reports for customer behavior, place and demands by using real-time data from the IoT.	Big data, sensors, cloud-based software.	Rizvi, 2017; Yerpude & Singhal, 2017.

The above table shows that IoT provides benefits to enterprises by affecting the operations of almost every transportation, logistics and SC-related processes (Grawe, 2009). It became evident that, core material management related processes, as well as supplier-centric and customer centric processes. Factors such as inventory accuracy, real-time information, increased efficiency, and productivity, and reduced human intervention are very effective in many different processes in logistics and SC operations (Vass, Shee, and Miah, 2020). Undoubtedly, these concepts are critical for SC operations consisting of consecutive and interconnected links. Hence, it is evident that almost all of the SC processes are affected by the IoT.

4. Main IoT application areas

Companies use many technologies within the context of IoT connectivity in every part of their chain. IoT applications cover many issues such as synchronous shipment tracking, route optimization, warehouse capacity optimization, predictive asset maintenance, and many more (Tadejko, 2015). Within IoT philosophy, companies can achieve unprecedented levels of visibility in almost every aspect of their applications, thanks to connected devices, embedded sensors, and analytical technologies (Kooimey, Matthews, and Williams, 2013). With real-time visibility, logistics providers can engage in more informed decision-making processes, and they can interact with customers better. Hence, a variety of IoT applications are witnessed in areas such as the pharmaceutical SC (Datta, 2016; Siddiqui et al., 2021), retail industry (Shin and Eksioğlu, 2015), construction industry (Woodhead, Stephenson, and Morrey, 2018) and petrochemical industry (Li, 2016). In the following subsections, IoT applications used in logistics and SC processes are discussed under three most widely used areas of practice: a) transportation and fleet management, b) warehouse management, and c) equipment and employee monitoring.

4.1 Transportation and fleet management

Transportation and fleet management have multiple critical applications for both inbound and outbound material flow. Vehicles are among the most critical assets requiring higher efficiency for transportation and fleet management, and directly affect the inbound and outbound performance of the SC. Hence, on-line and in real time

vehicle visibility, as well as vehicle-infrastructure integration, have been vital applications for the use of sensor-based data (Macaulay, Buckalew, and Chung, 2015). While fleet vehicles are the power behind mobility in commercial and public areas, fleet managers have an important role in organization and supervision in terms of performance, maintenance, and monitoring purposes. IoT makes a great contribution to fleet management with its ability to connect vehicles and retrieve various data on vehicle performance, route, passengers, and cargo (Alrifai et al., 2018).

Seoul City Transportation Information Center (TOPIS) and smart port initiatives at Hamburg are two remarkable examples on the IoT in logistics, according to the report prepared in cooperation with DHL and Cisco (Macaulay, Buckalew, and Chung, 2015). Seoul City Transport Information Center (TOPIS) was created in 2004, which evolved from the bus management system. This transport information center is in charge of collecting and maintaining information for all modes of public transportation in order to provide efficient public transportation services. TOPIS uses road sensors, GPS devices, loop detectors, video, and citizen reports to collect data from streets, buses, taxis, and residents. In this way, passengers can access bus arrival times 7/24, allowing them to choose their route and which buses to take. This system has increased public transportation efficiency and improved flow while also increasing customer satisfaction (Paterlini et al., 2015). Fleet management is also very important in ports as well as bus management systems. In this context, fleet management initiatives are carried out in Hamburg, Europe's second busiest port. With the developed smart port initiative, efficiency was increased, and the port was prepared for additional development. The initiative's overarching purpose is to keep the Hamburg Port Authority's IT infrastructure up to date, modernize it, and improve it in order to promote efficient operations and economic development. The Hamburg Port Authority provides parking and traffic information to drivers by installing more than 300 road sensors to monitor port traffic and bridge wear. Furthermore, sensors provide a solution integrating road traffic data into waterways to help manage potential disruptions (Macaulay, Buckalew, and Chung, 2015).

In the similar direction, Microsoft argues that Azure IoT, which uses its developed services such as Azure IoT Edge, Azure IoT Hub, Azure Machine Learning and Azure Map, will make a great contribution to fleet operations. IoT enables management, analysis and predictive maintenance of daily operations using real-time appliance and location information provided with Azure Map. Fleet managers can monitor dozens of vehicles located in different parts of Europe to see if there is a problem in the fleet with warnings. In addition, the fleet manager can learn information such as the route of the vehicle, the name of the driver, the departure and arrival point, the first projected arrival time, the delayed arrival time, and the sort of load the route is designed for. In this way, it can see the problem in any mishap and intervene in the process (Sergi et al., 2021).

4.2 Warehouse management

Warehouses are always critical in the flow of goods in the SC. Today's logistics providers strive to provide their customers with quick, cost-effective, and flexible warehousing operations, which is a source of competitive advantage. Since a multitude of different kinds and forms of goods need to be received, processed, and delivered quickly, appropriate technologies must be used. Thus, warehouses are one of the most critical areas to launch IoT applications and take advantage of technology's opportunities (Macaulay, Buckalew, and Chung, 2015).

Businesses can give a digital voice to their physical assets via IoT-enabled tools designed to monitor inventory data, equipment, and vehicles in warehouse management (Tadejko, 2015). Unique identification of the data source gives the system the power to interact at the sensor level and further create its own interaction history. Currently, sensors have undergone significant improvements to enable business logic to be configured and executed in the same way (Sundmaeker et al., 2010). Therefore, sensor technology is the one which stands out among many technologies with their real-time data capture capability, enabling real-time data collecting from sensors with unique identifiers to detect the point of the data source (Yerpude and Singhal, 2017). There is an interaction between the sensors placed in appropriate places in the warehouse and the digital identifiers that form the basis and reveal inventory movement tracking. Within the IoT context, RFID has also a vital place along with sensors in warehouse management. Owing to smart racks and RFID tags that can track parts, IoT can generate real-time data consumed by various applications and analytical business models (Sundmaeker et al., 2010). In addition, the use of low-cost, small identification appliances such as RFID in warehouses and the adoption of tagging at the pallet or product level supports IoT-driven smart inventory management (Macaulay, Buckalew, and Chung, 2015).

IoT-enabled warehouses have a wide range of effects on SC operational efficiency. It is a great advantage that product location and packaging integrity can be followed, and equipment malfunctions can be detected and signaled early. In this context, Oracle, which provides services in the field of business analysis and software, demonstrates the benefits of IoT application in warehouses such as supply transparency, predictive maintenance,

and real-time product tracking (Ray, 2016) In addition to this, applications of smart glasses, and autonomous mobile robots (AMR) significantly affect warehouse automation, efficiency, and accuracy (Dutt, 2019). Smart glasses allow warehouse directors to see visual depictions of order picking instructions and product location information. This brings improved collection accuracy and performance. Autonomous mobile robots, on the other hand, can operate on their own and use sensors and cameras to navigate. Autonomous robots include an integrated browser where they validate the selected item, reducing the workload of warehouse workers (Murauer, 2019; Rauschnabel, Brem, and Ro, 2015).

Keeping thousands of items that can help you stay connected is possible, thanks to the availability of wireless networks and compact computer chips. This is highly important for global companies such as Amazon, DHL, and Alibaba to take their inventory management to the next level. Therefore, these global companies use IoT technology. For example, Amazon, an important global technology organization focusing on e-commerce, cloud computing, and artificial intelligence, employs a warehouse where robots function with store managers and simple jobs like barcode scanning and package delivery are delegated to IoT devices. In this way, warehouse managers can easily track inventory and increase their productivity, making SC processes smoother and more efficient (Dutt, 2019).

4.3 Equipment and employee monitoring

Another main class of IoT applications in logistics is equipment and employee monitoring, which has great benefits such as real time monitoring and increased safety and security (Macaulay, Buckalew, and Chung, 2015). Ben-Daya, Hassini and Bahroun (2019) argue that tracking can detect product losses, correct quantities can be guaranteed, and monitoring product status will ensure the right quality. Real time equipment monitoring allows for continuous machine condition monitoring and anomaly detection for predictive failure analysis (Rio and Banker, 2014; Tedeschi et al., 2016; Lee, Lee and Kim, 2019.) Zhang and Sun (2013) highlight that real-time data monitoring and optimization will have benefits such as reducing waste of production resources, reducing logistics costs, and increasing risk and transportation efficient. In this way, it will be easier to respond to unforeseen events, act at the right time and provide the necessary visibility that ensures the optimization of the entire process.

The predictive software used by Union Pacific, the largest railway in the United States, to reduce train crashes can be given as a specific example. Union Pacific argues that with this software program, it can predict the probability of derailments to occur days in advance, and thus, millions of dollars of damage can be prevented by increasing security (Murphy, 2012). This software enables the analysis of data from acoustic and visual sensors located under each of the wagons (Hickins, 2012). Similarly, possible threats of irregularities in the bearings or tracks being detected can be notified to train operators within five minutes (Macaulay, Buckalew, and Chung, 2015).

IoT devices also allow their managers to monitor personnel's physical safety using wearable devices and vital sensors. For instance, managers will be able to protect employees from exposure to toxic substances or to easily evaluate the performance of the employee and follow their break times (Awolusi et al., 2019). As a result of the cooperation of companies, new applications are created, contributing greatly to supply and logistics processes. Narrowband Internet of Things (NB-IoT) application by DHL SC and Huawei Technologies can be given as an example with successful outcomes. DHL and Huawei have integrated NB-IoT chipsets into their systems, allowing for a simple and cost-effective deployment that utilizes popular cellular telecommunications bands. In addition, these chipsets include vehicle detectors that do not necessitate infrastructure expenditure. Thanks to this, net dock availability can be automatically collected in real time at each terminal, giving dispatchers and drivers visibility. When a truck arrives, the driver can use an application on his phone to check in and receive a queue number as well as an expected wait time, and dock availability with real-time status updates are automatically obtained. Furthermore, incoming trucks can be prioritized based on the demands of the production site, and shipments can be unloaded at the most appropriate pier. This reduces waiting time for drivers in half, when materials arrive on schedule and resources are maximized effectively, considerably minimizing the chance of production delays (DHL, 2017).

5. Main challenges of the IoT

Although there is a great interest in technologies like IoT, big data, 3D printing in the SC, integrating built-in systems and operations with advanced technologies while planning SC pose challenges to managers (Haddud et al., 2017)

According to Tadejko, these challenges range from contextual applications to techniques and security and privacy issues in a context, where everything is interconnected, and contact information and data related to the local environment are sent to a distributed cloud computing system (Tadejko, 2015). Undoubtedly, putting technology

into application requires handling managerial, organizational, and technological aspects simultaneously, and this involves business process reengineering, project management skills and handling organizational change. here may be a lack of skills and expertise and adopting a new technology and integrating it with other technologies can be difficult for employees. This hinders and significantly delays the implementation and adoption of IoT (Balestrini et al., 2015). Therefore, it is vital to manage all kinds of technological problems that may occur withing a managerial and organizational perspective.

Within this context, main technology-related challenges are detailed in Table 3 under three main categories of privacy and security, scalability, and technological compatibility.

Table 3 IoT challenge areas from technical perspective

Challenges	Description	Source
Privacy and Security	Difficulties of authentication, authorization, privacy, system access to applications, network, and data. Significant obstacles in terms of determining who has access to what and with what credentials.	Alaba, 2017; Tadejko, 2015; Tawalbeh et al., 2020; Sandeep, Kumar, and Kumar, 2020.
	Device and network security risks and vulnerabilities. IoT devices and platforms should be protected from both information and physical breaches, which necessitates the use of security technology.	Haddud et al., 2017, Tawalbeh et al., 2020; Alaba et al., 2017; Radovan and Golub, 2017.
	Many IoT devices have limited storage space, memory, and processing capacity. Security approaches that rely heavily on encryption may not be suitable for these restricted devices.	Gerber and Kansal, 2020; Wang et al., 2019.
	Long-lived device management is extremely difficult, especially if a security flaw is discovered that cannot be fixed within that IoT endpoint.	Tawalbeh et al., 2020; Alaba et al., 2017.
Scalability	As the IoT system connects devices and provides multiple applications over the internet, it can pose design and growth challenges in order to meet scalability and flexibility in response to changing environments and people's needs.	Gupta, Christie, and Manjula , 2017; Bao, Chen, and Guo, 2013; Ravulakollu et al., 2018.
	Failure to determine criteria such as the working conditions of the device, how it will be served, what operational needs and costs it will require may affect scalability operational costs.	Oueslati, 2020; Tran et al., 2020; Gupta, Christie, and Manjula, 2017.
	Ensuring integration with the existing systems, including legacy systems.	Clement, McKee, and Xu, 2017; Banafa, 2017; Chopra, 2020.

Technology compatibility	When connecting devices, extra hardware and software may be required.	Tadejko, 2015; Farahani, Meier, and Wilke, 2017.
	Integration of smart 'network enabled' objects under severe energy and environmental constraints.	Banafa, 2017; Koley and Ghosal, 2015; Tadejko, 2015.
	Availability of personnel with the necessary technological competence and expertise.	Balestrini et al., 2015; Taivalsaari and Mikkonen, 2018.

These challenges must be overcome when using IoT in the SC to ensure that the process runs smoothly. In this context, for the security problem, one of the most common difficulties, SAP author Velzen suggests 5 solutions; a) Manage the risks that may be encountered in security applications correctly. b) limit device-to-device communication, c) retain control over the IoT infrastructure, d) use encryption from end-to-end, and e) leverage existing expertise (Velzen, 2017). In addition, in the article published by IBM, authorizing and authenticating devices, managing device updates, determining strategies to detect security vulnerabilities in advance are also highlighted to be essential to cope with the challenges (Gerber and Kansal, 2020).

6. The future of the IoT in the SC

The concept of IoT has evolved greatly in time (SAP, 2017), and when the term IoT was first introduced, few could grasp and imagine how wireless connectivity of devices would shape business and human life. In the previous sections, it was explained how it integrates data and information regarding the on-line and real-time management of all SC processes, including design, procurement, production, and delivery of innovative products. In the future, the increased assimilation of the technology based on automation will enable an entirely new era in the smart systems evolution (Majeed and Rupasinghe, 2017; Shah, 2020).

The conclusion from SAP's research into what the future SC should look like is that customers must create durable, robust, flexible, and sustainable SC. For this, 4 items are suggested to be done (Hero, 2021):

- Being more agile to detect, anticipate and respond to disruptions.
- Increasing productivity with the digitalization of industrial companies (Industry 4.0).
- Improving connectivity with business partners to enable next-level collaboration.
- Conducting sustainable business practices.

In this context, IoT sensors are a critical component of Industry 4.0, which is still the most recent trend toward digitization in manufacturing and logistics (Matthews, 2020). They provide visibility, speed, responsiveness, real time tracking and cooperation in SC processes. In their future factory concept within IoT, Majeed and Rupasinghe (2017) argue that future factories will involve complicated processes, process networks, machines, sensors, robotics, and devices, and that this system will necessitate new operational principles for a better human-machine connection. In this approach, in the future success and competitive advantage will be determined by rapid, smart, and self-adapting production processes.

In addition, it is mentioned that applications like smart transportation system, clever city design, intelligent monitoring and smart security will be realized through IoT (Khan et al., 2012). It is argued that with the smartness of the entire system, it will provide benefits such as discovering emergency routes, safer human and asset tracking, mobile emergency command and timing tracking, and tracking vehicle rules violations. These smart systems brought by IoT will enable easier tracking of SC processes, communication between units in the chain and continuing more smoothly.

Consequently, there is wide consensus that future of SC will be shaped around the ideas of IoT and smartness.

7. Discussion

Previous sections highlighted that while it is very important that SC processes run smoothly, it involves challenges. IoT provides unparalleled visibility into all components and processes of the SC with early warnings of internal and external circumstances that require improvement (Ben-Daya et al., 2019).

The first contribution of this research is to establish the link between the SC and IoT. In line with the inferences, it has been seen that the IoT has drastically altered warehouse and inventory management by closely integrating transportation, distribution, and CRM systems (Yang, Yang, and Plotnick, 2013; Banker, 2014; Parry et al., 2016; Aryal et al., 2018). The second contribution of the research is that many companies in the logistics and SC can apply technologies based on IoT-related data in every part of the chain. As exemplified in the IoT applications section in SC processes, IoT can be applied in many areas such as route optimization, real-time cargo tracking, storage capacity optimization, predictive asset maintenance. These applications demonstrate the benefits of adopting and integrating IoT technologies in SCM. IoT enables the interconnection of logistics processes by allowing sensors, connectivity, and human processes to interact, enhancing SC performance dynamics in terms of cost, quality, delivery, and flexibility (Vass, Shee, and Miah, 2021). Literature strongly supports that the sectors in which IoT is used are numerous, and the benefits obtained are quite significant (Ben-Daya et al., 2019; Macaulay, Buckalew, and Chung, 2015).

In addition to these benefits, it cannot be denied that some difficulties and challenges are encountered, one of the most critical ones being the security (Tellis, 2006). In section 5, challenges were grouped under 3 main headings, namely privacy and security, scalability, technology level and compatibility. Difficulties under these 3 main headings have been discussed, touching upon the uncertainty of technologies, security of data, easy adaptation, scaling operational costs in the literature review of many researchers (Banafa, 2017; Gerber and Kansal, 2020; Gupta, Christie, and Manjula, 2017; Alaba, 2017). These difficulties must be overcome in order for the process to continue smoothly (Haddud et al., 2017). Otherwise, it jeopardizes the entire idea of the linked, traceable process (Tadejko, 2015). In addition, considering the potential risks before adopting and implementing IoT helps preparing for the problems that may be encountered for the management of SC process (Haddud et al., 2017). It is obvious that if these challenges are overcome and companies are prepared for the challenges in advance, the impact of IoT in the SC and logistics will increase exponentially. This is supported by forward-looking research, such as smart factories (Majeed and Rupasinghe, 2017), smart cities (Khan et al., 2012), and smart SC processes (Hero, 2021).

8. Conclusion and further research suggestions

This paper which has focused on the effects of IoT in logistics and SCM areas revealed that IoT has emerged one of the most significant technologies of the 21st century in recent years (SAP, 2017). The primary goal of this research was to investigate the IoT concept in SC processes and applications, with its benefits, challenges, and predictions for the future. IoT was examined within the scope of SCM, and various applications in managing the SC processes and the values provided for these processes of the chain are explained with examples. These applications demonstrate the benefits of adopting and integrating IoT technologies in SCM. Evidently, IoT seems to affect the sustainability (economic, environmental, and social) of companies (Vass, Shee, and Mia, 2021; Formanek, 2019). Challenges related with the implementation and suggestions to overcome were also mentioned.

Findings reveal that assimilation and application of IoT will gradually increase into the future. It is emphasized that IoT, which is predicted to make the concept of smartness become widespread in SC processes, is transforming the level of visibility and traceability of the entire chain by providing online, real-time monitoring of the processes.

The authors are of the opinion that in future research, merger of current set of technologies including big data, RFID, sensors, cloud, blockchain within the IoT concept will continue to deserve attention in the field of logistics and SCM. Assimilation is not complete, and it is obvious that the use of IoT in logistics and SCM applications will continue to be a promising research area.

Contribution of researchers

Authors have equal contribution in all the sections.

Conflicts of interest

The authors declared that there is no conflict of interest.

References

- Abdel-Basset, M., Manogaran, G., & Mohamed, M. 2018. "Internet of Things (IoT) and its impact on supply chain: A framework for building smart, secure, and efficient systems." *Future Generation Computer Systems*, 86, 614-628. DOI: <http://10.1016/j.future.2018.04.051>.
- Abdel-Basset, M., Nabeeh, N. A., El-Ghareeb, H. A., & Aboelfetouh, A. 2020. "Utilising neutrosophic theory to solve transition difficulties of IoT-based enterprises." *Enterprise Information Systems*, 14(9-10), 1304-1324. DOI: <http://10.1080/17517575.2019.1633690>
- Ahmed, S., Kalsoom, T., Ramzan, N., Pervez, Z., Azmat, M., Zeb, B., & Ur Rehman, M. (2021). "Towards supply chain visibility using internet of things: A dyadic analysis review." *Sensors*, 21(12), 4158. DOI: <http://10.3390/s21124158>
- Alaba, F. A., Othman, M., Hashem, I. A. T., & Alotaibi, F. 2017." Internet of Things security: A survey." *Journal of Network and Computer Applications*, 88, 10-28. DOI: <http://10.j.jnca.2017.04.002>.
- Al-Dweik, A., Muresan, R., Mayhew, M., & Lieberman, M. (2017, April). "IoT-based multifunctional scalable real-time enhanced roadside unit for intelligent transportation systems." In *2017 IEEE 30th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE)* (pp. 1-6). IEEE. DOI: <http://10.1109/CCECE.2017.7946618>
- Almomani, I. M., Alkhalil, N. Y., Ahmad, E. M., & Jodeh, R. M. 2011. "Ubiquitous GPS vehicle tracking and management system." In *2011 IEEE Jordan Conference on Applied Electrical Engineering and Computing Technologies (AEECT)*, 1-6, IEEE DOI: <http://10.1109/AEECT.2011.6132526>.
- Alrifai, M. F., Harum, N., Othman, M. F., Roslan, I., & Shyaa, M. A. 2018. "Vehicle Detection and Tracking System IoT based: A Review." *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 1237-1241. Available at: https://www.researchgate.net/publication/328268931_Vehicle_Detection_and_Tracking_System_IoT_based_A_Review
- Anirudh, A., Pandey, V. K., Sodhi, J. S., & Bagga, T. 2017. "Next generation Indian campuses going SMART." *International Journal of Applied Business and Economic Research*, 15(21), 385-398. Available at: https://www.researchgate.net/publication/322338728_Next_generation_indian_campuses_going_SMART.
- Aryal, A., Liao, Y., Nattuthurai, P., & Li, B. 2018. "The emerging big data analytics and IoT in supply chain management: a systematic review." *Supply Chain Management: An International Journal*, 1-17. DOI: <http://10.1108/SCM-03-2018-0149>.
- Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. 2010. "The internet of things: A survey." *Computer Networks*, 54(15), 2787-2805. DOI: <http://10.1016/j.comnet.2010.05.010>.
- Awolusi, I., Nnaji, C., Marks, E., & Hallowell, M. 2019. "Enhancing construction safety monitoring through the application of internet of things and wearable sensing devices: A review." *Computing in Civil Engineering 2019: Data, sensing, and analytics*, 530-538. DOI: <http://10.1061/9780784482438.067>
- Balestrini, M., Diez, T., Marshall, P., Gluhak, A., & Rogers, Y. 2015. "IoT community technologies: leaving users to their own devices or orchestration of engagement?" *EAI Endorsed Transactions on Internet of Things*, 1(1). DOI: <http://10.4108/eai.26-10-2015.150601>.
- Banafa, A. 2017. "Three Major Challenges Facing IoT". *IEEE Internet of Things* available at: <https://iot.ieee.org/newsletter/march-2017/three-major-challenges-facing-iot.html> (Accessed on 14 March 2021).

- Banker, S. 2014. "Warehouse Control in the Age of the Internet of Things." *Supply Chain Management Review* available at : https://www.scmr.com/article/warehouse_control_in_the_age_of_the_internet_of_things (Accessed on 1 May 2021).
- Bao, F., Chen, I.-R., & Guo, J. 2013. "Scalable, Adaptive and Survivable Trust Management for community of interest based Internet of Things systems." *2013 IEEE Eleventh International Symposium on Autonomous Decentralized Systems (ISADS)*, 1-7. IEEE, Mexico. DOI: <http://10.1109/ISADS.2013.6513398>.
- Ben-Daya, M., Hassini, E., & Bahroun, Z. 2019. "Internet of things and supply chain management: a literature review." *International Journal of Production Research*, 57(15-16), 4719-4742. DOI: <http://10.1080/00207543.2017.1402140>
- Bogataj, D., Bogataj, M., & Hudoklin, D. 2017. "Mitigating risks of perishable products in the cyber-physical systems based on the extended MRP model." *International Journal of Production Economics*, 193, 51-62. DOI: <http://10.1016/j.ijpe.2017.06.028>.
- Boyes, H., Hallaq, B., Cunningham, J., & Watson, T. 2018. "The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework." *Computers in industry*, 101, 1-12. DOI: <http://10.1016/j.compind.2018.04.015>.
- Chen, Y., Sun, W., Zhang, N., Zheng, Q., Lou, W., & Hou, Y. T. 2018. "Towards efficient fine-grained access control and trustworthy data processing for remote monitoring services in IoT." *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 14(7), 1830-1842. DOI: <http://10.1109/TIFS.2018.2885287>.
- Chopra, A. 2020. "Paradigm shift and challenges in IoT security." In *Journal of Physics: Conference Series*, 012083. IOP Publishing. DOI: <http://10.1088/1742-6596/1432/1/012083>
- Clement, S. J., McKee, D. W., & Xu, J. 2017. "Service-Oriented Reference Architecture for Smart Cities." *11th IEEE International Symposium on Service-Oriented System Engineering (SOSE 2017)*, 81-85. IEEE, California. DOI: <http://10.1109/SOSE.2017.29>.
- Curtin, J., Kauffman, R. J., & Riggins, F. J. 2007. "Making the 'MOST' Out of RFID Technology: A Research Agenda for the study of the adoption, usage and impact of RFID." *Information Technology and Management*, 87-110. DOI: <http://10.1007/s10799-007-0010-1>.
- Da Xu, L., He, W., & Li, S. (2014). "Internet of things in industries: A survey." *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(4), 2233-2243. DOI: <http://10.1109/TII.2014.2300753>
- Dasaklis, T., & Casino, F. 2019. "Improving Vendor-managed Inventory Strategy Based on Internet of Things (IoT) Applications and Blockchain Technology." *2019 IEEE International Conference on Blockchain and Cryptocurrency (ICBC)*, 50-55. IEEE, Seoul, Korea. DOI: <http://10.1109/BLOC.2019.8751478>.
- Datta, S. P. A. 2016. "Retail medicine in an Era of IoT and medical errors in the age of ubiquitous Connectivity." *Journal of Innovation Management*, 4(3), 3-6. DOI: http://10.24840/2183-0606_004.003_0002.
- De Vass, T., Shee, H., & Miah, S. J. 2021. "Iot in supply chain management: a narrative on retail sector sustainability." *International Journal of Logistics Research and Applications*, 24(6), 605-624. DOI: <http://10.1080/13675567.2020.1787970>.
- DHL. 2017. "DHL and HUAWEI Accelerate inbound-to-manufacturing logistics with internet of things solution." *DHL* available at : <https://www.dhl.com/global-en/home/press/press-archive/2017/dhl-and-huawei-accelerate-inbound-to-manufacturing-logistics.html> (Accessed on 9 June 2021).
- Dutt, A. 2019. "Creating Smart Warehouses with IoT Enabled Devices." *Oodles ERP* available at : <https://erpsolutions.oodles.io/blog/iot-enabled-warehouses/> (Accessed on 18 November 2021).

- Ellis, S., Morris, H. D., & Santagate, J. 2015. "IoT-enabled analytic applications revolutionize supply chain planning and execution." *International Data Corporation (IDC) White Paper, 13*. Available at: http://www.sensifyinc.com/wp-content/uploads/2016/05/IDC-IoT-enabled-analytics-applications_final.pdf
- Erkan, B. 2014. "The importance and determinants of logistics performance of selected countries." *Journal of Emerging Issues in Economics, Finance and Banking*, 3(6), 1237-1254. Available at: https://www.academia.edu/8111508/The_Importance_and_Determinants_of_Logistics_Performance_of_Selected_Countries
- Farahani, P., Meier, C., & Wilke, J. 2017. "Digital supply chain management agenda for the automotive supplier industry." In *Shaping the Digital Enterprise*, 157-172. Springer, Cham. DOI: http://10.1007/978-3-319-40967-2_8.
- Fernández-Caramés, T. M., Blanco-Novoa, O., Froiz-Míguez, I., & Fraga-Lamas, P. 2019. "Towards an autonomous industry 4.0 warehouse: A UAV and blockchain-based system for inventory and traceability applications in big data-driven supply chain management." *Sensors*, 19(10), 2394. DOI: <http://10.3390/s19102394>.
- Formaneck, S.D. 2019. "A study of sustainable facility management from a green supply chain perspective in the united arab emirates." *Journal of Turkish Operations Management*, 3(2), 314-323. DOI: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/920612>
- Gerber, A., & Kansal, S. 2020. "Top 10 IoT security challenges." *IBM* available at: <https://developer.ibm.com/technologies/iot/articles/iot-top-10-iot-security-challenges> (Accessed on 17 May 2021).
- Giannakourou, M. C., & Taoukis, P. S. 2003. "Application of a TTI-based distribution management system for quality optimization of frozen vegetables at the consumer end." *Journal of Food Science*, 68(1), 201-209. DOI: <http://10.1111/j.1365-2621.2003.tb14140.x>.
- Gottge, S., Menzel, T., & Forslund, H. 2020. "Industry 4.0 technologies in the purchasing process." *Industrial Management & Data Systems*, 730-748. DOI: <http://10.1108/IMDS-05-2019-0304>.
- Govinda, K., & Saravanaguru, R. A. 2016. "Review on IOT technologies." *International Journal of Applied Engineering Research*, 11(4), 2848-2853. Available at: https://www.academia.edu/36497315/Internet_of_Things_Applications_and_Challenges_in_Technology_and_Standardization?from=cover_page
- Grawe, S. J. 2009. "Logistics innovation: A literature-based conceptual framework." *The International Journal of Logistics Management*, 360-377. DOI: <http://10.1108/09574090911002823>.
- Grizhnevich, A. 2018. "A comprehensive guide to IoT-based predictive maintenance." *Science Soft* available at: <https://www.scnsoft.com/blog/iot-predictive-maintenance-guide> (Accessed on 20 May 2022)
- Gunasekaran, A., & Ngai, E. W. (2004). Virtual supply-chain management. *Production Planning & Control*, 15(6), 584-595. DOI: <http://10.1080/09537280412331283955>
- Gupta, A., Christie, R., & Manjula, R. 2017. "Scalability in Internet of Things: Features, Techniques and Research Challenges." *International Journal of Computational Intelligence Research*, 13(7), 1617-1627. Available at: http://www.ripublication.com/ijcir17/ijcirv13n7_06.pdf
- Haddud, A., DeSouza, A., Khare, A., & Lee, H. 2017. Examining potential benefits and challenges associated with the Internet of Things integration in supply chains. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 6. DOI: <http://10.1108/JMTM-05-2017-0094>.
- Haghi, M., Thurow, K., & Stoll, R. 2017. "Wearable devices in medical internet of things: scientific research and commercially available devices." *Healthcare informatics research*, 23(1), 4-15.

DOI: <http://10.4258/hir.2017.23.1.4>.

Hasanat, R. T., Rahman, M. A., Mansoor, N., Mohammed, N., Rahman, M. S., & Rasheduzzaman, M. (2020, September). "An IoT based real-time data-centric monitoring system for vaccine cold chain." In *2020 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS)* (pp. 1-5). IEEE. DOI: <http://10.1109/EWDTS50664.2020.9225047>

Hero, F. 2021. "Industrial IoT Is Key to a Resilient Supply Chain." *SAP* available at: <https://news.sap.com/2021/04/iiot-resilient-supply-chain-of-the-future/> (Accessed on 15 April 2021)

Hickins, M. 2012. "Union Pacific Using Predictive Software to Reduce Train Derailments." *The Wall Street Journal* available at: <https://www.wsj.com/articles/BL-CIOB-102> (Accessed on 2 April 2021).

Hu, C., Bao, W., Wang, D., Qian, Y., Zheng, M., & Wang, S. 2018." sTube+ An IoT Communication Sharing Architecture for Smart After-sales Maintenance in Buildings." *ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN)*, 14(3-4), 1-29. DOI: <http://10.1145/3274283>.

Jayaram, A. 2017. "An IIoT quality global enterprise inventory management model for automation and demand forecasting based on cloud." *2017 International Conference on Computing, Communication and Automation (ICCCA)* , 1258-1263. IEEE, Uttar Pradesh. DOI: <http://10.1109/CCAA.2017.8230011>.

Keary, M. 2016. "The Internet of Things (The MIT Press Essential Knowledge Series)." *Online Information Review*. DOI: <http://10.1108/OIR-03-2016-0080>.

Khan, R., Khan, S. U., Zaheer, R., & Khan, S. 2012. "Future Internet: The Internet of Things Architecture, Possible Applications and Key Challenges." *2012 10th International Conference on Frontiers of Information Technology* ,4. IEEE, Islamabad, Pakistan. DOI: <http://10.1109/FIT.2012.53>.

Koley, S., & Ghosal, P. 2015. "Addressing Hardware Security Challenges in Internet of Things: Recent Trends and Possible Solutions." *2015 IEEE 12th Intl Conf on Ubiquitous Intelligence and Computing and 2015 IEEE 12th Intl Conf on Autonomic and Trusted Computing and 2015 IEEE 15th Intl Conf on Scalable Computing and Communications and Its Associated Workshops (UIC-ATC-ScalCom)*. IEEE, Beijing, China. DOI: <http://10.1109/UIC-ATC-ScalCom-CBDCCom-IoP.2015.105>.

Koomey, J. G., Matthews, H. S., & Williams, E. 2013. "Smart Everything: Will Intelligent Systems Reduce Resource Use?" *Annual Reviews* available at: <https://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev-environ-021512-110549> (Accessed on 20 July 2021).

Lacey, M., Lisachuk, H., Giannopoulos, A., & Ogura, A. 2015. "IoT opportunities in transport and logistics." *Deloitte* available at: <https://www2.deloitte.com/tr/en/pages/technology-media-and-telecommunications/articles/internet-of-things-iiot-in-shipping-industry.html>

Lee, H. 2019. "Effective Dynamic Control Strategy of a Key Supplier with Multiple Downstream Manufacturers Using Industrial Internet of Things and Cloud System." *Processes*, 7(3), 172. DOI: <http://10.3390/pr7030172>.

Lee, M.S., Lee,D. & Kim, Y.S. (2019). The quality management ecosystem for predictive maintenance in the Industry 4.0 era. *Internatioanl Journal of Quality Innovation*, 5(4), 1-11. DOI: <http://10.1186/s40887-019-0029-5>

Li, D. 2016. "Perspective for smart factory in petrochemical industry." *Computers & Chemical Engineering*, 91, 136-148. DOI: <http://10.1016/j.compchemeng.2016.03.006>.

Li, Z., Shahidehpour, M., & Liu, X. 2018. "Cyber-secure decentralized energy management for IoT-enabled active distribution networks." *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 6(5), 900-917. DOI: <http://10.1007/s40565-018-0425-1>.

Liu, S., Zhang, G., & Wang, L. 2018." IoT-enabled dynamic optimisation for sustainable reverse logistics." *Procedia CIRP*, 69, 662-667. DOI: <http://10.1016/j.procir.2017.11.088>.

- Macaulay, a., Buckalew, L., & Chung, G. 2015. "Internet of Things in Logistics: A collaborative report by DHL and Cisco on implications and use cases for the logistics industry." *DHL Trend Research and Cisco Consulting Services* available at: <https://www.dhl.com/content/dam/dhl/global/core/documents/pdf/glo-core-internet-of-things-trend-report.pdf>
- Majeed, A. A., & Rupasinghe, T. D. 2017. "Internet of things (IoT) embedded future supply chains for industry 4.0: An assessment from an ERP-based fashion apparel and footwear industry." *International Journal of Supply Chain Management*, 6(1), 25-40. Available at: <https://core.ac.uk/download/pdf/230745642.pdf>
- Mallidi, S. K. R., & Vineela, V. V. 2018. "IoT based smart vehicle monitoring system." *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, 9(2), 738-741. DOI: <http://10.26483/ijarcs.v9i2.5870>.
- Manoj Kumar, N., & Dash, A. (2017, November). "Internet of things: an opportunity for transportation and logistics." In *Proceedings of the International Conference on Inventive Computing and Informatics (ICICI 2017)*, 23rd to (pp. 194-197). DOI: <http://10.1109/PEEIC.2018.8665632>
- Matthews, K. 2020. "How Will IoT Change the Supply Chain in 2020?" *News For Electronics Purchasing And The Supply Chain* available at: <https://epsnews.com/2020/07/29/how-will-iot-change-the-supply-chain-in-2020/> (Accessed on 29 July 2021).
- Mijanur Rahman, A. T. M., Kim, D. H., Jang, H. D., Yang, J. H., & Lee, S. J. 2018. "Preliminary study on biosensor-type time-temperature integrator for intelligent food packaging" *Sensors*, 18(6), 1949. DOI: <http://10.3390/s18061949>.
- Morgan, J. 2014. "A Simple Explanation of 'The Internet of Things'" *Forbes*. Available at: <https://www.forbes.com/sites/jacobmorgan/2014/05/13/simple-explanation-internet-things-that-anyone-can-understand/?sh=544de3691d09> (Accessed on 13 May 2021).
- Mostafa, N., Hamdy, W., & Alawady, H. 2019. "Impacts of internet of things on supply chains: a framework for warehousing." *Social Sciences*, 8(3), 84. DOI: <http://10.3390/socsci8030084>.
- Murauer, C. S. 2019. "Full shift usage of smart glasses in order picking processes considering a methodical approach of continuous user involvement." Available at: <http://10.14279/depositonce-7795>.
- Murphy, C. 2012. "Union Pacific Delivers Internet of Things Reality Check." *Information Week*. Available at: <http://elearning.algonquincollege.com/coursemat/woollar/Courses/CST2101/articles/InformationWeek-UnionPacific.pdf> (Accessed on 3 August 2021).
- Nedelcu, B. 2013. "About big data and its challenges and benefits in manufacturing." *Database Systems Journal*, 4(3), 10-19. Available at: http://dbjournal.ro/archive/13/13_2.pdf
- Osmonbekov, T., & Johnston, W. J. 2018. "Adoption of the Internet of Things technologies in business procurement: impact on organizational buying behavior." *Journal of Business & Industrial Marketing*. DOI: <http://10.1108/JBIM-10-2015-0190>.
- Oueslati, H. 2020. "Three Scalability Issues Affecting IoT Adoption." *IoT Business News* available at: <https://iotbusinessnews.com/2020/02/17/90880-three-scalability-issues-affecting-iot-adoption/> (Accessed on 17 March 2021).
- Parry, G. C., Brax, S. A., Maull, R. S., & Ng, I. C. 2016. "Operationalising IoT for reverse supply: the development of use-visibility measures." *Supply Chain Management: An International Journal*. DOI: <http://10.1108/SCM-10-2015-0386>.
- Paterlini, B. S., Vaz, R. M., Hodel, K. N., Neto, P. F., Laganá, A., & Yoshioka, L. R. 2015. "The more comprehensive use of embedded technology for quality improvement of the national public transportation system." *SAE Technical Paper*, No. 2015-36-0357. DOI: <http://10.4271/2015-36-0357>

- Popa, A., Hnatiuc, M., Paun, M., Geman, O., Hemanth, D. J., Dorcea, D., Son, Lee., & Ghita, S. 2019. "An intelligent IoT-based food quality monitoring approach using low-cost sensors." *Symmetry*, 11(3), 374. DOI: <http://10.3390/sym11030374>.
- Radovan, M., & Golub, B. 2017. "Trends in IoT security." In *2017 40th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)*, 1302-1308, IEEE. DOI: <http://10.23919/MIPRO.2017.7973624>.
- Rauschnabel, P. A., Brem, A., & Ro, Y. 2015. "Augmented reality smart glasses: definition, conceptual insights, and managerial importance." *Unpublished Working Paper, The University of Michigan-Dearborn, College of Business*. DOI: http://10.1007/978-3-658-12652-0_5.
- Ravulakollu, A. K., Urciuoli, L., Rukanova, B., Tan, Y. H., & Hakvoort, R. A. 2018. "Risk based framework for assessing resilience in a complex multi-actor supply chain domain." In *Supply Chain Forum: an International Journal* 266-281. DOI: <http://10.1080/16258312.2018.1540913>.
- Ray, P. P. 2016. "A survey of IoT cloud platforms." *Future Computing and Informatics Journal*, 1(1-2), 35-46. DOI: <http://10.1016/j.fcij.2017.02.001>
- Reaidy, P. J., Gunasekaran, A., & Spalanzani, A. 2015. "Bottom-up approach based on Internet of Things for order fulfillment in a collaborative warehousing environment." *International Journal of Production Economics*, 159, 29-40. DOI: <http://10.1016/j.ijpe.2014.02.017>.
- Rio, R., & Banker, S. (2014). "IoT changes logistics for the OEM spare parts supply chain." *ARC Insights* available at: <https://www.arcweb.com/blog/iot-changes-logistics-oem-spare-parts-supply-chain> (Accessed on 19 May 2022)
- Rizvi, M. 2017. "Implications of Internet of Things (IoT) for CRM." *Customer Think* available at: <https://customerthink.com/implications-of-internet-of-things-iot-for-crm/> (Accessed on 13 December 2021).
- Ross, D. F. 2002. *Introduction to e-supply chain management: engaging technology to build market-winning business partnerships*. CRC Press. DOI: <http://10.1201/9781420025415>.
- Sandeep, C. H., Naresh Kumar, S., & Pramod Kumar, P. 2020. "Significant Role of Security in IOT Development and IOT Architecture." *Journal of Mechanics of Continua and Mathematical Sciences*, 15(6), 174-184. DOI: <http://10.26782/jmcms.2020.06.00014>.
- SAP. 2017. "Insights on the Future of the Internet of Things (IoT)." *SAP* available at: <https://www.sap.com/insights/what-is-iot-internet-of-things.html> (Available at: April 2021)
- Sergi, I., Montanaro, T., Benvenuto, F. L., & Patrono, L. 2021. A smart and secure logistics system based on IoT and cloud technologies. *Sensors*, 21(6), 2231. DOI: <http://10.3390/s21062231>
- Shah, K. 2020. "IoT, as the Future unfolds." *SAP Community* available at: <https://blogs.sap.com/2020/06/16/iot-as-the-future-unfolds/> (Accessed on 16 June 2021).
- Shih, C. W., & Wang, C. H. 2016. "Integrating wireless sensor networks with statistical quality control to develop a cold chain system in food industries." *Computer Standards & Interfaces*, 45, 62-78. DOI: <http://10.1016/j.csi.2015.12.004>.
- Shin, S., & Eksioğlu, B. 2015. "An empirical study of RFID productivity in the US retail supply chain." *International Journal of Production Economics*, 163, 89-96. DOI: <http://10.1016/j.ijpe.2015.02.016>.
- Siddiqui, R., Azmat, M., Ahmed, S., & Kummer, S. 2021. "A hybrid demand forecasting model for greater forecasting accuracy: the case of the pharmaceutical industry." In *Supply Chain Forum: An International Journal*, 1-11. Taylor & Francis. DOI: <http://10.1080/16258312.2021.1967081>.

- Song, Y., Yu, F. R., Zhou, L., Yang, X., & He, Z. 2020. "Applications of the Internet of things (IoT) in smart logistics: A comprehensive survey." *IEEE Internet of Things Journal*. DOI: <http://10.1109/JIOT.2020.3034385>.
- Sundmacker, H., Guillemin, P., Friess, P., & Woelfflé, S. 2010. "Vision and challenges for realising the Internet of Things." *Cluster of European research projects on the internet of things, European Commission*, 3(3), 34-36. DOI: <http://10.2759/26127>.
- Tadejko, P. 2015. "Application of Internet of Things in logistics—current challenges." *Ekonomia i Zarządzanie*, 7. DOI: <http://10.12846/j.em.2015.04.07>.
- Taivalasaari, A., & Mikkonen, T. 2018. "On the development of IoT systems." *2018 Third International Conference on Fog and Mobile Edge Computing (FMEC)*, 13-19. IEEE, Barcelona, Spain. DOI: <http://10.1109/FMEC.2018.8364039>.
- Tawalbeh, L. A., Muheidat, F., Tawalbeh, M., & Quwaidar, M. 2020. "IoT Privacy and security: Challenges and solutions." *Applied Sciences*, 10(12), 4102. DOI: <http://10.3390/app10124102>.
- Tedeschi, S., Mehnen, J., Tapoglou, N., & Roy, R. (2017). "Secure IoT devices for the maintenance of machine tools." *Procedia Cirp*, 59, 150-155. DOI: <10.1016/j.procir.2016.10.002>
- Tellis, G. J. 2006. "Disruptive technology or visionary leadership?" *Journal of Product Innovation Management*, 23(1), 34-38. DOI: <http://10.1111/j.1540-5885.2005.00179.x>.
- Trab, S., Bajic, E., Zouinkhi, A., Abdelkrim, M. N., & Chekir, H. 2018. "RFID IoT-enabled warehouse for safety management using product class-based storage and potential fields methods." *International Journal of Embedded Systems*, 10(1), 71-88. Available at: <https://www.inderscienceonline.com/doi/pdf/10.1504/IJES.2018.089436>
- Tran, Q. M., Nguyen, P. H., Tsuchiya, T., & Toulouse, M. 2020. "Designed features for improving openness, scalability and programmability in the fog computing based IoT systems." *SN Computer Science*, 1, 1-12. DOI: <http://10.1007/s42979-020-00197-w>.
- Tsang, Y. P., Choy, K. L., Wu, C. H., Ho, G. T., Lam, C. H., & Koo, P. S. 2018. "An Internet of Things (IoT)-based risk monitoring system for managing cold supply chain risks." *Industrial Management & Data Systems*. DOI: <http://10.1108/IMDS-09-2017-0384>.
- Tu, M., Lim, M. K., & Yang, M. F. (2018). "IoT-based production logistics and supply chain system—Part 2: IoT-based cyber-physical system: a framework and evaluation." *Industrial Management & Data Systems*. DOI: <http://10.1108/IMDS-11-2016-0504>
- Velzen, J. T. 2017. "5 ways to overcome IoT security challenges." *SAP* available at: <https://blogs.sap.com/2017/12/04/5-ways-to-overcome-iot-security-challenges/> (Accessed on 25 June 2021)
- Vivaldini, M., Pires, S. R., & Souza, F. B. D. 2012. "Improving logistics services through the technology used in fleet management." *JISTEM—Journal of Information Systems and Technology Management*, 9, 541-562. DOI: <http://10.4301/S1807-17752012000300006>.
- Wang, G., Shi, Z., Nixon, M., & Han, S. 2019. "Chainsplitter: Towards blockchain-based industrial iot architecture for supporting hierarchical storage." In *2019 IEEE International Conference on Blockchain (Blockchain)*, 166-175. IEEE. DOI: <http://10.1109/Blockchain.2019.00030>
- Wang, S., Hou, Y., Gao, F., & Ji, X. 2016. "A novel IoT access architecture for vehicle monitoring system." In *2016 IEEE 3rd World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, 639-642. IEEE. DOI: <http://10.1109/WF-IoT.2016.7845396>.
- Want, R. 2006. "An introduction to RFID technology." *IEEE Pervasive Computing*, 5(1), 25-33. DOI: <http://10.1109/MPRV.2006.2>.

- Williamson, E. A., Harrison, D. K., & Jordan, M. (2004). Information systems development within supply chain management. *International Journal of Information Management*, 24(5), 375-385. DOI: <http://10.1016/j.ijinfomgt.2004.06.002>
- Wong, E. Y. 2016. "Development of mobile voice picking and cargo tracing systems with internet of things in third-party logistics warehouse operations." *International Journal of Management and Sustainability*, 5(4), 23-29. DOI: <http://10.18488/journal.11/2016.5.4/11.4.23.29>.
- Woodhead, R., Stephenson, P., & Morrey, D. 2018. "Digital construction: From point solutions to IoT ecosystem." *Automation in Construction*, 93, 35-46. DOI: <http://10.1016/j.autcon.2018.05.004>.
- Wu, L., Yue, X., Jin, A., & Yen, D. C. 2016. "Smart supply chain management: a review and implications for future research." *The International Journal of Logistics Management*. DOI: <http://10.1108/IJLM-02-2014-0035>.
- Wu, W., Cheung, C., Lo, S. Y., Zhong, R. Y., & Huang, G. Q. 2020. "An IoT-enabled real-time logistics system for a third-party company: a case study." *Procedia Manufacturing*, 49, 16-23. DOI: <http://10.1016/j.promfg.2020.06.005>.
- Yan, J., Xin, S., Liu, Q., Xu, W., Yang, L., Fan, L., ... & Wang, Q. 2014. "Intelligent supply chain integration and management based on cloud of things." *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 10(3), 624839. DOI: 10.1155/2014/624839.
- Yang, L., Yang, S. H., & Plotnick, L. 2013. "How the internet of things technology enhances emergency response operations." *Technological Forecasting and Social Change*, 80(9), 1854-1867. DOI: <http://10.1016/j.techfore.2012.07.011>.
- Yerpude, S., & Singhal, T. K. 2017. "Internet of Things and its impact on Business Analytics." *Indian Journal of Science and Technology*, 10(5), 1-6. DOI: <http://10.17485/ijst/2017/v10i5/109348>.
- Yuqiang, C., Jianlan, G., & Xuanzi, H. 2010. "The research of internet of things' supporting technologies which face the logistics industry." In *2010 International Conference on Computational Intelligence and Security*, 659-663. IEEE. DOI: <http://10.1109/CIS.2010.148>.
- Zhang, Y., & Sun, S. 2013. "Real-time data driven monitoring and optimization method for IoT-based sensible production process." In *2013 10th IEEE international conference on networking, sensing and control (ICNSC)*, 486-490. IEEE. DOI: <http://10.1109/ICNSC.2013.6548787>.
- Zhou, Y., Yu, F. R., Chen, J., & Kuo, Y. 2019. "Cyber-physical-social systems: A state-of-the-art survey, challenges and opportunities." *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 22(1), 389-425. DOI: <http://10.1109/COMST.2019.2959013>.
- Zhong, R. Y., Xu, X., & Wang, L. (2017). "IoT-enabled smart factory visibility and traceability using laser-scanners." *Procedia Manufacturing*, 10, 1-14. DOI: <http://10.1016/j.promfg.2017.07.103>



Journal of Turkish Operations Management

A study to measure the economic effects of COVID-19 on the textile industry: Comparative evidence from Bursa and Gaziantep

Melike Bulur^{1*} Eren Özceylan², Cihan Çetinkaya³

¹Industrial Engineering Department, Faculty of Engineering, Gaziantep University, Gaziantep
e-mail: bulurmelike1@gmail.com, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-8750-1232>

²Industrial Engineering Department, Faculty of Engineering, Gaziantep University, Gaziantep
e-mail: eozceylan@gantep.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-5213-6335>

³Management Information Systems Department, Faculty of Business, Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Adana

e-mail: ccetinkaya@atu.edu.tr ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-5899-8438>

*Corresponding Author

Article Info

Article History:

Received: 07.06.2022

Revised: 26.06.2022

Accepted: 27.06.2022

Keywords

Coronavirus,
Supply Chain,
Textile Sector,
Questionnaire

Abstract

The textile sector is one of the leading industries in the world and Turkey. This sector is one of the most affected sectors by the recently emerged New Coronavirus pandemic. Both people's and business life were affected, and supply chain activities were disrupted. Many companies tried to mitigate negative impacts of the pandemic. This study focused on analyzing the economic effects of the New Coronavirus pandemic based on yearly comparisons on the textile sector in Bursa and Gaziantep, Turkey. A questionnaire is applied and it includes descriptive questions, economic impact questions, and yearly based comparison analyses of 241 textile companies in Bursa and 181 textile companies in Gaziantep. The obtained data were analyzed via IBM SPSS (Statistical Package for Social Sciences) 25.0 software by means of, frequency, percentage, average, standard deviations, T-test, and One way ANOVA tests. Most of the participants stated their economic worries and opinions in the economic impact analysis section. The hypotheses are tested and it is revealed that there is a significant difference between operation year, legal status, the market of businesses, and the monthly turnover of companies and how they were affected by COVID-19 in some of the subsets. In Bursa, participants have fewer negative opinions about the sustainability of economic activities. The study results showed that despite increased lead times, delivery times and participants' negative opinions, monthly turnover, and the number of employees, the number of exporting companies increased in both cities.

1. Introduction

The textile sector is one of the leading businesses in the world and Turkey. The textile sector accounts for 8.8% of the total production value of Turkey's manufacturing industry and provides 9.9% of added value in the industry. In the provinces of İstanbul, Gaziantep, Bursa, Kahramanmaraş, Adana, Kayseri and Denizli, the biggest volume of production in many sub-sectors such as fiber, yarn, woven-knitted fabric, nonwoven surface take place (Uyanık and Çeliker, 2019).

Supply chains are effected by natural disasters, employee strikes, or man-made catastrophes which may also effect supplies, producers, transporters, and distributors as a link in the chain (Ivanov, 2020). In recent years, The world has been struggling with the New Coronavirus pandemic and its effects on the supply chain, businesses, and human life. On 31 December 2019, the WHO (World Health Organization) announced cases of pneumonia detected in Wuhan, China. On March 11, 2020, the WHO informed "Coronavirus disease 2019" (COVID-19) as

This article has derived from the first author's Master's Thesis

a global pandemic. Because of the pandemic, 6,670,502 million people have lost their lives in the cases of 657,275,999 up to the 17th of December in 2022 (Worldometer, 2022). To prevent the spread of the virus, governments took precautions such as isolation of people, and closing the institutions, public facilities, and businesses for a certain time. As expected, these actions caused negative effects on the economy (Han et al., 2022). The world economy achieved 2.8% growth in 2019, but a negative growth of -3.1% in 2020, and a 5.9% growth in 2021. In 2020, the effects of the pandemic were visible. The vaccine studies and transition to controlled normalization in human life caused positive economic growth in 2021. Despite the fact that the Coronavirus emerged in China, the least economic effects were felt in the country. China achieved the biggest economic growth rate in 2020 with a 2.3% growth. In terms of developed countries, England felt the economic effects most. In Turkey, the negative effects were felt especially in the second quarter of 2020. The worst export volume were achieved in 2020 in the past four years. Despite this, Turkey achieved the second biggest growth rate in the world with 1.7% growth in 2020, and then the biggest growth rate in 2021 with 8.9%. In the manufacturing industry, the significant increase in export is one of the important factors in achieving such a high growth (Ünüvar and Aktaş, 2022).

This paper aims to analyze the effects of New Coronavirus pandemic on textile industry companies in Turkey. Bursa and Gaziantep are selected as sample cities due to having a large number of textile companies, with a big production volume, export, and import rates in Turkey. In the year 2021, Bursa had 1.19 billion \$ export in textile sector, and Gaziantep had 1.85 billion \$ export in textile sector and they increased their export volume by 32.2% and 36.7% respectively in 2021 compared to 2020 (Turkish Exporters Assembly, 2022). In Turkey, the textile and raw materials export remained at \$12.32 billion in 2020, compared to \$12.51 billion export in 2019 (Ministry of Commerce). The data used in this study were collected via a questionnaire applied on 422 textile companies in Bursa and Gaziantep and the analyses are done by SPSS 25.0 software.

This paper includes six sections. The literature review is given in Section 2, the research methodology is presented in Section 3, the data collection and analysis are provided in Section 4 and the obtained results are provided in Section 5. The final section includes the conclusion of the research and recommendations.

2. Literature review

Many global sectors and businesses are affected negatively by COVID-19. Ivanov (2020) stated that 94% of the Fortune 1000 companies have experienced supply chain disruptions because of COVID-19. Gruszczynski (2020) stated that the total demand and supply were affected and the global economy was interrupted due to the pandemic. Beck (2020) analyzed the economic and financial effects of the pandemic and advised precautions to mitigate these negative effects.

In literature, the researchers made studies on different industries that aims to analyze the impacts of pandemics. Eğri and Doğaner (2020) conducted a study on small-medium-sized enterprises and the managers stated that they faced problems on the supply-demand side. During the pandemic, healthcare, information, and communication, individual security on corporate computers gained importance but demand for textile, tourism, structure, and manufacturing decreased. Kabadayı and Kardeş (2020) proposed a questionnaire on 731 people in tourism sector. Results showed that the touristic activity decreased due to the pandemic. Hygiene and safety factors were the most important determining factors in tourism preferences which may mean that the tendency toward technology will have importance more. Using technological tools and smart applications will be more important in the future. Most of the participants in the study of Aracı and Ergen (2021) stated that the use of technology in hospitality has a large impact on the pandemic. This provided them to save on-site paper, do more work, and reduce overall costs. Danişmaz (2020) conducted a study to analyze the impacts of the pandemic on consumer preference during online shopping and 64.5% of 200 people stated that their preferences were changed. While the apparel sector was the most preferred before the pandemic, the food sector replaced it during the pandemic years. Supply chain resilience of automobile and airline industries were analyzed by Belhadi et al. (2021) based on the interviews. They stated that the automobile industry perceived the best way to use industry 4.0 technologies and developed localized supply sources, also airline industry perceived the best way to define their operations both at the airports and within the flights. To be sustainable, agile, and resilient, manufacturing operations can be possible with a high level of coordination and collaboration. Industries should use technological tools, smart applications, and industry 4.0 to mitigate the negative effects of the pandemic, be more resilient, and be better prepared against similar disasters.

Most of the searches around the world stated that the textile industry is one of the severely affected industries (Textile Industry Analysis Report and Guide for TR32 Region, 2021). Mishra and Mishra (2021) conducted a study in India with 51 financial individuals/specialists and academicians and they categorized the textile sector

as severely affected sectors together with tourism and transportation. Eskin (2021) applied a questionnaire to small-medium enterprise managers in textile industry and they stated that the orders were canceled or suspended due to pandemic and most business activities were disrupted. But the effects differed according to the field of activity. The financial structures of textile industries that sell through e-commerce or which started to produce anti-bacterial medical products haven't changed. Kaur (2021) analyzed the data of 123 textile entrepreneurs and it was stated that their stress levels increased due to canceled or postponed orders. During the pandemic, the marketing departments had to grab the opportunities and had to propose new products, being creative and using digital technology were found necessary.

In the literature, the researchers studied on impacts of the pandemic on various sectors. This study will contribute to the literature by both analysing the economic effects of pandemic and comparison analysis based on different criteria to analyze pre and post pandemic. To the best of author's knowledge, there is no study in the literature that analyses the Covid 19 economic impacts on Bursa and Gaziantep textile industry, hoping this study will be beneficial to analyze participants opinion and comparing economic growth results in Turkey.

3. Methods

In this study, questionnaires were conducted to participants in Bursa and Gaziantep textile industry. The questionnaire study includes descriptive analyses, twenty-four questions for economic impact analyses with three subsets (COVID-19 effect on the sustainability of economic activities, opinions on economic policies implemented in COVID-19, economic forecasts for post-COVID-19), and comparative questions for 2019 and 2021 with eight different criteria. The part which includes twenty-four questions was taken from the survey which applied before (Nakıboğlu and Işık, 2020).

This study was conducted between the 1st and 30th of December in 2021 on online platforms. A simple random sampling method was used and 5% acceptable margin of error and 95% confidence level were used and 385 companies were identified as representative. 422 textile companies participated in the survey. 241 participants from Bursa textile industry and 181 participants from Gaziantep textile industry replied to questions. IBM SPSS 25.0 software was used to analyze the data.

Descriptive statistics, percentage, frequency, average, and standard deviations were used to analyze the data. The sufficiency of the sample was analyzed by the Kaiser-Mayer-Olkin test and resulted in 0.95 showing that the sample is sufficient. The Kaiser-Mayer-Olkin value varies between 0 and 1. A value that is greater than 0.5 is accepted as sufficient (Kaiser, 1974). The reliability of the sample was analyzed by Cronbach's Alpha test and resulted in a 0.92 Cronbach's Alpha value. That value varies between 0 and 1. A value that is greater than 0.7 is accepted as satisfactory (Leung, 2001). T-test and ANOVA tests were used to analyze the COVID-19 effect on participants and textile industries. In this study, p values less than 0.05 were considered significant. Different hypotheses were also developed to analyze the impact of the pandemic.

4. Results and discussions

In this survey, 233 male and 189 female replied to survey questions. Table 1 shows 55.9 percent of the participants have graduated from university with a Bachelor's Degree, 29.4 percent of them have graduated from university with a Master's Degree and the rest of them have graduated with an Associate's Degree. Most of the participants' age were between 46-55 with 41.0 percent and corporation company with 51.7 percent. 66.6% participants were working in companies that serve internationally, and only 7.6% were serving locally.

Table 1. Demographic information of participants

		Frequency (n)	%
Gender	Male	233	55.2%
	Female	189	44.8%
Educational Status	Associate Degree	62	14.7%
	Bachelor's Degree	236	55.9%
	Master's Degree	124	29.4%

		Frequency (n)	%
Age	0-25	12	2.8%
	26-35	31	7.4%
	36-45	169	40.1%
	46-55	173	41.0%
	56 and above	37	8.7%
Operation Year of Business	6-10	82	19.4%
	11-15	42	10.0%
	16-20	185	43.8%
	21 and above	113	26.8%
Legal Status of Business	Corporation	218	51.7%
	Limited Company	115	27.2%
	Sole proprietorship	89	21.1%
Market of Business	International	281	66.6%
	National	109	25.8%
	Local/ Regional	32	7.6%
City	Bursa	241	57.1%
	Gaziantep	181	42.9%

In this survey, higher scores show the negative opinions of participants. Participants' opinions related to COVID-19 effect on the sustainability of economic activities show that most of them thought to decrease the number of employees working at the company and they worried about not being able to take care of their families and children. Table 2 shows most of the opinions are negative in terms of the sustainability of economic activities.

Table 2. Opinions on COVID-19 effect on sustainability of economic activities

COVID-19 Effect on Sustainability of Economic Activities	X± s. d.	Factor load	Explained Variance	Internal Consistency
I think I have to decrease the number of employees who work at the company.	4.16±0.56	0.62	24%	0.89
I think I will not be able to pay the collateral.	3.59±0.60	0.65		
I believe, there will be no demand for the products and services we offer as before.	3.90±0.76	0.64		
I am worried about not being able to take care of my family and children.	4.08±0.78	0.56		
I think I will have trouble with banks cause of the loan payments.	3.99±0.68	0.61		
I think I will lose a significant job loss.	3.41±0.84	0.62		
I am scared of shutting down my business.	3.85±0.73	0.62		
I think I will not tend to do new entrepreneurship activities.	3.31±0.61	0.63		
I think I will not collect my debts.	3.78±0.77	0.65		
I think, applied economic policies can not recover the damage which I have seen caused by the COVID-19.	3.66±0.68	0.66		

According to table 3, most of the participants thought that they couldn't profit from the benefits which were given. Economic incentives were insufficient and they had economic worries for the future. So, participants thought that implemented policies were not sufficient during the pandemic. Government and companies could prepare better economic packages during the pandemic or they can prepare better plans for economic recovery for post-COVID-19.

Table 3. Opinions on economic policies implemented in COVID-19

Opinions on Economic Policies Implemented in COVID-19	X± s. d.	Factor load	Explained Variance	Internal Consistency
I think economic precautions are insufficient.	3.99±0.42	0.66	26%	0.92
I think, given economic incentives are insufficient.	4.08±0.27	0.67		
I have economic worries for the future.	4.05±0.61	0.68		
I think, economic recessions these days will cause economic troubles in the future.	3.88±0.48	0.63		
I feel myself, economically insufficient.	3.76±0.83	0.64		
I don't believe that economy will not easily return to the old state from now on.	3.90±0.44	0.62		
I can't profit from the benefits which are given.	4.25±0.64	0.63		

Table 4 shows participants' opinions related to economic forecasts for post-COVID-19 are negative generally. Most of them thought that the economic recovery will take a long time, small businesses are at risk of a shut down and unemployment will increase. Economic incentives for especially small businesses have gained importance during this term.

Table 4. Opinions on economic forecasts for post COVID-19

Economic Forecasts for Post COVID-19	X±s.d.	Factor load	Explained Variance	Internal Consistency
I think, all the sectors are affected negatively in terms of economy.	4.13±0.43	0.65	25%	0.91
I think competition will be more and profitability will be less.	3.87±0.53	0.65		
I think inflation will increase significantly.	4.14±0.56	0.66		
I think, there will be a rapid transition from the general economy to the digital economy.	4.01±0.63	0.67		
I think small businesses are at risk of shutting down.	4.14±0.50	0.68		
I think unemployment will increase.	4.14±0.65	0.69		
I think the recovery of the economy will take a long time.	4.20±0.68	0.70		

The hypotheses were tested to analyze the impact of the pandemic and participants on the textile sector.

Hypothesis 1 (H1): There is a significant difference between the gender of participants and how companies are affected by the COVID-19.

Survey results don't show a difference according to participants' gender ($p > 0.05$). H1 hypothesis was rejected for all subsets.

Hypothesis 2 (H2): There is a significant difference between the operation year of companies and how they are affected by the COVID-19.

The H2 hypothesis was accepted for the sustainability of economic activities ($p < 0.05$) but rejected for other subsets ($p > 0.05$). According to the results, 6-10 years operated companies were affected worse than others in terms of sustainability of economic activities. That is related to companies' experience in managing crises situation for the sustainability of economic activities.

Hypothesis 3 (H3): There is a significant difference between the legal status of companies and how they are affected by the COVID-19.

H3 hypothesis was accepted for the sustainability of economic activities ($p < 0.05$) and opinions on economic policies implemented in COVID-19 ($p < 0.05$) but rejected for other subsets ($p > 0.05$). Corporations and limited companies have fewer negative opinions than a sole proprietorship.

Hypothesis 4 (H4): There is a significant difference between the market of companies and how they are affected by the COVID-19.

H4 hypothesis was accepted for the sustainability of economic activities ($p < 0.05$) and opinions on economic policies implemented in COVID-19 ($p < 0.05$) but rejected for other subset ($p > 0.05$). National and local serving companies were affected worse during the pandemic.

Hypothesis 5 (H5): Participants in Bursa have more negative opinions than Gaziantep about the effects of COVID-19.

H5 hypothesis was rejected for all subsets ($p > 0.05$). Opinions on economic policies implemented in COVID-19 and economic forecasts for post-COVID-19 don't differ in Bursa and Gaziantep. In terms of sustainability of economic activities, participants in Bursa have fewer negative opinions. Results are shown in Table 5.

Table 5. Opinions based on Participants and Business Characteristics

		COVID-19 Effect on Sustainability of Economic Activities		Opinions on Economic Policies Implemented in COVID-19		Economic Forecasts for Post COVID-19	
		X± s. d.	p	X± s. d.	p	X± s. d.	p
Gender	Male	3.77±0.50	0.86	3.97±0.29	0.55	4.10±0.33	0.62
	Female	3.78±0.50		4.01±0.28		4.07±0.3	
Operation Year of Business	6-10	3.98±0.48	0.01*	4.12±0.21	0.13	4.05±0.29	0.18
	11-15	3.64±0.38		3.82±0.32		4.15±0.36	
	16-20	3.83±0.49		4.02±0.28		4.11±0.29	
	21 and above	3.58±0.50		3.90±0.28		4.05±0.35	
Legal Status of Business	Corporation	3.68±0.48	0.01*	3.92±0.29	0.03*	4.13±0.3	0.22
	Limited	3.63±0.48		3.94±0.28		4.06±0.35	
	Sole proprietorship	4.19±0.32		4.22±0.15		4.02±0.29	
Market of Business	International	3.65±0.45	0.01*	3.92±0.29	0.04*	4.12±0.32	0.49
	National	4.03±0.48		4.11±0.24		4.01±0.28	
	Local	3.99±0.55		4.20±0.15		4.06±0.36	
City	Bursa	3.70±0.51	0.04*	3.99±0.28	0,81	4.03±0.31	0.05
	Gaziantep	3.88±0.47		3.98±0.30		4.16±0.31	

*0.05 as level of significance

Hypothesis 6 (H6): There is a significant difference between the monthly export average of companies and how they are affected by the COVID-19.

According to the years 2019 and 2021, the H6 hypothesis was accepted for the sustainability of economic activities and opinions on economic policies implemented in COVID-19 ($p < 0.05$) but rejected for other subset ($p > 0.05$). The firms whose monthly export average is 1,000,000 or less, have been affected negatively. Results are shown in Table 6.

Hypothesis 7 (H7): There is a significant difference between the monthly turnover of companies and how they are affected by the COVID-19.

According to the years 2019 and 2021, the H7 hypothesis was accepted for the sustainability of economic activities ($p < 0.05$) but rejected for other subsets ($p > 0.05$). The firms whose monthly turnover is less than 1,000,000 have more negative opinions than the other first two subsets, but in terms of economic forecasts for

post-COVID-19 turnover between 45,000,001 and 60,000,000 have more negative opinions. Results are shown in Table 7.

Table 6. Comparison for Monthly Export Average

		COVID-19 Negative Effect on Sustainability of Economic Activities		Opinions on Economic Policies Implemented in COVID-19		Negative Economic Forecasts for Post COVID-19	
		X±s.d.	p	X±s.d.	p	X±s.d.	p
Monthly Export Average 2019	1,000,000 TL and less	4.09±0.51	0.01*	4.12±0.24	0.01*	4.08±0.33	0.23
	1,000,001 -15,000,000 TL	3.75±0.38		3.77±0.34		4.06±0.41	
	15,000,001 - 30,000,000 TL	3.57±0.47		3.96±0.25		4.08±0.25	
	30,000,001 - 45,000,000 TL	3.70±0.03		4.00±0.15		4.18±0.14	
Monthly Export Average 2021	1,000,000 TL and less	4.02±0.51	0.01*	4.12±0.24	0.01*	4.08±0.33	0.26
	1,000,001 -15,000,000 TL	3.75±0.38		3.77±0.34		4.06±0.41	
	15,000,001 - 30,000,000 TL	3.66±0.27		4.02±0.23		4.15±0.16	
	30,000,001 - 45,000,000 TL	3.65±0.48		3.96±0.21		4.08±0.25	

Table 7. Comparison for Monthly Turnover

		COVID-19 Negative Effect on Sustainability of Economic Activities		Opinions on Economic Policies Implemented in COVID-19		Negative Economic Forecasts for Post COVID-19	
		X±s.d.	p	X±s.d.	p	X±s.d.	p
Monthly turnover 2019	1,000,000 TL and less	4.31±0.17	0.01*	4.14±0.12	0.08	3.90±0.26	0.11
	1,000,001 -15,000,000 TL	3.84±0.52		4.02±0.33		4.07±0.34	
	15,000,001 - 30,000,000 TL	3.41±0.22		3.76±0.34		4.18±0.41	
	30,000,001 - 45,000,000 TL	3.56±0.58		4.01±0.21		4.13±0.21	
	45,000,001 – 60,000,000 TL	3.77±0.16		3.98±0.10		4.19±0.15	
	60,000,001 - 75,000,000 TL	3.6±0.43		4.07±0.07		3.92±0.20	
Monthly turnover 2021	1,000,000 TL and less	4.31±0.17	0.01*	4.14±0.12	0.19	3.90±0.26	0.1
	1,000,001 -15,000,000 TL	3.84±0.52		4.02±0.34		4.07±0.34	
	15,000,001 - 30,000,000 TL	3.47±0.27		4.10±0.25		4.17±0.10	
	30,000,001 - 45,000,000 TL	3.40±0.19		3.64±0.27		4.16±0.48	
	45,000,001 – 60,000,000 TL	3.51±0.58		3.98±0.22		4.18±0.21	
	60,000,001 - 75,000,000 TL	3.80±0.20		4.03±0.08		4.10±0.18	

Hypothesis 8 (H8): There is a significant difference between the average number of monthly employees of companies and how they are affected by the COVID-19.

According to the results of 2019, the H8 hypothesis was accepted for the sustainability of economic activities ($p < 0.05$) but rejected for other subsets ($p > 0.05$). Firms that have more employees have fewer negative opinions. According to the results of 2021, the H8 hypothesis was accepted for all subsets ($p < 0.05$). Results are shown in Table 8.

Table 8. Comparison for Number of Monthly Employee

		COVID-19 Negative Effect on Sustainability of Economic Activities		Opinions on Economic Policies Implemented in COVID-19		Negative Economic Forecasts for Post COVID-19	
		X±s.d.	p	X±s.d.	p	X±s.d.	p
Average Number of Monthly Employee 2019	200 and less	4.15±0.55	0.01*	4.16±0.23	0.13	4.01±0.34	0.15
	201-400	3.67±0.38		3.94±0.22		4.19±0.17	
	401-600	3.55±0.28		3.88±0.30		4.09±0.30	
	601-800	3.63±0.43		3.89±0.30		4.13±0.35	
	801-1000	3.62±0.48		3.95±0.25		4.15±0.25	
	1001-1200	3.40±0.46		3.91±0.19		4.06±0.13	
Average Number of Monthly Employee 2021	200 and less	4.14±0.52	0.01*	4.14±0.21	0.01*	4.12±0.31	0.01*
	201-400	3.67±0.38		3.94±0.22		4.19±0.17	
	401-600	3.47±0.27		4.10±0.25		4.17±0.10	
	601-800	3.57±0.12		3.65±0.31		4.12±0.48	
	801-1000	3.41±0.33		3.76±0.28		3.75±0.21	
	1001-1200	3.64±0.47		3.97±0.21		4.18±0.24	

From 2019 to 2021, in both cities, the number of companies whose monthly export average is between 30,000,001 - 45,000,000 TL and the number of firms whose monthly turnover is between 60,000,001 - 75,000,000 TL are increased in 2021. According to the result in Table 9, export average and monthly turnover increased in both cities despite the pandemic. In both cities, the number of companies whose monthly domestic sales average is between 15,000,001-30,000,000 TL has differed. Some of the firms leveled up to 30,000,000-45,000,000 TL in 2021 but some of them went down to 1,000,001 -15,000,000 TL.

Table 9. Comparison for monthly export, domestic sales and turnover

		2019 January- November				2021 January- November			
		Bursa		Gaziantep		Bursa		Gaziantep	
		n	%	n	%	n	%	n	%
Monthly Export Average	1,000,000 TL and less	91	37.8%	72	39.8%	91	37.8%	72	39.8%
	1,000,001 -15,000,000 TL	38	15.8%	51	28.2%	38	15.8%	51	28.2%
	15,000,001 - 30,000,000 TL	83	34.4%	46	25.4%	25	10.4%	17	9.4%
	30,000,001 - 45,000,000 TL	29	12.0%	12	6.6%	87	36.1%	41	22.7%
Monthly Domestic Sales Average	1,000,000 TL and less	25	10.4%	33	18.2%	25	10.4%	33	18.2%
	1,000,001 -15,000,000 TL	107	44.4%	72	39.8%	144	59.8%	90	49.7%
	15,000,001 - 30,000,000 TL	97	40.2%	64	35.4%	22	9.1%	27	14.9%
	30,000,001 - 45,000,000 TL	12	5.0%	12	6.6%	50	20.7%	31	17.1%
Monthly Turnover	1,000,000 TL and less	25	10.4%	33	18.2%	25	10.4%	33	18.2%
	1,000,001 -15,000,000 TL	94	39.0%	63	34.8%	93	38.6%	62	34.3%
	15,000,001 - 30,000,000 TL	32	13.3%	36	19.9%	16	6.6%	6	3.3%
	30,000,001 - 45,000,000 TL	49	20.3%	25	13.8%	20	8.3%	31	17.1%
	45,000,001 - 60,000,000 TL	34	14.1%	23	12.7%	42	17.4%	29	16.0%
	60,000,001 - 75,000,000 TL	7	2.9%	1	0.6%	45	18.7%	20	11.0%

From 2019 to 2021, in both cities, monthly operation capacity, the average number of monthly employees, and the number of exporting countries increased. Results are shown in Table 10. These can be related to the location advantage of both cities, close to the suppliers, but results show that despite the pandemic, companies developed these aspects.

Table 10. Comparison for monthly operating capacity, number of exporting countries, number of monthly employee

		2019 January- November				2021 January- November			
		Bursa		Gaziantep		Bursa		Gaziantep	
		n	%	n	%	n	%	n	%
Monthly Operating Capacity	40% and less	9	3.7%	9	5.0%	13	5.4%	27	14.9%
	51%- 60% capacity	26	10.8%	44	24.3%	39	16.2%	43	23.8%
	61%- 70% capacity	64	26.6%	57	31.5%	52	21.6%	36	19.9%
	71%- 80% capacity	104	43.2%	60	33.1%	72	29.9%	51	28.2%
	81% - 90% capacity	38	15.8%	11	6.1%	63	26.1%	22	12.2%
	91% and more	2	0.8%	2	1.1%	2	0.8%	2	1.1%
Average Number of Exporting Countries	10 and less	101	41.9%	104	57.5%	93	38.6%	104	57.5%
	11- 30 country	124	51.5%	71	39.2%	83	34.4%	51	28.2%
	31- 50 country	16	6.6%	6	3.3%	65	27.0%	26	14.4%
Average Number of Monthly Employee	200 and less	71	29.5%	68	37.6%	89	36.9%	82	45.3%
	201-400 employee	7	2.9%	11	6.1%	7	2.9%	11	6.1%
	401-600 employee	47	19.5%	38	21.0%	16	6.6%	6	3.3%
	601-800 employee	63	26.1%	31	17.1%	23	9.5%	33	18.2%
	801-1000 employee	48	19.9%	33	18.2%	19	7.9%	10	5.5%
	1001-1200 employee	5	2.1%	0	0.0%	87	36.1%	39	21.5%

From 2019 to 2021, in both cities, the average delivery time and average lead time of raw material increased. Results are shown in Table 11. In 2021, the number of participants who think 21-30-day average lead time of raw material increased. Most of the participants preferred a 31-40-day average delivery time with 46.1% in Bursa and 39.2% in Gaziantep. These are related to pandemic effects on logistics and transportation activities. Delayed activities affected supplier of goods, also the delivery of goods from companies to customers.

Table 11. Comparison for average lead time of raw material and average delivery time

		2019 January- November				2021 January- November			
		Bursa		Gaziantep		Bursa		Gaziantep	
		n	%	n	%	n	%	n	%
Average Lead time of Raw Metariel	0-10 day	81	33.6%	43	23.8%	30	12.4%	24	13.3%
	11-20 day	159	66.0%	138	76.2%	126	52.3%	81	44.8%
	21- 30 day	1	0.4%	0	0.0%	85	35.3%	76	42.0%
Average Delivery Time	0-10 day	43	17.8%	35	19.3%	17	7.1%	23	12.7%
	11-20 day	48	19.9%	47	26.0%	43	17.8%	16	8.8%
	21- 30 day	109	45.2%	57	31.5%	70	29.0%	71	39.2%
	31- 40 day	41	17.0%	42	23.2%	111	46.1%	71	39.2%

5. Conclusions and recommendations

New Coronavirus has been affecting the world since the end of 2019. Many people and businesses were affected by the pandemic so the impact analysis gained importance to understand pandemic impacts and make action plans to overcome with less severely.

In this study, the New Coronavirus pandemic impacts on the textile sector in Bursa and Gaziantep were analyzed. A questionnaire was applied on 241 companies from Bursa and 182 companies from Gaziantep. The questionnaire includes descriptive questions, economic impact questions with three subsets; COVID-19 effect on the sustainability of economic activities, opinions on economic policies implemented in COVID-19, and economic forecasts for post-COVID-19 and eight different criteria to compare different years.

Most of the participants in Bursa and Gaziantep thought that; they need to decrease the number of employees working at the company, taken precautions were not sufficient, inflation and unemployment will increase post-COVID-19. Participants have generally negative opinions about economic aspects, these show that taken precautions are not sufficient for the textile sector in Bursa and Gaziantep. For post-COVID-19, government and businesses can prepare better economic support packages. Different hypotheses were also tested in study. According to the results, there is no significant difference between the gender and how participants were affected by the pandemic. In Bursa, participants have fewer negative opinions about the sustainability of economic activities. There are significant difference in terms of some subsets between the operation year, legal status, market, monthly export average, and a monthly turnover of companies. Higher operation year is an advantage for COVID-19 effect on the sustainability of economic activities. Sole proprietorship affected more than corporations and limited companies, international serving is also an advantage for some subsets. So being institutional and international service have an advantage during the pandemic. As a firm size, operation year, and monthly turnover increases opinions of participants appear to be more positive.

In the final stage, eight different criteria were compared by the years 2019 and 2021. According to results, in both cities, monthly operation capacity, monthly turnover, monthly domestic sales, monthly export average, and monthly exporting country, the average number of monthly employees increased in 2021 compared to 2019. But, participants stated that average delivery time and average lead time increased in 2021. These are related to disrupted logistics activities during the pandemic and closed companies made it difficult to reach suppliers. In both cities despite the pandemic effect, disrupted logistics activities and its negative effects on the economy, and monthly operation capacity, monthly turnover, monthly domestic sales, monthly export average, monthly exporting country, the average number of monthly employees increased in 2021 compared to 2019. These show that despite the participants' negative opinions related to economic impacts, most of the criteria developed on the textile sector in Bursa and Gaziantep. That is also confirmed with increased export volume of Bursa and Gaziantep in 2021 compared to 2020. But decreased textile export in Turkey revealed that, Bursa and Gaziantep cities have good performance in Turkey despite the negative opinions on economy.

Questionnaire studies are beneficial ways to analyze participants' opinions. The limitation of this study is the examination of two cities in the textile sector. By increasing the sample cities, similar questionnaires may conduct in the textile sector or other sectors. This may be helpful to realize their deficiencies and strength, analyze suppliers' performance, take actions for post-term, and prepare strategic plans for similar disasters or diseases. Also, studies showed that during the pandemic, firm size, operation year, institutionalism, and technology gained importance. These companies impacted less than others within their industry. Transitioning to institutionalization and using technology more will make businesses stronger for all difficulties in the future.

Contribution of researchers

Melike Bulur reviewed the literature, conducted the questionnaire, and made data analysis. Eren Özceylan contributed to the interpretation of analysis results, examined methodology and coordinated the research process. Cihan Çetinkaya contributed to reviewing the adequacy of scientific publication research, preparing the questionnaire setup and reviewing the written language.

Conflict of interest

The authors declared that there is no conflict of interest.

References

- Aracı, S., & Ergen, F. D.(2021) Evaluation of the effects of the COVID-19 epidemic on the technological innovations of hotel businesses. *Balıkesir University Journal of Social Sciences Institute Balıkesir*, 24(46-1), 1271-1282 doi: <https://doi.org/10.31795/baunsobed.1020216>
- Ayşegül, Han., Pehlivan, C., & Konat, G. (2022). Emprical Analysis of the effects of the COVID-19 pandemic process on the Turkish economy, *Journal of Health and Social Welfare Research*, 4(1), 32-49. doi: <https://doi.org/10.25272/j.2149-8539.2021.7.2.06>
- Beck, T. (2020). Finance in the times of coronavirus. *Economics in the Time of COVID-19*, 73. <https://voxeu.org/content/economics-time-covid-19> Accessed on: May 1, 2022
- Belhadi, A., Kamble, S., Jabbour, C. J. C., Gunasekaran, A., Ndubisi, N. O., & Venkatesh, M. (2021). Manufacturing and service supply chain resilience to the COVID-19 outbreak: Lessons learned from the automobile and airline industries. *Technological Forecasting and Social Change*, 163, 120447. doi: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120447>
- Danışmaz, A. T. (2020). The Effect of Covid-19 Epidemic to Consumers' Online Shopping Behavior. *Social Sciences Research Journal*, 9(2), 83-90. <https://dergipark.org.tr/en/pub/ssrj/issue/54392/725825> Accessed on: May 1, 2022
- Taha, E. Ğ. R. İ., & Doğaner, A. (2020). Covid-19 and the economic crisis: an assesment and policy recommendations on SMEs, *Istanbul Trade University, Journal of Social Sciences*, 19(37), 128-145. <https://dergipark.org.tr/en/pub/iticusbe/issue/55168/754384> Accessed on: May 1, 2022
- Keskin, İ. An Evaluation of the financial outlook of SMEs during the Covid-19 outbreak: The case of Denizli Textile Businesses. *Trakya University Journal of Social Sciences*, 23(2), 571-592. doi: <https://doi.org/10.26468/trakyasobed.798638>
- Gruszczynski, L. (2020). The COVID-19 pandemic and international trade: Temporary turbulence or paradigm shift?. *European Journal of Risk Regulation*, 11(2), 337-342. doi: <https://doi.org/10.1017/err.2020.29>
- Ivanov, D. (2020). Predicting the impacts of epidemic outbreaks on global supply chains: A simulation-based analysis on the coronavirus outbreak (COVID-19/SARS-CoV-2) case. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 136, 101922. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.101922>
- Kaiser, H. F. An index of factorial simplicity. *Psychometrika*, 39(1), 31-36, 1974 doi: <https://doi.org/10.1007/BF02291575>
- Kabadayı, M. and Kardeş, N. (2020). Domestic Tourist Behavior of Covid- 19 (Coronavirus) and Effects on Travel Trends, *Journal of Turkish Tourism Research*, 4 (4): 3703-3719 https://www.tutad.org/2020/vol4_issue4_article33_fulltext.pdf Accessed on: June 5, 2022
- Kaur, K. (2021). The early impact of COVID-19 on textile industry: an empirical analysis. *Management and Labour Studies*, 46(3), 235-247. doi: <https://doi.org/10.1177/0258042X21991018>
- Leung, W.C. *Statistics and evidence-based medicine for examinations*. Radcliffe Publishing, 2001
- Ministry of Commerce, General Directorate of Export (2019) Textile and raw materials sector report, Ankara: Ministry of Commerce <https://ticaret.gov.tr/data/5b87000813b8761450e18d7b/Tekstil%20ve%20Hammaddeleri%20Raporu.pdf> Accessed on: September 17, 2022
- Mishra, M., & Mishra, P. (2021). Prioritizing financial crises due to covid-19: an economic safety and sustainability approach in India. *International Journal of System Dynamics Applications (IJSDA)*, 10(1), 65-75. : <https://www.researchgate.net/publication/341616806> Accessed on: June 1, 2022

Nakiboğlu, A. & Işık, S. (2020) ‘Impact of the Covid-19 Outbreak on the Economy: A Research Study on Business Owners in Turkey, *Turkish Studies*, 2020 doi: <https://dx.doi.org/10.7827/TurkishStudies.43368>

Uyanık, S., & Çeliker, D. (2019). General Situation of the Turkish Textile Industry, *Journal of Technical Sciences*, 9(1), 33-35 <https://dergipark.org.tr/en/pub/tbed/issue/43343/460866> Accessed on: June 1, 2022

Ünüvar, İ., & Aktaş, H. Covid-19 pandemics economic effects in the World and Turkey, *Selçuk University Journal of Social Sciences Vocational School*, 25(1), 124-140. doi: <https://doi.org/10.29249/selcuksbmyd.1017717>

World Health Organization, Novel Coronavirus (2019-nCoV) Situation Report, <https://apps.who.int/iris/handle/10665/330760> , Accessed on: January 02, 2022

Worldometer, Available: <https://www.worldometers.info/coronavirus/> Accessed on: December 17, 2022

TİM (Turkish Exporters Assembly), Available: <https://tim.org.tr/tr/ihracat-rakamlari/> , Accessed on: June 1, 2022

Textile Industry Analysis Report and Guide for TR32 Region 2021, *Response and Resilience Project to the Covid-19 Crisis*, Ministry of Industry and Technology Development Agencies General Directorate, 2021, <https://www.kalkinmakutuphanesi.gov.tr/assets/upload/dosyalar/tekstil-tr32-.pdf> Accessed on: March 20, 2022.



Journal of Turkish Operations Management

Airport terminal flow simulation: impact analysis of self-service check-in technologies usage past and during the Covid-19 pandemic

Niyazi Cem Gürsoy^{1*}, Savaş Selahattin Ates²

¹Flight Training, University of Turkish Aeronautical Association, Ankara
e-mail: ncgursoy@thk.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0003-2743-5314>

²Aviation Management, Eskisehir Technical University, Eskisehir
e-mail: ssates@eskisehir.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0003-2462-0039>

*Corresponding Author

Article Info

Article History:

Received: 16.11.2021
Revised: 23.03.2022
Accepted: 02.07.2022

Keywords

Check-in processes,
Covid-19,
Queue,
Modeling,
Simulation,

Abstract

Check-in is the process that passengers wait for the most before their flight. Waiting times of passengers will vary depending on the number of counters at the airport, the number of self-service facilities, and whether passengers benefit from online/mobile check-in technologies. As a result of the measures taken at airports with the Covid-19 pandemic, check-in processing times have been prolonged. In this study, Esenboğa airport domestic departure check-in operations are simulated with the ARENA-TRIAL simulation program. The developed scenarios were simulated at peak hours. Initially, it was determined that the number of employees and facilities should be increased to keep the service level at standards during the Covid-19 pandemic thanks to the optimum number of facilities obtained. Secondly, it was determined that the time spent by passengers for check-in processes increased significantly during the Covid-19 pandemic. In addition, it has been observed that the placement of the optimum number of self-bag drop facilities at the airport reduced the average waiting time required for the check-in processes of passengers in the period before and during Covid 19. Finally, during the Covid-19 pandemic, the airport queue density has increased dramatically.

1. Introduction

Airports are very complex systems and there are two types of passenger flow, departure passenger flow and arrival passenger flow. According to the model developed by Novrisal et al. (2013), the time passengers spend in the check-in queue during the departure process constitutes 61% of the total departure travel time. The less time passengers spend in the system, the higher their satisfaction will be (Guizzi, Murino, and Romano 2009). Today, some applications such as online check-in, self-service kiosks used at the airport and baggage bag drop areas have been developed to reduce the check-in time of passengers. In a 2018 study, 27% of check-in transactions are done online and 16% through kiosks. 33% of baggage tagging processes and 20.5% of baggage delivery took place via kiosks (SITA 2019). However, the perceived ease of use and perceived usefulness of self-service kiosks shape the kiosk usage preferences of passengers and that causes self-service kiosks that are difficult to use and time-consuming not to be preferred (Taufik and Hanafiah 2019). Recent studies show that many factors affect the acceptance of self-service kiosks, such as the age of the passenger, education level, nationality, previous experience, flight destination, type of journey; therefore, a significant portion of demand will continue to do traditional check-in (Castillo-Manzano and López-Valpuesta 2013; Chang and Yang 2008; Lu, Chou, and Ling 2009; Wittmer 2011). In the global survey conducted by IATA (International Air Transport Association) (2019), it was seen that 78% of passengers were satisfied with their current check-in process and 80% did not want to wait more than three minutes for baggage delivery.

At the beginning of 2020, as a result of the social distance and hygiene rules implemented within the scope of the fight against the Covid-19 epidemic that emerged, airport passenger flow processes have been reshaped. In this context, many airports in the world have adopted different practices and the time spent by the passengers in the airport has been extended. Check-in processes, on the other hand, were more hygienic and could be done by increasing the social distance between people. In the future, applications and technologies will be developed that will enable passengers who check-in in airport systems to contact each other less, create less queues and wait less. Serrano and Kazda (2020) emphasized that more self-service kiosks will be used for check-in processes in the future, the use of biometric technological solutions will increase, and processes can develop to check the immunity of passengers or their vaccination status.

Thanks to the self-service kiosks, online check-in and baggage drop-off units at the airports, the waiting times in traditional check-in processes are tried to be reduced. In addition, since the use of these technologies during the emerging pandemic process reduces interpersonal contact, it is recommended to be used by the authorities. The effects of these technologies developed for check-in operations on pre-Covid-19 and amid-Covid-19 check-in processing times have been tried to be demonstrated by simulation, assuming that the airport operates in IATA optimum service level standards.

Motivation of the research is to measure the trend towards dehumanization in the aviation industry. The COVID-19 outbreak has had an unprecedented impact on industry. The incentives of the authorities and the increasing trend in the sector lead to the use of unmanned technologies that can use self-service more. When the literature is examined, no studies have been encountered that investigate how airport processes were affected during the Covid-19 period and to what extent the increase in the use of self-service technologies would affect the processes. The fact that this study explores these issues shows its originality.

While creating the content design of the article, a literature review was made first. Then, simulation assumptions were given in the methodology part and scenarios were simulated. The hypotheses were tested based on the simulation results. Depending on the data obtained, the results are given in the last section.

2. Literature review

Many studies with simulation, optimization and hybrid approaches have been carried out on airport check-in activities. The most cited and most up-to-date literature on simulating check-in activities at airports has been scanned. Joustra and Dijk (2001) presented a toolbox to demonstrate why simulation is necessary in evaluating check-in operations and to simulate check-in counters. They conducted two case studies at the Schiphol Airport. The first of the case studies sought to evaluate operational check-in rules and the other to determine the existing check-in facilities and growth capacity at Schiphol.

Takakuwa and Oyama (2003) simulated airport international departure passenger flow. 25% of the time that the passengers spend at the airports is for waiting, and 80% of this waiting time is at the check-in counters. They created a data generator for simulation. Thanks to the data produced, they tried to test different crowd levels. As a result of the study, they emphasized that the number of passengers who missed their flight could be reduced as the employees who look after the first/business class passengers counters serve economy and group passengers will support the regular staff.

Chun and Mak (1999) developed an intelligent resource simulation system (IRSS) to predict the resource requirements of an international airport. They obtained data by entering the statistical check-in information they obtained into this system, and then they developed the check-in counter assignment system (CCAS), which facilitated the decision of the most appropriate number of counters and when to open. They observed that up to 40% of resources were saved thanks to the systems used.

Bruno et al. (2019) proposed a linear mathematical model for the efficient use of resources in traditional check-in services. They built the model with the aim of minimizing the waiting time depending on the capacity of incoming flights and aircraft. As a result of the implementation of the model, the service levels of the check-in counters were prevented from being idle and the most appropriate personnel programming was ensured.

Galanda et al. (2019) developed a simulation model to determine the number of check-in desks at the airport. In order to simulate the airport check-in process, they evaluated the software and made their applications on the ARENA software. The time data spent by the passengers during the check-in was obtained from a manufacturer that they created by programming.

Rolim et al. (2020) studied operating procedures and how demand growth affects check-in service level. They developed 273 scenarios on São Paulo–Guarulhos airport international departure check-in desks. As a result of

the study, they found that the most important factors are the counter processing time, the number of counters per airline, the use of self-service technologies and the opening time of the check-in desks.

When the literature is examined, no studies have been found that simulate airport check-in processes and investigate delays during the Covid-19 process. With this study, it has been tried to show that the optimum number of facilities can be determined by simulation tools when delay may occur and examine the Covid-19 detention effect on check-in queue.

3. Methodology

In this study, an airline's domestic check-in transactions were simulated at Esenboğa airport. Self-service check-in services are used at Esenboğa airport and passengers can check-in online. However, when passengers use self-service, they cannot leave their luggage. In this study, the following hypotheses were investigated.

H1: The measures taken amid the Covid-19 outbreak extended the duration of check-in services.

H2: Before Covid-19, self-service baggage bag drop shortens the check-in process.

H3: During the Covid-19, self-service baggage bag drop shortens the check-in process.

The winter schedule of the airline that makes the most domestic flights at Esenboğa airport has been examined. The months of December 2020, January 2021 and February 2021 are taken into account. In the research, data that will form an input to the simulation were obtained by using the departure times of the flights. 00:01-23:59 hours on Monday are determined as the solstice. In this context, 9-night flights fat 23:55 hours are concentrated, were chosen as the application. It is worked with an intersection covering 4 hours before 23:55, which is the busiest hour in the simulation.

The aforementioned airline starts the check-in procedures 24 hours in advance and the check-in procedures end 60 minutes before the flight.

Airport service level is a concept that includes standards developed for the design and expansion of facilities and monitoring of existing facilities (IATA 2014). Service level standards are used to set requirements for efficiency in airport design. Optimum space requirements and waiting times for passengers for check-in facilities are given in Table 1.

Check-in processes are given in Figure 1. Only the third of the processes given is not implemented at Esenboğa airport. Esenboğa airport has been simulated by the scenario of putting 2 bag drop facility into service at the selected airline counter.

Table 1. Airport check-in service levels (IATA 2004, 2014)

	Space Standards for Waiting Areas (m ² /pax)					Waiting Time Standards for Processing Facilities (Minutes)				
	A	B	C	D	E	Economy Class				
ADRM ¹ 9. Edition	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
ADRM 10. Edition	Over Design		Optimum	Suboptimum		Over Design		Optimum	Suboptimum	
Self Service Boarding Pass	>1.8		1.3-1.8	<1.3		0		0-2	>2	
Bag Drop Desk (queue width 1.4-1.6 m)	>1.8		1.3-1.8	<1.3		0		0-5	>5	
Check-in Desk (queue width 1.4-1.6 m)	>1.8		1.3-1.8	<1.3		<10		10-20	>20	

3.1 Assumptions and Limitations of Simulation

It is assumed that all passengers included in the simulation are flying in economy class. It is assumed that none of the passengers arrive on international or connecting flights. It is assumed that all nine aircraft that will take off at 23:55 are B737-8 model aircraft and have a capacity of 189 passengers. It is accepted that passengers other than the flights at the specified time do not check-in.

Measures to be taken against pandemics at Turkish Airports are determined in accordance with the "Airport Pandemic Precautions and Certification Circular" published by the Directorate General of Civil Aviation (DGCA). In addition, Esenboğa has also ensured compliance with the measures determined by European Union Aviation Safety Agency (EASA). Within the scope of these measures, it has been determined to take the following precautions during check-in procedures.

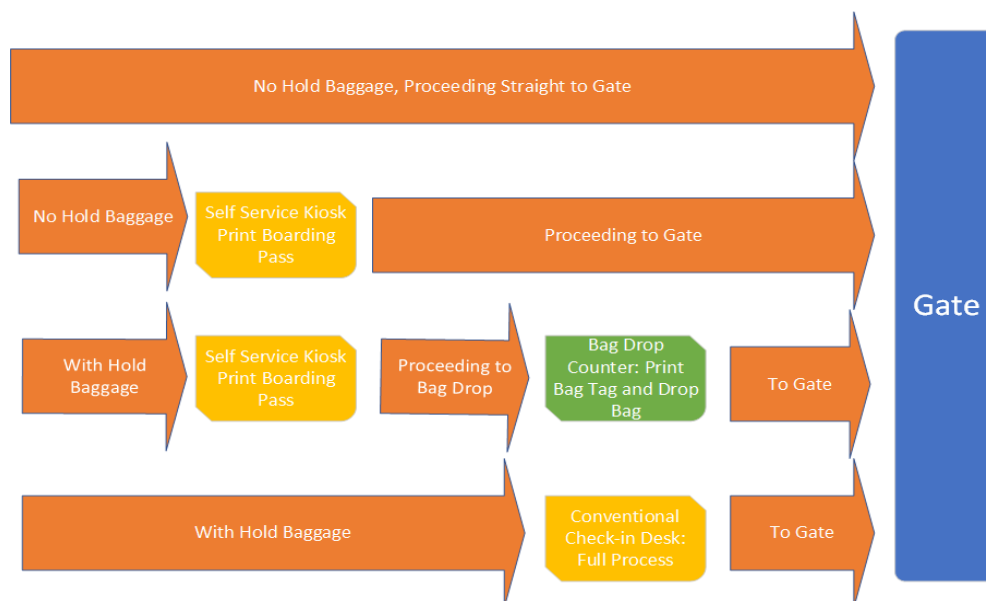


Figure 1. Check-in processes

¹ Airport Development Reference Manual

1. Measures are taken to maintain social distance at least 1 meter in all airport facilities and terminal building.
2. Cabin baggage is not accepted on flights, the items to be accepted are limited to laptop computers, handbags, briefcases, and baby items; all other items are provided to the luggage during the check-in process.
3. It is encouraged to switch to SMS/QR Code and Electronic check-in applications, instead of the printed boarding pass, if possible. If it is not possible, the use of machines is provided for the passengers to receive the boarding pass in a way that minimizes their contact with the employee.
4. It is encouraged to implement technologies for remote contactless reading of the Republic of Turkey ID card at the check-in counters in a way that prevents the officer from contacting the passenger at the check-in counters.

During the Covid-19 pandemic, mobile or online check-in is not allowed in some lines of air transportation, depending on the center to be visited. It has been accepted that there is no obstacle in making mobile or online check-in for all of the flights taken as a basis in this study. Considering the above-mentioned measures for Covid 19, the following assumptions were made for the simulation.

- It is assumed that passenger arrivals start 5 hours before the flight time and end 1 hour before It has been observed that the time between the arrivals of passengers close while the departure time has come, and parallel results have been obtained in studies on passenger arrivals (Appelt et al. 2007; Park and Ahn 2010). Therefore, passenger arrivals are assumed to be exponentially distributed.
- It has been accepted that passengers can obtain their boarding passes from online, mobile, self-service kiosks and check-in counters. SITA survey data was used to determine the check-in probabilities of arriving passengers (SITA 2019). The developed probability network is given in Figure 3. It is assumed that 24% of arriving passengers get their boarding passes online and via mobile phone, 35% print them from self-service kiosks, and 41% of the remaining passengers get their boarding passes from the traditional check-in counter.
- It is assumed that 75% of the passengers who purchased their boarding passes online do not have baggage. Because, according to the survey data, 18% of the passengers perform their boarding operations with their phones ($0.75 \times 0.24 = 0.18$). It is assumed that half of the remaining 25% deliver their luggage at the check-in counter and the other half at the self-service bag drop unit. In the scenario where there is no bag drop unit, the baggage delivery option is only at the check-in counters.

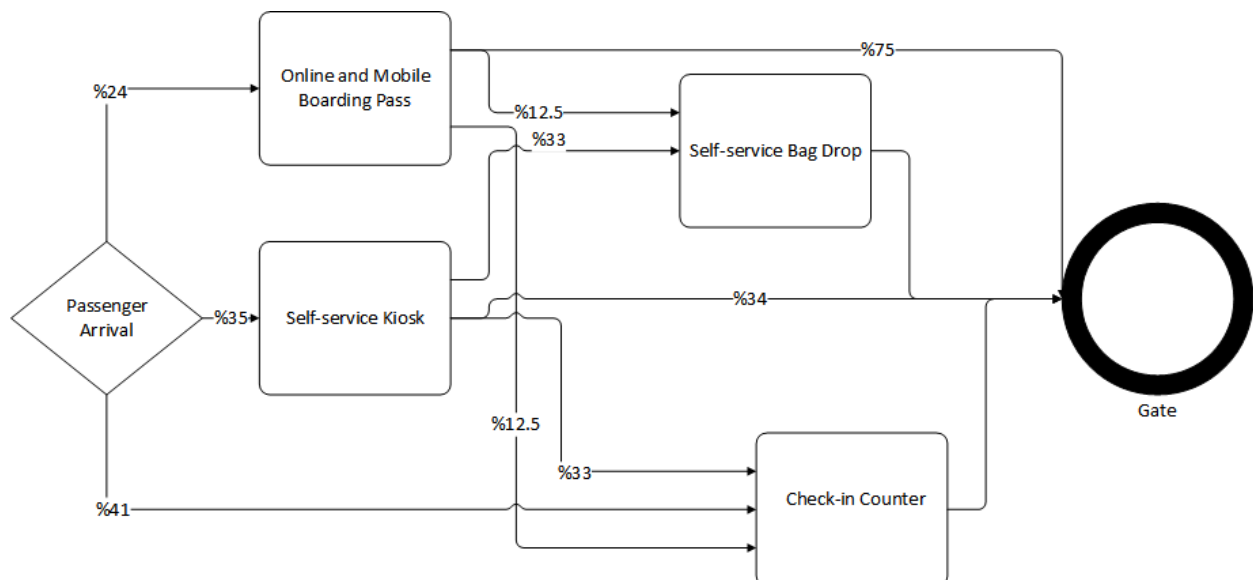


Figure 2. Check-in probability map

3.1.1 Simulation 1 Assumptions

In Scenario 1, the following assumptions were made, taking into account the existing infrastructure of Esenboğa airport:

- The time spent by the passengers in self-service kiosk transactions is assumed to be triangular (0.5, 1, 2) minutes, taking into account the IATA service standards in Table 1.

- Considering the IATA standards of the passengers, the duration of the service provided at the check-in counter is assumed to be (1, 3, 4) minutes.
- After the self-service kiosk, the probability of the passengers to leave their baggage, to go to the gate and check-in counters is taken as equal.

3.1.2 Simulation 2 Assumptions

In the second scenario, it takes into account the measures taken within the scope of Covid-19 measures. The assumptions determined accordingly are given below:

- Passengers were encouraged to use self-service check-in during the Covid-19 process. Since some passengers are using these technologies for the first time, it is assumed that there will be an average delay of 30 seconds in transactions. The determined distribution was taken as (1, 1.5, 2.5).
- Due to the changes in the cabin baggage handling rules with the measures specified in the 2nd, 3rd and 4th articles of the DGCA circular check-in procedures; It is accepted that the processing time of the passengers at the check-in counter will increase by 1.5 minutes on average. It is assumed that the service time at the check-in counter is distributed in a triangle, and the processing times are taken as (2.5, 4.5, 6.5) minutes.

3.1.3 Simulation 3 Assumptions

In Scenario 3, the assumptions made as a result of adding a self-service bag drop unit to regular check-in facilities, regardless of Covid-19 measures, are stated:

- It is assumed that the service time of the self-service baggage release unit is distributed in a triangle and the processing times are accepted as (1, 2.5, 4) minutes based on Table 1.

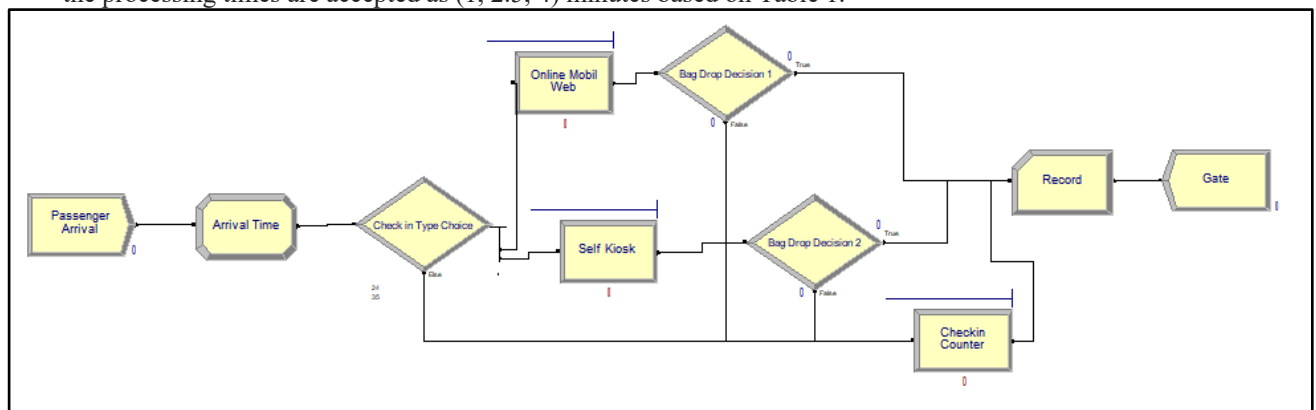


Figure 3. Check-in processes simulation model

Figure 3 shows the model of scenario 3 developed to simulate check-in processes in Arena software. The model here was created taking into account the scenario in which the self-service bag drop unit is included in the process. Other scenarios are modeled similarly.

3.1.4 Simulation 4 assumptions

In this scenario, it is assumed that Covid-19 measures are implemented and self-service baggage drop units are added to the check-in system.

- It is assumed that the service time of the self-service baggage release unit is triangular as in other scenarios. As a result of the covid-19 measures, it is assumed to be longer the usage time of the facility is 30 seconds then the distribution is (1.5 3 4.5) minutes.

4. Analysis and findings

Within the framework of the determined assumptions, 4 main scenarios were run in the Arena software. The optimum number of check-in counters, self-service kiosks and self-service bag drop facilities were determined for each scenario. The optimum number of check-in counters and self-kiosks for the scenarios is determined based on the general check-in process times of the passengers in Table 2. The process analysis (PAN analyzer)

of the Arena software was used. The main scenarios developed were tested with different sub-scenarios. Each scenario was simulated 10 times, and the average time for passengers to complete their check-in procedures after entering the terminal and arrive at the airside security checkpoint was determined.

Table 2. Optimum check-in facility numbers

	Self-Kiosk	Check-in Desk	Self Service Bag Drop Unit	Passengers Waiting Times (min)
Scenario 1 (Before Covid-19)	4	12	-	11,45
Scenario 2 (Amid Covid-19)	5	19	-	10,94
Scenario 3 (Before Covid-19 + Self Bag Drop)	4	10	3	9,45
Scenario 4 (Amid Covid-19 + Self Bag Drop)	5	16	5	10,73

For example, in order to determine the optimum number of check-in counters in scenario 2, the number of self-service kiosks was kept constant and the most suitable values that provide the closest waiting standards in Table 1 were accepted as optimum. As seen in scenario 2, it was necessary to increase the number of self-kiosks by 1 and the number of open check-in counters by 7, compared to the pre-Covid-19 situation, in order to ensure an average wait of 11 minutes during the Covid-19 process.

When Scenario 1 and Scenario 3 are compared, the inclusion of 3 self-service bag drop units in the system caused the number of self kiosks to remain constant and the number of check-in counters to decrease by 2. Scenarios 2 and 4 were compared in order to compare the number of facilities in the case of adding a self-service bag drop unit to the system during the Covid-19 process. In scenario 4, 5 self-service bag drop unit were included in the system and the number of open check-in counters was reduced by 3.

Table 3. Accepted number of check-in facilities in testing hypotheses

	Check-in Desk	Self-Kiosk	Self Service Bag Drop Unit
Scenario 1 (Before Covid-19)	4	12	-
Scenario 2 (Amid Covid-19)	4	12	-
Scenario 3 (Before Covid-19+ Self Bag Drop)	4	12	3
Scenario 4 (Amid Covid-19 + Self Bag Drop)	4	12	3

The scenarios were simulated 15 times over the number of facilities given in Table 4, and the hypotheses H1, H2 and H3 were investigated. Based on the number of facilities in Table 3, it was simulated 15 times.

Table 4. Simulations output summary

	Scenario 1 (Before Covid-19)		Scenario 2 (Amid Covid-19)		Scenario 3 (Before Covid-19 + Self Bag Drop)			Scenario 4 (Amid Covid-19 + Self Bag Drop)		
	contour	self-kiosk	contour	self-kiosk	contour	self-kiosk	self bag drop	contour	self-kiosk	self bag drop
number of waiting passengers	40,95	1,5	219,4	25,2	4	1,5	2,6	141,7	21,3	6,1
passenger waiting time (min)	8,47	0,58	47,2	9,7	1	0,6	2,5	36,2	8,4	6
utilization	0,98	0,74	0,99	0,98	0,86	0,73	0,85	0,99	0,97	0,94

As can be seen in Table 4, the queue in front of the check-in counter during the epidemic periods extended and the waiting times of the passengers extended. With the introduction of the self-service baggage release unit, the

utilization rates of the facilities have decreased even more. However, during the Covid-19 epidemic periods, the utilization of the counter continued at the level of 99%.

The t-test was used to test the hypotheses. The simulated scenario data was analyzed using the SPSS package program. The following assumptions must be provided for the t-test used to test the difference between unrelated groups (Anderson et al. 2010).

- There must be no relationship between the observations in each group or between the groups themselves.
- Each sample group must be approximately normally distributed.
- Variances are homogeneous.

First of all we tested the homogeneity of groups with applying Levene's test. In Table 5, scenario 1 and scenario 2 groups are tested. The test statistic is 4,747 and the corresponding p-value is .038. Since this p-value is less than .05, we reject the null hypothesis. This means two groups have different variances.

Table 5. Homogeneity test of scenario 1 and scenario 2 variances

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.	
scenario1_2	Based on Mean	4,747	1	28	,038
	Based on Median	4,651	1	28	,040
	Based on Median and with adjusted df	4,651	1	24,853	,041
	Based on trimmed mean	4,735	1	28	,038

In Table 6, scenario 1 and scenario 3 groups Levene statistics is given. The test statistic is 15,445 and the corresponding p-value is .001. Since this p-value is less than .05, we reject the null hypothesis. This means two groups have different variances.

Table 6. Homogeneity test of scenario 1 and scenario 3 variances

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.	
scenario1_3	Based on Mean	15,445	1	28	,001
	Based on Median	14,613	1	28	,001
	Based on Median and with adjusted df	14,613	1	14,663	,002
	Based on trimmed mean	15,178	1	28	,001

In Table 7, scenario 2 and scenario 4 groups are tested with Levene's test. The test statistic is ,195 and the corresponding p-value is .662. Since this p-value is not less than .05, we do not reject the null hypothesis. This means two groups have equal variances.

Table 7. Homogeneity test of scenario 2 and scenario 4 variances

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.	
scenario2_4	Based on Mean	,195	1	28	,662
	Based on Median	,052	1	28	,821
	Based on Median and with adjusted df	,052	1	25,322	,821
	Based on trimmed mean	,151	1	28	,700

Another assumption that we need to provide in order to apply the t-test is that the groups are normally distributed. This assumption is demonstrated by the Shapiro-Wilk test, because of our sample is less than 30.

Table 8. Normality tests scenario 1

	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Simulation_1	,123	15	,200*	,955	15	,599

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

In Table 8, p value of Shapiro-Wilk is not less than .05. We do not reject the null hypothesis which means scenario 1 data is normally distributed.

Table 9. Normality tests scenario 2

	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Simulation 2	,145	15	,200*	,978	15	,955

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

In Table 9, p value of Shapiro-Wilk is not less than .05. We do not reject the null hypothesis which means scenario 2 data is normally distributed.

Table 10. Normality tests scenario 3

	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Simulation 3	,144	15	,200*	,959	15	,669

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

According to the normality test in Table 10., the Shapiro-Wilk p value is greater than .05. Therefore, the null hypothesis is not rejected, and this shows that the simulation 3 values are normally distributed.

Table 11. Normality tests scenario 4

	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Simulation 4	,162	15	,200*	,942	15	,411

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

As in other normality tests, the Shapiro-Wilk p value in Table 11. is greater than .05. Therefore, the null hypothesis is not rejected and this shows that the simulation values are normally distributed.

Data analysis and independent t-test were performed with MS Excel and the data obtained are given in Table 4.

$H_{10}: \mu_1 = \mu_2$ There is no difference between check-in processing times before and during Covid-19.

$H_{11}: \mu_1 \neq \mu_2$ There is a difference between check-in processing times before and during Covid-19.

Table 12. Scenario 1 and scenario 2 simulation data t-test

	Total Check-in Processing Time Before Covid-19 (Scenario 1)	Total Check-in Processing Time Before Covid-19 (Scenario 2)
Mean	7,60748	29,89714
Variance	4,052104132	11,39061422
Observations	15	15
Hypothesized Mean Difference	0	
df	23	
t Stat	-21,96783197	
P(T<=t) one-tail	0,00000000000000003	
t Critical one-tail	1,713871528	
P(T<=t) two-tail	0,00000000000000006	
t Critical two-tail	2,06865761	

An independent t-test was performed assuming that the two samples had different variances for scenario 1 and scenario 2 simulation. According to the results of the test, a statistically significant difference was observed between the average of the check-in processing times before Covid-19 $\bar{x}_{scenario1} = 7,6$ and the average of the check-in processing times during the Covid-19 period $\bar{x}_{scenario2} = 29,9$ $t(23) = 3 * 10^{-17}; p < 0,05$. Depending on this result, it can be said that check-in processing times have increased during the Covid-19 process. The following basic and alternative hypotheses have been developed for the H2 hypothesis.

$H_{2_0}: \mu_1 = \mu_3$ Check-in processing times will not be affected when a self-service bag drop unit is included in the system before Covid-19.

$H_{2_1}: \mu_1 \neq \mu_3$ Check-in processing times will change when a self-service bag drop unit is included in the system before Covid-19.

Table 13. Scenario 1 and scenario 3 simulation data t-test

	Total Check-in Processing Time Before Covid-19 (Scenario 1)	Total Check-in Processing Time When Bag Drop Units are Included in the System Before Covid-19 (Scenario 3)
Mean	7,60748	3,40026
Variance	4,052104132	0,124620935
Observations	15	15
Hypothesized Mean Difference	0	
df	15	
t Stat	7,973020991	
P(T<=t) one-tail	0,000000449	
t Critical one-tail	1,753050356	
P(T<=t) two-tail	0,000000898	
t Critical two-tail	2,131449546	

In Table 13, an independent t-test was performed assuming that the two samples had different variances for scenario 1 and scenario 3 simulation. According to the results of the test, there is a statistical difference between the average of check-in processing times before Covid-19 $\bar{x}_{scenario1} = 7,6$ and the average of check-in processing times $\bar{x}_{scenario3} = 3,4$ when bag drop units are included in the system before Covid-19 $t(15) = 449 * 10^{-9}; p < 0,05$. Based on this result, it can be said that check-in processing times are shortened when bag drop units are included in the system before Covid-19.

The following basic and alternative hypotheses have been developed for the H3 hypothesis.

$H_{3_0}: \mu_1 = \mu_4$ Check-in processing times will not be affected when a self-service bag drop unit is included in the system during the Covid-19.

$H_{3_1}: \mu_1 \neq \mu_4$ Check-in processing times will change when a self-service bag drop unit is included in the system during the Covid-19.

Table 14. Scenario 2 and scenario 4 simulation data t-test

	Total Check-in Processing Time During Covid-19 (Scenario 2)	Total Check-in Processing Time When Bag Drop Units are Included in the System During Covid-19 (Scenario 4)
Mean	29,89714	23,58166667
Variance	11,39061422	14,74225781
Observations	15	15
Pooled Variance	13,06643602	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	28	
t Stat	4,784735823	
P(T<=t) one-tail	0,000024979	
t Critical one-tail	1,701130934	
P(T<=t) two-tail	0,000049958	
t Critical two-tail	2,048407142	

In Table 14, an independent t-test was performed assuming that the two samples had equal variances. According to the results of the test, there is a statistical difference between the average of the check-in times of the during Covid-19 $\bar{x}_{scenario2} = 11,4$ and the average of the check-in processing times $\bar{x}_{scenario4} = 14,7$ when bag drop units are included in the system during the Covid-19 $t(28) = 25 * 10^{-6}; p < 0,05$. Depending on this result, it can be said that the check-in process times are shortened when self-loading facilities are included in the system during the Covid-19 pandemic.

5. Conclusion

Check-in is one of the reasons for the most common delay for air travel. Performing check-in procedures quickly and getting passengers on board is effective in determining the quality of the service provided. In order to prevent the spread of the Covid-19 epidemic, passengers and employees in many parts of the world have been obliged to comply with various precautions, especially for check-in procedures during air travel. In addition, the use of technologies such as self-service kiosks and self-loading units, which will enable passengers to have less contact with employees during check-in processes, has become widespread. In this study, it has been investigated how the passenger check-in times will be affected if the self-service bag drop unit to be used in check-in processes is used at Esenboğa Airport. On the other hand, the effect of the procedures to be followed during the Covid-19 pandemic on the check-in process has been studied.

In the study, it was first tried to determine the optimum number of facilities before and during the Covid-19 period under certain assumptions. A model of the check-in process was created to determine the optimum numbers. Check-in times under different facility number combinations were obtained by simulating and the optimum number of facilities was reached. In the Covid-19 process, the necessity of more counters has emerged to keep the processing times at the standards. It has been seen that the number of the self kiosk and self bag drop units used should be increased. It has been determined that the widespread use of self-service technologies used in check-in processes reduces the need for labor and has a positive effect on check-in process times.

In order to test the hypotheses put forward in the study, four different scenarios were developed and each scenario was simulated 15 times. An independent t-test was performed to show that the obtained data sets were different from each other. As a result of the tests, it was observed that the check-in processing times during the Covid-19 increased by differentiating from the situation before Covid-19. It has been determined that the self-service technologies used for check-in processes have a positive effect on passenger waiting times both before and during Covid-19. Thanks to these technologies used to reduce contact, the fight against the epidemic has been an effective solution.

With this study, it has been revealed that the use of self-service technologies should be increased in order for airports like Esenboğa, where the number of passengers is increasing and the passenger profile is diversifying, to experience safer and faster airport processes. It is possible to turn the timely service needed by all kinds of passengers into the most efficient processes with the knowledge provided by the times of crisis.

As the arrival distribution of passengers during the Covid period may change, for future studies it can be shown by observation or other data collection methods, how the crisis period affects distributions. By modeling the passenger arrival structures with the data obtained, capacity problems can be investigated for an uninterrupted and fast flow at the airport. By studying airports with the vision of Airport 4.0, completely unmanned passenger departure and arrival processes can be simulated.

Contribution of Researchers

Niyazi Cem Gürsoy developed the model, run the simulation, and checked data with statistical tests. Savaş Selahaddin Ateş reviewed the paper and contributed to the interpretation of model results.

Conflicts of Interest

The authors declared that there is no conflict of interest.

References

- Anderson, David R., Dennis J. Sweeney, Thomas A. Williams, Jeffrey D. Camm, and James J. Cochran. 2010. *Statistics for Business & Economics*. 11. Cengage Learning.
- Appelt, Simone, Rajan Batta, Li Lin, and Colin Drury. 2007. "Simulation of Passenger Check-in at a Medium-Sized Us Airport." *Proceedings - Winter Simulation Conference* 1252–60. doi: [10.1109/WSC.2007.4419729](https://doi.org/10.1109/WSC.2007.4419729).
- Bruno, Giuseppe, Antonio Diglio, Andrea Genovese, and Carmela Piccolo. 2019. "A Decision Support System to Improve Performances of Airport Check-in Services." *Soft Computing* 23:2877–86. doi: [10.1007/s00500-018-3301-z](https://doi.org/10.1007/s00500-018-3301-z).
- Castillo-Manzano, José I., and Lourdes López-Valpuesta. 2013. "Check-in Services and Passenger Behaviour: Self Service Technologies in Airport Systems." *Computers in Human Behavior* 29(6):2431–37. doi: [10.1016/j.chb.2013.05.030](https://doi.org/10.1016/j.chb.2013.05.030).

- Chang, Hsin Li, and Cheng Hua Yang. 2008. "Do Airline Self-Service Check-in Kiosks Meet the Needs of Passengers?" *Tourism Management* 29(5):980–93. doi: [10.1016/j.tourman.2007.12.002](https://doi.org/10.1016/j.tourman.2007.12.002).
- Chun, Hon Wai, and Raymond Wai Tak Mak. 1999. "Intelligent Resource Simulation for an Airport Check-in Counter Allocation System." *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)* 29(3):325–35. <https://doi.org/10.1109/5326.777069>.
- Galanda, J., E. Jenková, and P. Koščák. 2019. "3D Modeling and Simulation of the Check-in Process Using Information Technology." Pp. 55–59 in *NTinAD 2019 - New Trends in Aviation Development 2019 - 14th International Scientific Conference, Proceedings*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/NTAD.2019.8875583>.
- Guizzi, G., T. Murino, and E. Romano. 2009. "A Discrete Event Simulation to Model Passenger Flow in the Airport Terminal." Pp. 427–34 in *Proceedings of the 11th WSEAS international conference on Mathematical methods and computational techniques in electrical engineering*. <https://dl.acm.org/doi/10.5555/1949006.1949078>.
- IATA. 2004. *Airport Development Reference Manual*. 9. Edition. Montreal Geneva.
- IATA. 2014. *Airport Development Reference Manual*. 10. Edition. Montreal, Canada.
- IATA. 2019. *IATA Global Passenger Survey*.
- Joustra, Paul E., and Nico M. Van Dijk. 2001. "Simulation of Check-in at Airports." Pp. 1023–28 in *Proceeding of the 2001 Winter Simulation Conference (Cat. No. 01CH37304)*. Vol. 2. IEEE. <https://doi.org/10.1109/WSC.2001.977409>.
- Lu, Jin Long, Hung Yen Chou, and Pei Chuan Ling. 2009. "Investigating Passengers' Intentions to Use Technology-Based Self Check-in Services." *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 45(2):345–56. doi: [10.1016/j.tre.2008.09.006](https://doi.org/10.1016/j.tre.2008.09.006).
- Novrisal, D., N. Wahyuni, N. Hamani, A. Elmhamedi, and T. P. Soemardi. 2013. "Simulation of Departure Terminal in Soekarno-Hatta International Airport." Pp. 600–604 in *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2013.6962482>.
- Park, Yonghwa, and Seung B. Ahn. 2010. "Optimal Assignment for Check-in Counters Based on Passenger Arrival Behaviour at an Airport." *Https://Doi.Org/10.1080/03081060310001635887* 26(5):397–416. doi: [10.1080/03081060310001635887](https://doi.org/10.1080/03081060310001635887).
- Rolim, Paula Sutherland Wallauer, Anderson Ribeiro Correia, and Giovanna Miceli Ronzani Borille. 2020. "A Method to Evaluate Determinant Factors on Airport Check-in Level of Service." Pp. 1–13 in *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport*. Thomas Telford Ltd. <https://doi.org/10.1680/jtran.17.00017>.
- Serrano, Francisco, and Antonín Kazda. 2020. "The Future of Airport Post COVID-19." *Journal of Air Transport Management*. doi: [10.1016/j.jairtraman.2020.101900](https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2020.101900).
- SITA. 2019. *Passenger IT Insights*.
- Takakuwa, Soemon, Tomoki Oyama, and S. Chick. 2003. "Simulation Analysis of International-Departure Passenger Flows in an Airport Terminal." Pp. 1627–34 in *Winter Simulation Conference*. Vol. 2. <https://doi.org/10.1109/WSC.2003.1261612>.
- Taufik, Nursyuhada, and Mohd Hafiz Hanafiah. 2019. "Airport Passengers' Adoption Behaviour towards Self-Check-in Kiosk Services: The Roles of Perceived Ease of Use, Perceived Usefulness and Need for Human Interaction." *Heliyon* 5(12):e02960. doi: [10.1016/j.heliyon.2019.e02960](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02960).
- Wittmer, Andreas. 2011. "Acceptance of Self-Service Check-in at Zurich Airport." *Research in Transportation Business and Management* 1(1):136–43. doi: [10.1016/j.rtbm.2011.06.001](https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2011.06.001).



Journal of Turkish Operations Management

Hizmet kalitesinin sayısal yöntemlerle ölçümü: Servqual ölçeği ve istatistiki analiz ile hizmet sektörü örneği

Emre EKİN^{1*}, İlayda Gökçe CESUR²

1 Ekonometri/Yöneylem Araştırması Bölümü, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

e-mail: emrenike@hotmail.com, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-4043-9750>

2 Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bursa Teknik Üniversitesi, Bursa, Türkiye

e-mail: gokcecesur99@gmail.com, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-8365-0417>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Özet

Makale Geçmişi:

Geliş: 17.12.2021
Revize: 20.06.2022
Kabul: 02.07.2022

Anahtar Kelimeler:

Hizmet Kalitesi Ölçümü,
Algılanan Hizmet Kalitesi,
Beklenen Hizmet Kalitesi,
SERVQUAL Modeli,
Likert Ölçek.

Günümüzde artan rekabetle birlikte şirketler tarafından nitelikli ve kaliteli mal ve hizmet sunulması işletmelerin varlıklarını sürdürebilmeleri açısından son derece önemli hale gelmiştir. İşletmeler tarafından sağlanan hizmetin kalitesi müşterilerin beklentilerinden yüksek ise bu durum tüketiciler açısından olumlu ve işletmelerin rakip firmalara karşı üstün olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada, hizmet sistemlerinde mevcut olan hizmet kalitesinin tanımlanması ve bir danışmanlık firmasında hizmet kalitesi ölçümü ele alınmıştır. İşletmeler sundukları hizmet düzeylerini kontrol etmek, düzenlemek müşteri beklentileri ile müşterileri tutup tutmadıklarını bilmek isterler. Bu sebeple kalitenin seviyesini ölçmek işletmelere sunmuş oldukları hizmetlere ilişkin yol haritası sunmaktadır. Kalitenin ölçülebilme özelliğine sahip olması da önemli bir konudur. Çünkü hizmet kalitesinin ölçülmesi sonucu işletmeler kendi sundukları hizmeti gözden geçirme imkânına sahip olacaktır. Üretim sektöründe sunulan hizmetlere ilişkin kalitenin ölçülmesi kolay iken hizmet sektöründe sunulan hizmetlerin kalitesinin ölçülmesi zordur. Çünkü üretim sektöründe üretilen ürünlerin kalite ölçümü kolayca yapılabilirken hizmetlerin soyut yapısından dolayı hizmet sektöründe kalite ölçümü nispeten daha zordur. Bu sebeple, bu zorluğu inceleme adına hizmet sektöründe faaliyet gösteren bir danışmanlık firmasının hizmet kalitesinin ölçümü gerçekleştirilmiştir. Çalışmada anket yöntemi kullanılmış ve çeşitli istatistiki analizler yapılmıştır. Çalışmanın ana küntlesini Danışmanlık Firması'ndan hizmet alan müvekkiller oluşturmuştur. Çalışmada hizmet sektörüne ilişkin SERVQUAL Ölçeği ve istatistiki analiz ile kalite ölçümü gerçekleştirilmiştir. SERVQUAL modeli ile istatistiki analizlerin uygulanması sonucunda elde edilen çıktılar yorumlanmıştır.

Measurement of service quality by numerical methods: an example of the service sector with the servqual scale and statistical analysis

Article Info

Article History:

Received: 17.12.2021
Revised: 20.06.2022
Accepted: 02.07.2022

Keywords:

Service Quality, Measurement, Perceived Service Quality, Expected Service Quality, SERVQUAL Model, Likert Scale.

Abstract

Nowadays, with the increasing competition, the provision of qualified and high-quality goods and services by companies has become extremely important for businesses to maintain their assets. If the quality of the service provided by the enterprises is higher than the expectations of the customers, this indicates that the situation is positive for the consumers and the enterprises are superior to the competing companies. In this study, the definition of the service quality available in service systems and the measurement of service quality in a consulting firm are discussed. Businesses want to control the level of services they offer, regulate customer expectations and know if they keep customers. For this reason, measuring the level of quality provides businesses with a roadmap for the services they provide. It is also an important issue that quality has the ability to be measured. Because as a result of measuring the quality of service, businesses will have the opportunity to review the service they offer themselves. While it is easy to measure the quality of the services offered in the production sector, it is difficult to measure the quality of the services offered in the service sector. Because while the quality measurement of the products produced in the production sector can be easily performed, the quality measurement in the service sector is relatively more difficult due to the abstract structure of the services. For this reason, a measurement of the service quality of a consulting firm operating in the service sector has been carried out in order to examine this challenge. The survey method was used in the study and various statistical analyses were performed. The main mass of the study was made up of clients who received services from a Consulting Firm. In the study, quality measurement was carried out with SERVQUAL Scale and statistical analysis related to the service sector. The outputs obtained as a result of the application of statistical analyses with the SERVQUAL model were interpreted.

1. Giriş

Müşteri sadakati ve işletmelerin devamlılıklarının sağlanması açısından işletmelerin yüksek kaliteli ürünler üretmesi gereklidir. Kaliteli mal ve hizmet sunmak firmaların üzerinde durduğu başlıca problemlerden biri haline gelmiştir. Son yıllarda hizmet sektörünün önemi de bir hayli artmış bulunmaktadır. Hizmet sektörü dâhil olmak üzere tüm sektörlerde faaliyet gösteren işletmelerin kaliteli hizmet sunması zaruridir. Hizmet işletmelerinde diğer işletme birimlerinde olduğu gibi kalite birimleri oluşturulmaya başlanmıştır. Bununla birlikte müşteri memnuniyeti hizmet kalitesinin önemli bileşenlerindedir. Hizmet sağlayan işletmelerin mevcut müşterilerini tutmak ve müşteri potansiyellerini daha da arttırmak için müşterilerin istek ve ihtiyaçlarını göz önünde bulundurmaları zorunludur. Bunun için işletmelerin beklenen ve algılanan kalite düzeylerini ölçmeleri gerekmektedir. Ancak beklenen ve algılanan kalite düzeylerinin ölçülmesi yani hizmet kalitesinin ölçülmesi konusunda birçok araştırmacı fikir birliğine varamamıştır. Çok farklı bakış açılarıyla çok sayıda ölçüm modelleri mevcuttur. Ölçüm modelleri içerisinde en sık kullanılan model ise SERVQUAL 'dir. Çalışmada, kalite kavramı, hizmet kalitesi, hizmet kalitesi modellerinden SERVQUAL modelinin uygulanması ve istatistiki analizlere yer verilmiş olup sonuç kısmında elde edilen bulgular yer almıştır.

2. Kalite

Kalite, bir mal veya ürünün müşteri ihtiyaçlarını karşılayabilme derecesidir. Ancak insanların istek ve ihtiyaçları çok çeşitli ve sınırsız olduğundan dolayı tek bir kalite tanımının yapılması imkânsızdır. Kalite kavramı, kişiden kişiye değişiklik göstermektedir. Kalitenin sahip olması gereken faktörler ise şu şekildedir: Kalite uygun müşteriye uygun ürünün sağlanması, bu ürünler üretilirken çevre standartlarına uyulması, üretilen ürünün kolay kullanım ve bakıma sahip olması, satış öncesi olduğu gibi satış sonrasında da destek ekipleri bulunması, düşük masraf ile kullanım imkânı sağlanması, bilgi akışı servis hizmetlerinin yeterliliği ve sürekliliği (Üvenç, 2019).

2.1 Hizmet kalitesi

Hizmet kalitesi, işletmeler tarafından müşteri isteklerinin karşılanabilme becerisini ifade eder. Rekabetin üst düzey yaşandığı ve müşteri bilincinin yüksek olduğu hizmet sektöründe, işletmelerin yaşamlarını sürdürebilmeleri ve karlılıklarını arttırabilmeleri için kaliteli hizmetin sunulması zorunludur (İnci, 2019). Hizmet kalitesi müşterilerin algısı ve değerlendirmesi sonucu ölçümlenmektedir

. Hizmetler soyut özellikleri bakımından fiziksel ürünlerden farklılık göstermekte ve hizmet kalitesi de soyut bir şekilde açığa çıkmaktadır. Hizmeti sağlayan işletme için hizmet kalitesi, kendilerini rakiplerinden farklılaştırmak için önemli bir unsurdur. Bu konuda gösterilen özen ise işletmeye rekabette kalıcı avantajlar sağlayabilmektedir (Kaya, 2019). Hizmet kalitesi ile ilgili bazı önemli noktalar şu şekildedir.

- Hizmet kalitesini değerlendirmenin ürün kalitesini değerlendirmeden daha güç olmasıdır.
- Tüketicilere ilişkin hizmet kalitesi algısı, hizmet performansının kıyaslanması sonucu ortaya çıkar.
- Kalitenin değerlendirilmesi hizmetin çıktısı ile yapılmaz ve hizmet, teslim işlemine ilişkin değerlendirmeleri de kapsamaktadır (İbik, 2006).

2.1.1 Hizmet kalitesinin boyutları

Hizmet kalitesini oluşturan özellikler açık şekilde ortaya konulmayabilir. Bunun için kalite boyutlarından yararlanılır (Yıldız, 2009).

- **Güvenilirlik:** Hizmetin tam ve doğru olarak yerine getirilmesi yeteneğine sahip olmaktır.
- **Heveslilik:** Personelin müşterilere hizmet sunma noktasında arzulu olmalarını ifade eder.
- **Empati (Müşteriyi Anlamak):** Müşteriyi tanıma/anlama, müşterileri ve onların ihtiyaçlarını bilmek için çaba harcamaktır.
- **Güven:** Hizmet sunan kişinin dürüst ve güvenilir olmasını ifade eder.
- **Somut Özellikler:** Hizmet sunulan ortama ilişkin fiziki özellikler ile personelin dış görünümü ile araç gereçlerin teknolojiye uyumlarını ifade eder.
- **Saygı (Nezakət):** Nezaket, personelin hizmet sunum esnasında müşterilere karşı saygılı, cana yakın, seviyeli ve nazik olmasını ifade eder (Üvenç, 2019).

2.1.2. Hizmet kalitesi modelleri

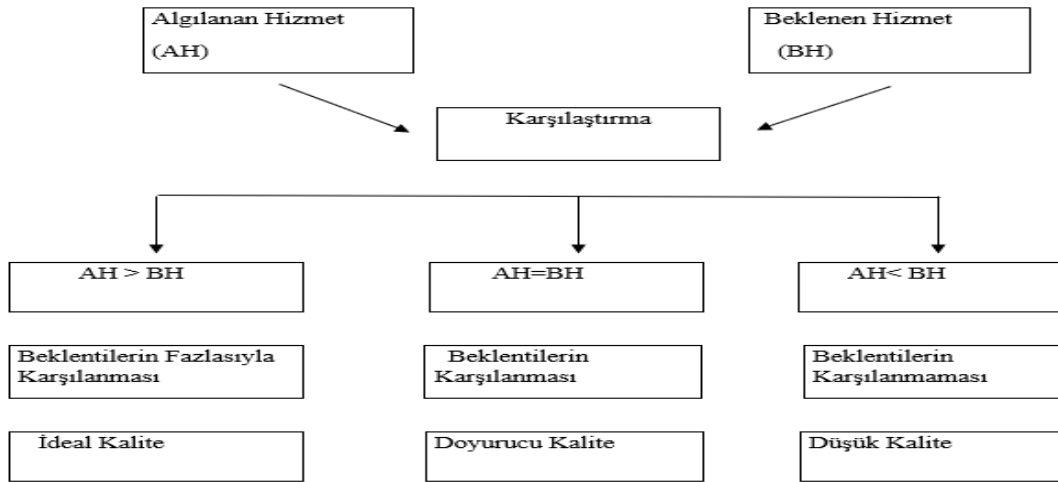
Sunulan hizmetlerin kalitesi ile maliyetleri arasında sıkı bir ilişki vardır. Kaliteli sunulan bir hizmetin maliyetinin yüksek olacağı aşikârdır. Literatürde hizmet kalitesi ile ilgili yapılan çalışmalarda araştırmacılar tarafından kullanılan hizmet kalitesi modelleri şu şekildedir: Grönroos' un Hizmet Kalitesi Modeli, Lehtinen'in Hizmet Kalitesi Modeli, Norman'ın Hizmet Kalitesi Modeli, 4Q Modeli, Entegre Model, Niteliksel Hizmet Kalitesi Modeli, KANO Model, Tutarlılık, SERVPERF ve SERVQUAL modelleridir (Karaman, 2015).

3.Hizmet kalitesi ölçümünde servqual yöntemi

Hizmetlerin fiziksel olmayışları hizmete dair kalitenin ölçümünü zorlaştırmaktadır. Hizmetlerin bu özelliği nedeniyle literatürde hizmet kalitesi ölçümü yapabilen pek az ölçüm aracı bulunmaktadır. Bunlardan en sık kullanılan ise SERVQUAL yöntemidir. SERVQUAL; 1985 yılında Parasuraman, Zeithaml ve Berry tarafından ortaya atılmış ve Parasuraman vd. tarafından 1988'de tasarlanıp literatüre kazandırılmıştır. SERVQUAL, müşterilerin hizmetlerini geliştirmelerine imkân tanımakla beraber firmalara güvenilir bir yol haritası olma görevini üstlenmektedir. Hizmet sektöründe çok geniş alanda kullanılan bir ölçektir. SERVQUAL tekniği, tüketicilerin algılanan hizmet kalitelerinin ölçülmesini sağlar. Bu yöntemde beklenen hizmet ile algılanan hizmet arasında oluşan fark hizmetin kalitesini ortaya koymaktadır (Hemedoğlu, 2010). Beklenen ve algılanan kalitenin tüketicilerce değerlendirilmesi anket ile sağlanmaktadır. Anket ile beklenen hizmet ile algılanan hizmet arasında oluşan fark ortaya konabilmektedir. Hizmet kalitesini ölçmek amacıyla geliştirilen SERVQUAL ölçeğinde, kalite kavramına ilişkin müşterinin hizmetten beklentileri ile hizmetin kalitesine ilişkin algılar ön plandadır ve değerlendirmeye tabi tutulmaktadır. Müşterinin hizmet kalitesine ait algıları hizmeti almadan önce gerçekleşen beklentileri ile gerçek hizmeti algıladıktan sonraki deneyimini karşılaştırması sonucu ortaya çıkmaktadır. Beklentiler karşılanmış ise "memnuniyet", karşılanmamış ise "memnuniyetsizlik" durumu vardır (Çiftçi &

Çakmak, 2018). Burada devreye algılanan kalite ve nesnel kalite kavramları girmektedir. Algılanan kalite, müşterinin performansı algılaması ve beklentilerini karşılaştırması sonucu meydana gelmektedir. Müşterilerin hizmeti almadan önceki beklentileri ile faydalandıkları gerçek hizmet deneyimini kıyaslamalarının bir sonucudur. Müşterilerin beklentileri ile algıladıkları performans arasındaki farklılığın yönü ve derecesi olarak değerlendirilmektedir. Beklentiler ise müşterilerin hizmete yönelik istek veya arzularını ortaya koymaktadır.

1. Beklenen hizmet > Algılanan hizmet ise; algılanan kalite tatmin edici değildir.
2. Beklenen hizmet = Algılanan hizmet ise; algılanan kalite kabul edilebilir.
3. Beklenen hizmet < Algılanan hizmet ise; algılanan kalite tatmin edici olmaktan daha yüksektir (Manav, 2017).



Şekil 1. Algılanan ve beklenen hizmet şeması (Manav, 2017).

Bu ölçekte, alınan hizmet beklentileri karşılıyor ise hizmetin kaliteli olduğu, hizmet beklentileri karşılamıyorsa arada bir boşluk olduğu söylenebilir. Bu boşluk durumu tatminsizliğin olduğunu göstermektedir. Bu sebeple SERVQUAL ölçeğine "Boşluk" modeli de denmektedir. SERVQUAL ölçeğinde beş adet boşluk vardır. Bu boşluklardan ilk dördü hizmet sunan işletmeyle alakalı beşincisi ise müşterinin kendisiyle alakalıdır. Bu boşluklara aşağıda yer verilmiştir (Can, 2016).

Boşluk 1: Bu boşluk, müşteri beklentileri ile yönetimin müşteri beklentilerinin en olduğuna ilişkin algısı arasındaki farktan oluşur. Birinci boşluğun oluşmasına, müşteri beklentilerinin bilinmiyor olması ile birlikte aşağıdaki üç kavramsal faktör sebebiyet verir.

1. Pazar araştırmalarının yeterince yapılmaması
2. Hizmet sağlayan personel ile yönetim arasında iletişimin güçlü olmaması ve iletişimde yaşanan aksaklıklar
3. Yönetimde bulunan bölümlerin sayıca fazla oluşu

Boşluk 2: Bu boşluk, müşterilerin beklentilerine yönelik yönetici düşünceleri ile hizmet sunumuna ilişkin belirlenen standartlar arasında oluşan farktan meydana gelir. Bu boşluğa yol açan faktörler:

1. Mevcut kaliteyi iyileştirmeye yönelik yönetimde isteksizlik,
2. Hedeflerin net bir şekilde ortaya konulmamasıdır.

Boşluk 3: Bu boşluk, sunumu öngörülen servis ile sunulan gerçek servis arasında oluşan farktan meydana gelir. Bu boşluğa sebebiyet veren faktörler:

1. Görevlerin karmaşık ve belirsiz olması,
2. Görevlerin birbirlerine karşı zıt olması,
3. Teknoloji ile iş arasında uyumsuzluk olması,
4. Kollektif çalışmanın olmaması,

Boşluk 4: Bu boşluk, servis sunumuna ilişkin verilen sözler ile gerçek servis sunumu arasındaki farktan ibarettir. Faaliyetler, pazarlama ve insan kaynakları arasında sağlıklı bir iletişimin olmayışı ve konuşma esnasında aşırı sözler verilmesidir.

Boşluk 5: Müşteriye hizmetin sunulması sırasındaki mevcut eksiklikler veya hatalar bu boşluğu oluşturmaktadır. Algılanan ve beklenen hizmet farkına sebep olan boşluktur. İlk dört boşluk, beşinci boşluğun ortaya çıkmasına neden olur. Boşlukların meydana gelebileceği durumların önceden belirlenmesi durumunda müşteriye yüksek kaliteye sahip hizmet sunulması mümkündür (Değirmenci, 2011).

3.1 Servqual'in üstün ve zayıf yönleri

SERVQUAL'in üstünlüklerinden biri; müşterilerin hizmetten beklentileri ile gerçekte almış oldukları hizmet arasında oluşan farkların belirlenip sunulan hizmetin kalite seviyesini müşterilerin perspektifinden ortaya koymasıdır. SERVQUAL eski ve yeni müşterilere belirli zaman aralıkları olması şartıyla uygulanabilir. Böylece, zamanla müşteri beklentilerinde ortaya çıkan değişiklikler gözlemlenebileceği gibi, işletmenin hizmet kalitesini iyileştirmeye dönük çabalarının ne seviyede etkin olduğu da ortaya konmuş olacaktır. Ölçeğin zayıf yönlerine değinecek olursak; ölçeği farklı hizmet alanlarında uygulamadan önce ölçekteki ifadelerin o alana uyarlanması ve tüketici açısından önemli olan boyutların alt boyutlara ayrılmasının gerekli olduğuna değinilmektedir. SERVQUAL I kullanılarak elde edilen veriler müşterilerin kalite algılamalarını net bir şekilde göstermemektedir. Çünkü bütün kalite unsurlarının kapsamlı olarak listelenmesi normal bir müşterinin isteyerek yanıtlayabileceği bir anketten daha uzun ve karmaşık olacaktır. Bu sebeple, müşteri aldığı hizmet ile ilgili çok sayıda olumlu ve olumsuz deneyimini ortaya koyamamakta ve bu durum da araştırma sonuçlarının doğruluğunu ve tutarlılığını etkilemektedir. SERVQUAL, kalite boyutlarının soyut bir biçimde ifade edilmesinden dolayı da eleştirilmektedir (Dalgıç, 2013).

3.2 Servqual modelinin uygulanması

SERVQUAL ölçeğine göre inceleme yaparken hizmetten istifade eden kişi tarafından verilen beklenen hizmet puanı ile algılanan hizmet puanı arasında oluşan fark dikkate alınır. Bu fark, SERVQUAL puanına karşılık gelmektedir. Boyutlardan her biri için ortalama SERVQUAL puanı iki aşamada ortaya çıkar. Her müşteri için boyutlara ilişkin ifadelerin SERVQUAL puanları toplanır, boyutları oluşturan ifade sayısına oranlanır. N sayıda müşteri var ise toplanan puanlar müşteri sayısına yani N'ye oranlanır. Müşterilerin boyutlara ilişkin görece önem tutumları önemsenmediğinden ulaşılan bu genel puan, ağırlıklandırılmamış SERVQUAL puanıdır. Ağırlıklandırılmamış SERVQUAL puanını elde etmek için gerekli işlem adımları aşağıda gösterilmiştir.

1. Her müşteri ve her boyut için ortalama SERVQUAL puanı elde edilir.
2. Her müşteri için hesaplanan SERVQUAL puanı, müşterinin o boyuta verdiği önem ağırlığıyla çarpılır. (Önem ağırlığı müşterinin o boyut için atadığı puanların 100'e oranlanmasıyla elde edilir.)
3. Daha sonra müşterilerin her biri için elde edilen Ağırlıklandırılmış SERVQUAL puanları elde edilir.
4. N sayıda müşteri için elde edilen puanların toplamı alınır ve bu toplam N'ye bölünür.

Buradan hareketle, SERVQUAL kullanarak ulaşılan veriler, her ifade çifti, her boyut veya tüm boyutlar için farklı ayrıntı seviyesinde hizmet kalite farkının hesaplanmasını sağlar. İşletmeler çeşitli fark puanlarını baz alarak sadece müşterilerin algılamış oldukları hizmet kalitesini ölçmekle yetinmezler. Kalitenin iyileştirilmesi sürecine ilişkin önemli ayrıntıları da elde ederler. Hizmet üretim işletmeleri SERVQUAL' i kullanarak ulaştıkları bilgileri çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Müşterilerin beklentileriyle hizmetten gerçekte elde ettiklerinin incelenmesi, kendi SERVQUAL puanı ile rakiplerin SERVQUAL puanlarının mukayese edilmesi ve müşterilerin kalite algılarının ölçülmesidir (Sevimli, 2006).

3.2.1 Anket ve veri toplama yöntemi

SERVQUAL hizmet kalitesinin ölçülebilmesi ve araştırma hipotezlerinin test edilebilmesi için anket tekniğinden yararlanılmaktadır. Oluşturulan anket formu içerisinde çeşitli soru tiplerini barındıran iki bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde; yaş, cinsiyet ve akademik durum ve gelir gibi demografik özellikler yer almaktadır. İkinci bölümde ise işletmeye yönelik beklenti ve memnuniyetleri içeren sorular yer almaktadır. Veriler farklı müşteriler ile yapılan anket görüşmeleri yapılarak bulunabilmektedir.

3.2.2 Servqual puanlarının test edilmesi

H0 kabul edilmesi durumunda SERVQUAL skorunun 0 olduğu ve bunun istatistiksel olarak anlamlı olduğu yani algıların beklentileri tam olarak karşıladığı sonucu çıkarılabilmektedir. H0ın reddedilmesi durumunda 2 seçenek

vardır. İstatistiğinin negatif olması durumunda alguların beklentileri karşılamadığı ve sonucun istatistiksel olarak anlamlı olduğu anlaşılmaktadır. t istatistiğinin pozitif olması durumunda ise alguların beklentilerden yüksek olduğu ve sonucun istatistiksel olarak anlamlı olduğu söylenecektir.

H0i: $P_i = 0, i=1, 2, \dots, 25$ (i. SERVQUAL l puanı sıfıra eşittir.)

H1i: $P_i \neq 0, i=1, 2, \dots, 25$ (i. SERVQUAL puanı sıfıra eşit değildir.)

4. Danışmanlık firmasında bir uygulama

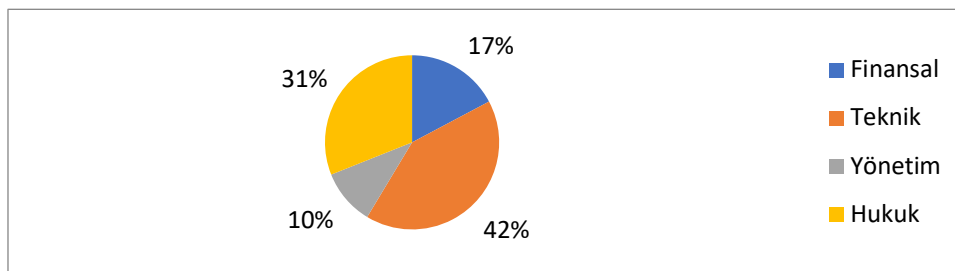
Hizmet kalitesi ölçüm yöntemleri içerisinde yaygın kullanılan SERVQUAL yöntemine ilişkin uygulama, hizmet sektöründe faaliyet gösteren marka ve patent ile fikri ve sınai haklar hizmeti sunan bir işletmede gerçekleştirilmiştir. Danışmanlık hizmeti veren firma, fikirlerin değer oluşturma noktasına maksimum düzeyde katkı sunabilmek için; mühendis, patent vekilleri, marka vekilleri, avukatlar ve devlet destekleri uzmanlarından oluşan profesyonel ekibiyle müvekkillerine hizmet veren ve hizmet sektöründe 15 yıla yakın bir süredir faaliyet göstermektedir. Türkiye'nin birçok köklü kurumuna (Bosch, Şişecam, Arzum, Digitürk, İstanbul Üniversitesi vb.) marka, patent ve telif hakları gibi konularda hizmet sağlayan bir kurumdur. Şirket, alanında uzman ve tecrübeli patent ve marka vekilleri ile müşterilerine hizmet sunmaktadır. Şirkette müşterilere sunulan hizmetler ise; patent, marka, tasarım, telif Hakları, hukuk, eğitim olarak karşımıza çıkmaktadır.

4.1 Araştırmanın hedefi

Bu çalışmada hedeflenen, müşterilerin (müvekkillerin) beklenen ve algılanan hizmet kaliteleri arasındaki farkın incelenmesi ve şirketin müşterilerine sunduğu hizmet kalitesini sayısal yöntemler kullanarak ölçmektir (Hemedoğlu, 2010).

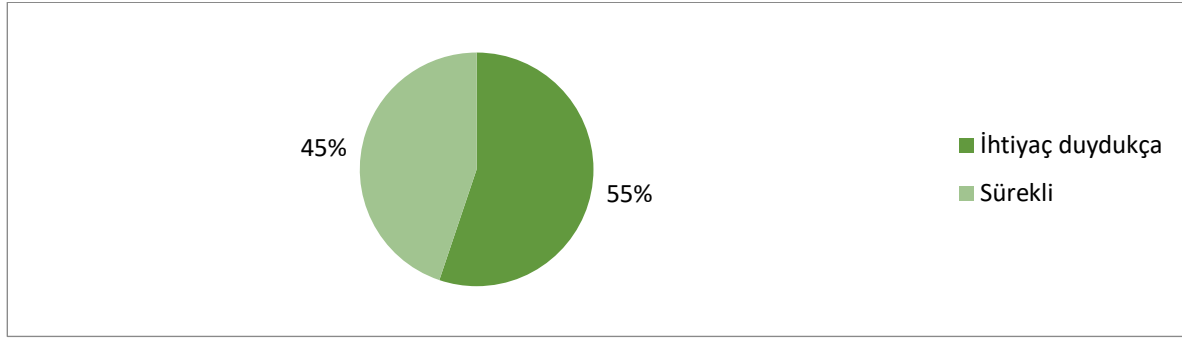
4.2 Danışmanlık firmasında müvekkil memnuniyet anketi ve bulgular

Müşteri müvekkil memnuniyet anketi kullanılarak müşterilerin; hizmet kalitesine ait tanımlamaları, hizmetten beklentilerini etkileyen bileşenler ve hizmet kalitesinin boyutlarının elde edinilmesi amaçlanmıştır. Ulaşılan bilgiler; ankete katılanların fikir birliği içerisinde olduklarını, kaliteli bir hizmetin verilebilmesi için müşterilerin hizmet beklentilerinin dikkate alınmasının, bu beklentilere cevap verilmesinin ya da bu beklentilerden daha fazla seviyede cevap verilmesinin gerekli olduğunu ortaya koymuştur. Değerlendirmeler SPSS Statistics 26 paket programı ile yapılmıştır. 100 işletmeye gönderilen anketten 58 geri dönüş alınmış ve değerlendirme 58 katılımcı üzerinden yapılmıştır. Bulgulardan biri ise firmaların hangi alanda kurumsal danışmanlık hizmeti aldığı ile ilgilidir. En yüksek oranla Teknik Danışmanlık (%42), sonra Hukuksal alanda danışmanlık (%31) gelmektedir. En düşük oran ise Yönetim alanındadır (%10).



Şekil 2. Ankete katılan firmaların aldıkları danışmanlık alanları.

Başka bir bulgu ise şekilde gösterildiği gibi danışmanlık hizmetinin ne sıklıkta alındığı ile ilgilidir. Ankete cevap veren kurumların %45'si sürekli, %55'i ise ihtiyaç duydukça kurumsal danışmanlık hizmeti almaktadır (Erenay, 2007).



Şekil 3. Danışmanlık hizmetlerinin devamlılığa göre sınıflandırılması

4.2.1 Anket tasarımı

Çalışmada hizmet kalitesinin ölçülmesinde kullanılan SERVQUAL ölçeği tercih edilmiştir. 22 değişkenin oluşturduğu ölçekte bulunan ifadeler ile danışmanlık firmasında müvekkil memnuniyet hizmetinde hizmet kalitesinin ölçülmesi istenmiştir (Hemedoğlu, 2010). Danışmanlık müşterilerine, “istekli veya çalışmamızı gerçekleştirmek üzere doldurulması amacıyla toplam 58 müşteri olmak üzere firmadaki algılanan ve beklenen kalite ölçümünü yapmak amacıyla Müşteri Memnuniyet Anketi hazırlanıp gönderilmiştir.

Tablo 1: 5’li likert ölçek

1	2	3	4	5
Kesinlikle Katılmıyorum	Katılmıyorum	Kararsızım	Katılıyorum	Kesinlikle Katılıyorum

Anket formumuzda 1-5 Aralığında değerlendirme ölçeğine sahip olan 5’li likert ölçeği kullanılmıştır. 5 en iyi durumu ifade ederken 1 en kötü durumu göstermektedir.

Tablo 2: Puan dağılımı

Soru sayısı	Gerçekleştirilen (Algılanan)Kalite	Beklenen Kalite	Puan 1 (%)	Puan 2 (%)	Puan 3 (%)	Puan 4 (%)	Puan 5 (%)
1.1	X		0	0	0	48	52
1.2		X	0	0	2	57	52
2.1	X		0	0	3	22	74
2.2		X	0	0	0	38	62
3.1	X		0	0	0	33	67
3.2		X	0	0	3	43	53
4.1	X		0	0	0	34	66
4.2		X	0	0	12	43	45
5.1	X		0	0	14	38	48
5.2		X	0	0	3	38	59
6.1	X		0	0	7	47	47
6.2		X	0	0	2	47	52
7.1	X		0	0	5	34	60
7.2		X	0	0	9	40	52
8.1	X		0	0	2	41	57
8.2		X	0	0	3	26	71

9.1	X		0	0	10	43	47
9.2		X	0	0	0	40	60
10.1	X		0	0	2	33	66
10.2		X	0	0	0	45	55
11.1	X		0	0	3	38	59
11.2		X	0	0	2	43	55
12.1	X		0	0	10	40	50
12.2		X	0	0	0	43	57
13.1	X		0	0	0	26	74
13.2		X	0	0	2	34	53
14.1	X		0	0	9	34	57
14.2		X	0	0	0	41	59
15.1	X		0	0	2	38	60
15.2		X	0	0	3	41	55
16.1	X		0	0	5	36	59
16.2		X	0	0	2	47	52
17.1	X		0	0	2	34	64
17.2		X	0	0	2	48	50
18.1	X		0	0	5	43	52
18.2		X	0	0	3	43	53
19.1	X		0	0	0	29	62
19.2		X	0	0	0	36	64
20.1	X		0	0	3	40	57
20.2		X	0	0	5	45	50
21.1	X		0	0	9	41	50
21.2		X	0	0	5	45	50
22.1	X		0	2	17	36	45
22.2		X	0	0	5	38	57

4.2.2 Servqual puanı

SERVQUAL ölçeğinde puan, müşterilerin hizmetten beledikleri ile algıladıkları puanlar arasındaki farktır. Yani, SERVQUAL puanı $SERVQUAL\ puanı = Algı\ Puanı - Beklenti\ Puanı$ şeklinde hesaplanır.

SERVQUAL puanlarının kullanılmasıyla her bir boyut için ortalama SERVQUAL puanları hesaplanır. Ortalama SERVQUAL puanları elde edilirken; her bir müşteri için ilgili boyuta ait ifadeler atanan SERVQUAL puanları toplanır ve boyutu oluşturan ifade sayısına oranlanır. N sayıda müşteri için ulaşılan sayılar toplanır ve N'e oranlanır. Toplam hizmet kalitesine ait puanın elde edilmesinde ise 5 boyut için ulaşılan puanlar toplanır ve 5'e oranlanır. Boyutlar ayrı olarak incelendiğinde;

Tablo 3: SERVQUAL puanı

ÖZELLİKLER	SORULAR	ALGILANAN			BEKLENEN			SERVQUAL PUANI		
		MİN	MAX	A. ORT.	MİN	MAX	A. ORT.	FARK	ORT	SERVQUAL PUANI
Somut özellikler	S.1	4	5	4.517	3	5	4,5	0,017	0,1763	0,34976
	S.2	3	5	4.706	4	5	4,6206	0,0854		
	S.3	4	5	4.672	3	5	4,3966	0,2754		
	S.4	4	5	4.655	3	5	4,3276	0,3274		
Güvenirlilik	S.5	3	5	4.344	3	5	4,5517	-0,2077	-0,09376	
	S.6	3	5	4.396	3	5	4,5	-0,104		
	S.7	3	5	4.551	3	5	4,3103	0,2407		
	S.8	3	5	4.551	3	5	4,6724	-0,1214		
Heveslilik	S.9	3	5	4.327	4	5	4,6034	-0,2764	0,16745	
	S.10	3	5	4.637	4	5	4,4483	0,1887		
	S.11	3	5	4.551	3	5	4,4138	0,1372		
	S.12	3	5	4.396	4	5	4,5690	-0,173		
Yeterlilik	S.13	4	5	4.741	3	5	4,2241	0,5169	0,12445	
	S.14	3	5	4.482	4	5	4,4138	0,0682		
	S.15	3	5	4.586	3	5	4,3793	0,2067		
	S.16	3	5	4.534	3	5	4,4483	0,0857		
Duyarlılık	S.17	3	5	4.620	3	5	4,4828	0,1372	-0,02468	
	S.18	3	5	4.465	3	5	4,5	-0,035		
	S.19	3	5	4.534	4	5	4,6379	-0,1039		
	S.20	3	5	4.534	3	5	4,4483	0,0857		
	S.21	3	5	4.413	3	5	4,3966	0,0164		
S.22	2	5	4.241	3	5	4,3276	-0,0866			

Somut Özellikler: Somut özellikler boyutunda 4 soru bulunmaktadır. Somut özellikler boyutundaki önermeler pozitif yönlüdür. En az memnuniyete sahip ve 0.017 ile en düşük puana sahip olan önermenin bulunduğu boyutun ortalaması 0,1763 ile beklentilerin üstünde gerçekleşmiş ve müşteri memnuniyetini sağlamaktadır.

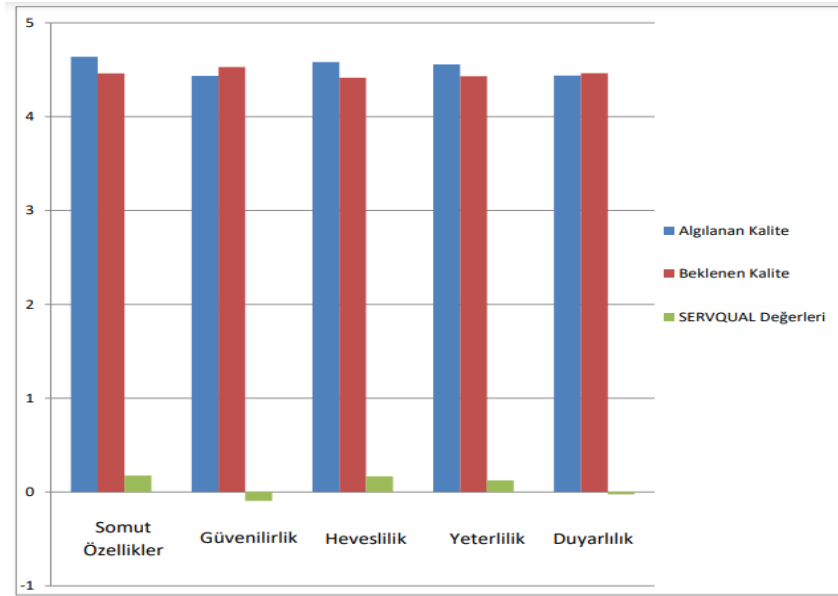
Güvenirlilik Boyutu: Güvenirlilik boyutunda 5 soru bulunmaktadır. Güvenirlilik boyutundaki önermelerin bir tanesi hariç diğer tümü negatif yönlüdür. En az memnuniyete sahip ve -0,2764 ile en düşük puana sahip olan önermenin bulunduğu boyutun ortalaması -0,09376 ile beklentilerin altında kalmıştır ve müşteri memnuniyetini sağlamamaktadır.

Heveslilik Boyutu: Heveslilik boyutunda 4 soru bulunmaktadır. Heveslilik boyutundaki önermelerin bir tanesi hariç diğer tümü pozitif yönlüdür. En az memnuniyete sahip ve 0,0173 ile en düşük puana sahip olan önermenin bulunduğu boyutun ortalaması 0,16745 ile beklentilerin üstünde kalmıştır ve müşteri memnuniyetini sağlamaktadır.

Yeterlilik Boyutu: Yeterlilik boyutunda 4 soru bulunmaktadır. Yeterlilik boyutundaki önermelerin tümü pozitif yönlüdür. En az memnuniyete sahip ve 0,0682 ile en düşük puana sahip olan önermenin bulunduğu boyutun ortalaması 0,12445 ile beklentilerin üstünde kalmıştır ve müşteri memnuniyetini sağlamaktadır.

Duyarlılık Boyutu: Duyarlılık boyutunda 5 soru bulunmaktadır. Duyarlılık boyutundaki önermelerin çoğu negatif yönlüdür. En az memnuniyete sahip ve -0,1039 ile en düşük puana sahip olan önermenin bulunduğu boyutun ortalaması -0,02468 ile beklentilerin altında kalmıştır ve müşteri memnuniyetini sağlamamaktadır.

Testin sonucunda ölçek için SERVQUAL puanı 0,34976 bulunmuştur. Genel olarak incelendiğinde bu değer; müşteri memnuniyetinin güvenilirlik ve duyarlılık boyutları dışında sağlandığını göstermektedir.



Şekil 4. Boyutlara göre algılanan kalite, beklenen kalite, SERVQUAL değerleri

4.2.3 Güvenilirlik analizi

Güvenilirlik, bir özellik veya nesnenin aynı yöntemin uygulanmasıyla mukayese edilebilir ölçümlerinin benzer olması demektir. Güvenilirlik analizi ile anketteki sorular arasında ilişki olup olmadığı, soruların cevaplayıcılar tarafından nasıl algılandığı ve benzer şekilde algılanıp algılanmama durumu incelenmiştir. Uygulamada sıklıkla tercih edilen güvenilirlik analizi yöntemlerinden “Cronbach Alpha İçsel Tutarlılık Analizi” kullanılmıştır. Cronbach Alpha ile değişkenlerin iç homojenlik durumları tespit edilmekte ve bu da alfa katsayısı ile sağlanmaktadır. Alfa katsayısı bir grup değişken arasında mevcut olan iç korelasyon ölçümünü vermektedir (Savaş, 2018).

Alfa katsayısına ait değerlendirme ölçütleri aşağıda açıklanmıştır.

- 0,00 ile 0,40 arasında: Ölçek Güvenilir Değildir.
- 0,40 ile 0,60 arasında: Ölçek Düşük Güvenilirliktedir.
- 0,60 ile 0,80 arasında: Ölçek Yeterince Güvenilirdir.
- 0,80 ile 1,00 arasında: Ölçek Yüksek Düzeyde Güvenilirdir (Değirmenci, 2011).

(a): Beklenen durum alpha katsayısı

Reliability Statistics	
Cronbach's Alpha	N of Items
,754	22

(b):Algılanan durum alpha katsayısı

Reliability Statistics	
Cronbach's Alpha	N of Items
,772	22

Şekil 5. Alpha katsayıları

Danışmanlık firması için gerçekleştirilen SERVQUAL ölçeğinin güvenilirlik analizinde, beklenen ve algılanan hizmet kalitelerine ilişkin Cronbach Alpha değerleri 0,754 ve 0,772 olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak, kullanılan SERVQUAL ölçeği yeterince güvenilirdir.

5. Hipotez testleri

Hipotez testleri ile kalite boyutları bağlamında algılanan ve beklenen hizmet kaliteleri arasında anlamlı farklılıklar olup olmadığı incelenmiştir. Boyutlar için kalite algısı ile kalite beklentisi arasında anlamlı farklılık analizinde t-testi yapılmıştır. Testler %95 güven düzeyi kabul edilerek uygulanmıştır.

Hipotez 1:

H0: Somut özellik boyutu bağlamında, algılanan hizmet ile beklenen hizmet kaliteleri arasında anlamlı farklılık yoktur.

H1: Somut özellik boyutu bağlamında, algılanan hizmet ile beklenen hizmet kaliteleri arasında anlamlı farklılık vardır.

Hipotez testleri %95 güven seviyesinde uygulanmıştır. Sig değeri 0,05 değerinden büyük ise H0 kabul, 0,05 değerinden küçük ise H0 reddedilir.

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	Somutozellikgerçeklesen - Somutozellikbeklenen	,17672	,30711	,04033	,09597	,25747	4,382	57	,000

Şekil 6. Somut özellik algılanan-beklenen hizmet kalite analiz sonuçları

Sig(2-tailed) p değerini temsil eder ve bu değer $,000 < ,05$ olduğundan H0 reddedilir yani somut özellik boyutu bağlamında, incelenen iki özellik arasında istatistik olarak anlamlı farklılık vardır.

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	Somutozellikgerçeklesen	4,6379	58	,23957	,03146
	Somutozellikbeklenen	4,4612	58	,31693	,04161

Şekil 7. Somut özellik algılanan-beklenen hizmet fark analizi sonuçları

Bu farklılığa bakacak olursak gerçekleşen 4,63 beklenen 4,46 çıkararak somut özelliklerde işletmenin beklenenin üstünde performans sergilendiği belirlenmiştir.

Hipotez 2:

H0: Güvenilirlik boyutu bağlamında, algılanan hizmet ile beklenen hizmet kaliteleri arasında anlamlı farklılık yoktur.

H1: Güvenilirlik boyutu bağlamında, algılanan hizmet ile beklenen hizmet kaliteleri arasında anlamlı farklılık vardır.

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	Güvenilirlikgerçeklesen - Güvenilirlikbeklenen	-,09310	,36364	,04775	-,18872	,00251	-1,950	57	,056

Şekil 8. Güvenilirlik algılanan-beklenen hizmet kalite analiz sonuçları

Sig(2-tailed) p değerini temsil eder ve bu değer $,056 > ,05$ olduğundan H0 kabul edilir yani güvenilirlik boyutu bağlamında, incelenen iki özellik arasında istatistik olarak anlamlı farklılık yoktur.

Hipotez 3:

H0: Heveslilik boyutu bağlamında, algılanan hizmet ile beklenen hizmet kaliteleri arasında anlamlı farklılık yoktur.

H1: Heveslilik boyutu bağlamında, algılanan hizmet ile beklenen hizmet kaliteleri arasında anlamlı farklılık vardır.

		Paired Samples Test							
				Paired Differences					
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		t	df	Sig. (2-tailed)
					Lower	Upper			
Pair 1	Heveslilikgerçeklesen - Heveslilikbeklenen	,16810	,36691	,04818	,07163	,26458	3,489	57	,001

Şekil 9. Heveslilik algılanan-beklenen hizmet kalite analiz sonuçları

Sig(2-tailed) p değerini temsil eder ve bu değer $,001 < ,05$ olduğundan H_0 reddedilir yani heveslilik boyutu bağlamında, incelenen iki özellik arasında istatistiki olarak anlamlı farklılık vardır.

		Paired Samples Statistics			
		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	Heveslilikgerçeklesen	4,5819	58	,24056	,03159
	Heveslilikbeklenen	4,4138	58	,29076	,03818

Şekil 10. Heveslilik algılanan-beklenen hizmet fark analizi sonuçları

Bu farklılığa bakacak olursak gerçekleşen 4,58 beklenen 4,41 çıkararak heveslilik boyutunda işletmenin beklenenin üstünde performans sergilendiği belirlenmiştir.

Hipotez 4:

H_0 : Yeterlilik boyutu bağlamında, algılanan hizmet ile beklenen hizmet kaliteleri arasında anlamlı farklılık yoktur.

H_1 : Yeterlilik boyutu bağlamında, algılanan hizmet ile beklenen hizmet kaliteleri arasında anlamlı farklılık vardır.

		Paired Samples Test							
				Paired Differences					
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		t	df	Sig. (2-tailed)
					Lower	Upper			
Pair 1	Yeterlilikgerçeklesen - Yeterlilikbeklenen	,12500	,34808	,04571	,03348	,21652	2,735	57	,008

Şekil 11. Yeterlilik algılanan-beklenen hizmet kalite analiz sonuçları

Sig(2-tailed) p değerini temsil eder ve bu değer $,008 < ,05$ olduğundan H_0 reddedilir yani yeterlilik boyutu bağlamında, incelenen iki özellik arasında istatistiki olarak anlamlı farklılık vardır.

		Paired Samples Statistics			
		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	Yeterlilikgerçeklesen	4,5560	58	,28114	,03692
	Yeterlilikbeklenen	4,4310	58	,28017	,03679

Şekil 12. Yeterlilik algılanan-beklenen hizmet fark analizi sonuçları

Bu farklılığa bakacak olursak gerçekleşen 4,55 beklenen 4,43 çıkararak yeterlilik boyutunda işletmenin beklenenin üstünde performans sergilendiği belirlenmiştir.

Hipotez 5:

H_0 : Duyarlılık boyutu bağlamında, algılanan hizmet ile beklenen hizmet kaliteleri arasında anlamlı farklılık yoktur.

H_1 : Duyarlılık boyutu bağlamında, algılanan hizmet ile beklenen hizmet kaliteleri arasında anlamlı farklılık vardır.

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
Pair 1	Duyarlılıkgerçekleşen - Duyarlılıkbeklenen	-,02414	,41393	,05435	-,13297	,08470	-,444	57	,659

Şekil 13. Duyarlılık algılanan-beklenen hizmet kalite analiz sonuçları

Sig(2-tailed) p değerini temsil eder ve bu değer ,659> ,05 olduğundan H0 kabul edilir yani duyarlılık boyutu bağlamında incelenen iki özellik arasında istatistiki olarak anlamlı farklılık yoktur.

Hipotez 6:

Yıllara göre kurulacak olan hipotezde verilere ilişkin dağılım normaldir. Bu sebeple hipotez testlerinin sınanması parametrik testler ile gerçekleştirilmiştir. 2 gruplu değişken (5 yıl altı, 5 yıl üstü) için “bağımsız örneklem t-testi” kullanılmıştır.

H0: Müşterilerin işletme ile çalıştığı yıl ile algılanan (gerçekleşen) hizmet kalitesi boyutları arasında anlamlı fark yoktur.

H1: Müşterilerin işletme ile çalıştığı yıl ile algılanan (gerçekleşen) hizmet kalitesi boyutları arasında anlamlı fark vardır.

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Gerçekleşen değerler	Equal variances assumed	8,035	,006	-,158	56	,875	-,00760	,04800	-,10374	,08855
	Equal variances not assumed			-,167	50,753	,868	-,00760	,04550	-,09895	,08375

Şekil 14. Algılanan-beklenen hizmet kalite analiz sonuçları

Sig değeri ,006<,05 olduğundan H0 reddedilir yani müşterilerin işletme ile çalıştığı yıl ile algılanan hizmet kalitesi boyutları arasında bir fark vardır. Bu farkın anlamlı bir fark olup olmadığına bakmak için Sig(2-tailed) değeri kullanılır ve bu değer her ikisi içinde>,05 olduğundan işletme ile çalıştığı yıla göre anlamlı bir şekilde farklılaşmadığı ortaya çıkmıştır (Eker,2007). Yıl bazı müşteri ortalama karşılaştırılması yapılmıştır. 5 yıl ve altı hizmet alan müşteri ve 5 yıl üstü hizmet alan müşteri olarak ayrılmıştır.5 yıl ve altı hizmet alan müşteri sayısı 32 olup 5 yıl üstü hizmet alan müşteri sayısı 26 tanedir. Somut özellikler, güvenilirlik, heveslilik, yeterlilik ve duyarlılık olarak 5 kategoriye ayrılmış olup yıl bazlı olarak müşteri beklentilerini nasıl etkilediği hakkında bir tablo oluşturulmuştur.

Tablo 4: Yıl bazlı müşteri ortalama karşılaştırılması

		5 YIL VE ALTI HİZMET ALAN MÜŞTERİ	5 YIL ÜSTÜ HİZMET ALAN MÜŞTERİ
SOMUT ÖZELLİKLER	N	32	26
	ORTALAMA	4,4919	4,6105
GÜVENİLİRLİK	N	32	26
	ORTALAMA	4,4612	4,5115
HEVESLİLİK	N	32	26
	ORTALAMA	4,4677	4,5432
YETERLİLİK	N	32	26
	ORTALAMA	4,4758	4,5420
DUYARLILIK	N	32	26
	ORTALAMA	4,425	4,4692

6. Sonuç

Uygulamada amaç, anket ve hizmet boyutları yardımıyla müşterilerin işletmeden beklentisini ve algılarının ölçümünü sağlamaktır. Danışmanlık Firması'na uygulanan SERVQUAL modeli yardımı ile oluşturulmuş anket formu ve istatistik analizler SPSS programı sayesinde müşterilerin en önem verdiği boyutlar belirlenmiş ve bu boyutlar üzerinde gelişim hedefleri ortaya konulmuştur. Sürekli değişen ve gelişen pazarlarda işletmelerin kendilerini müşterilerinin gözünde rakiplerinden farklılaştırabilmelerinin tek yolu müşteri değeri sunabilmektir. Sunulan hizmetlere ilişkin kalitenin belirlenmesi sürecinde temel aktör müşterilerdir. Bu nedenle işletme yöneticilerinin müşterilerin almış oldukları hizmete ait kalite değerlendirmelerini bilmeleri önemle gerekmektedir. İşletmeler tarafından müşterilerin ihtiyaçlarının göz ardı edilmesi şeklinde yapılan rekabet stratejileri; maliyetlerin yükselmesine, müşteri kaybına ve pazar payında düşüş gibi işletme açısından kritik problemleri ortaya çıkaracaktır. Bu nedenle yönetimin öncelikle müşteri değerini analiz etmesi işletme için stratejik bir karardır. Müşterilerin işletmeye olan sadakatini arttırmak için işletmeler sunmuş oldukları hizmet kalitesini sürekli iyileştirmek durumundadırlar. Gün geçtikçe müşterilerin beklentileri artmakta ve hizmet sunan işletmelerin kendilerini yenilemeleri gerekmektedir. SERVQUAL yöntemi kullanılarak elde edilen veriler, işletmelerin sunduğu hizmetlerin kalitesini ölçmek ve bu verilere göre kaliteyi yükseltme imkânı tanımaktadır. İşletmede uygulanan ankete 100 müvekkilden 58'den yanıt alınarak %58'lik katılım sağlanmıştır. Ankette 5'li likert ölçek kullanılmıştır. SERVQUAL analizine göre skor 0,34979 çıkarak beklentinin üstünde performans sergilendiği kaliteli bir hizmet sunulduğu saptanmıştır. Anketin kullanılabilirliğini ölçmek amacıyla Cronbach Alpha İçsel Tutarlılık Analizi yapılmış ve beklenen kalite 0,754 olurken, algılanan kalite 0,772 çıkmıştır. Bu değerler 0,6-0,8 arasında olduğundan oldukça güvenilir olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada; hipotezler test edildiğinde somut özellik boyutu bağlamında, algılanan hizmet ile beklenen hizmet kaliteleri arasında istatistik olarak anlamlı bir farkın var olduğu, bu farkın somut özelliklerde işletmenin beklenenin üstünde performans sergilediği belirlenmiştir. Güvenilirlik boyutu bağlamında, algılanan hizmet kalitesi ile beklenen hizmet kaliteleri arasında istatistik olarak anlamlı bir farkın olmadığı tespit edilmiştir. Heveslilik boyutu bağlamında, algılanan hizmet kalitesi ile beklenen hizmet kalitesi arasında anlamlı istatistiksel farklılık olduğu belirlenmiş bu farklılıkta işletmenin beklenenin altında performans sergilediği belirlenmiştir. Yeterlilik bağlamında, algılanan hizmet ile beklenen hizmet kaliteleri arasında istatistik olarak anlamlı bir farkın var olduğu, bu farklılıkta işletmenin beklenenin üstünde performans sergilediği belirlenmiştir. Duyarlılık boyutu bağlamında, algılanan hizmet ile beklenen hizmet kaliteleri arasında istatistik olarak anlamlı bir farkın olmadığı tespit edilmiştir. Müşterilerin işletme ile çalıştığı yıl ile algılanan hizmet kalitesi boyutları arasında bir fark olduğu tespit edilmiş ve bu farklılığın işletme ile çalıştığı yıla göre anlamlı bir şekilde farklılaşmadığı ortaya çıkmıştır. Sonuç olarak; işletme bu sonuçlar ışığında güvenilirlik ve duyarlılık konusunda uzmanlaşmalıdır. Çalışma sonucunda ortaya çıkan veriler, firmaya hizmet kalitesini değerlendirmede önemli bilgiler sağlamış ve firma tarafından sunulan soyut hizmetlerin değerlendirilmesi ve ölçülmesinde sayısal yöntemler ve istatistik değerlendirmeler ışığında bu zorluğun giderilmesi önemli bir avantaj olarak görünmektedir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Emre Ekin problemin tanımlanması, makale kurgusunun planlaması, literatür taraması teori kısmının yazımı ile analizlerin yorumlanmasında, İlayda Gökçe Cesur makale yazım ve düzenlemesi, uygulama verilerinin elde edilmesi ve analizlerin gerçekleştirilmesi ve yorumlanmasında katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Can, P. (2016). Hizmet Kalitesinin SERVQUAL Ölçeği ile Ölçülmesi: Uşak Üniversitesi Merkez Kütüphanesi Üzerine Bir Araştırma. *Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*.6(1). Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/joiss/issue/30778/323578>

Çiftçi, S., & Çakmak, G. (2018). Fitness Merkezleri Müşterilerinin Hizmet Kalitesi ile İlgili Beklenti ve Algı Düzeylerinin İncelenmesi. *Spor Bilimleri Araştırmaları Dergisi*. 3(2). <https://doi.org/10.25307/jssr.368522>

Dalgıç, A. (2013). *Hizmet Sektöründe Hizmet Kalitesinin Ölçümü ve Hizmet Kalitesini Etkileyen Faktörler*. Adnan Menderes Üniversitesi İşletme Anabilim Dalı. Aydın. Erişim adresi: <http://adudspace.adu.edu.tr:8080/xmlui/bitstream/handle/11607/703/AL%C4%B0%20DALGI%C3%87.pdf?isAlowed=y&sequence=1>

Değirmenci, E. (2011). *Türk Hava Yolları'nda Müşteri Memnuniyetinin SERVQUAL ile Ölçümü*. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı. İstanbul. Erişim adresi: <http://dspace.yildiz.edu.tr/xmlui/handle/1/6173>

Erenay, O. (2007). *Kurumsal Danışmanlık Hizmetlerinde Kalite ve SERVQUAL Ölçeği ile Ölçülmesi*, Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, İşletme Anabilim Dalı. Ankara. Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=4wUbZZ6hPx8otOCTYQOERA&no=AuCRAyc6P8D9nTqOxpdsVQ>

Hemedoğlu, E. (2010). *Toplu Taşımacılık Sektöründe Hizmet Kalitesini Ölçme: Algılanan Hizmet Kalitesi ve Müşterinin Arzuladığı Hizmet Kalitesi Üzerine Etkileri*. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı. İstanbul. Erişim adresi: <http://dspace.yildiz.edu.tr/xmlui/handle/1/7195>

İbik, Ö. A. (2006). (2006), *Rekabet Ortamında Hizmet Kalitesinin Önemi ve Bir Havayolu İşletmesinde Hizmet Kalitesinin Gerçekleştirilmesine Yönelik Bir Uygulama*. Yüksek Lisans Tezi. Kocaeli Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı. Kocaeli. Erişim adresi: <http://dspace.kocaeli.edu.tr:8080/xmlui/handle/11493/14695>

İnci, S. (2019). *B2C WEB Sitelerinde Hizmet Kalitesi Boyutlarının Algılanan Değere Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Ticaret Üniversitesi. İstanbul. Erişim adresi: <http://Ticaret.Edu.Tr/Wp-content/uploads/2020/921/218%20b2c%20web%20sitelerinde%20hizmet%20kalitesinin%20boyutlarının%20algılanan%20degere%20etkisi.Pdf>

Karaman, A. (2015). *İtfaiye Örneğinde Hizmet Kalitesi Ölçülmesi*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Gelişim Üniversitesi, İşletme Anabilim Dalı. İstanbul. Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=ccytlRaXNBBaEcmidf5Wig&no=NNnJmIxDB6HnjCp ryvA8pw>

Kaya, Ş. (2019). *Yatan Hasta Kalite Algısının SERVQUAL Temelli Analiz ve Kalite Fonksiyonu Yayılımı ile Değerlendirilmesi: Eskişehir Devlet Hastanesi'nde Bir Uygulama*. Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı. Eskişehir. Erişim adresi: <http://openaccess.ogu.edu.tr:8080/xmlui/handle/11684/524>

Manav, D. (2017). *Konaklama İşletmelerindeki Hizmet Kalitesinin SERVQUAL Yöntemi ile Ölçülmesi ve Özel Belgeli Bir Otel İşletmesinde Uygulanıp Olasılıkların Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Ticaret Üniversitesi, Turizm İşletmeciliği Anabilim Dalı. İstanbul. Erişim adresi: https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=N5uwHVOolYAlu1EVepCgnA&no=0goT7Gq_04L0RcoBF02dTg

Savaş, M. (2018). *Bir Aile Sağlığı Merkezinde Hizmet Kalitesinin SERVQUAL ve Regresyon Analizi ile Değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı. Eskişehir. Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=P6UWACrAvUfqNwjt7padlg&no=ObXBmorR4RtM1n3WRYYTzg>

Sevimli, S. (2006). *Hizmet Sektöründe Kalite ve Hizmet Kalitesi Ölçümü Üzerine Bir Uygulama*. Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı. İzmir. Erişim adresi: <https://acikerisim.deu.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/20.500.12397/11678/189904.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Üvenç, G. (2019). *Toplu Taşımada Hizmet Kalitesi Yönetimi Uygulaması: Hizmet Kalitesinde Performans Ölçüm Sisteminin Tanımlanması*. Yüksek Lisans Tezi. Erciyes Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı. Kayseri. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/pajes/issue/56390/782789>

Yıldız, G. (2009). *Hizmet Sektöründe SERVQUAL Ölçeği ile Toplam Hizmet Kalitesinin Ölçümü ve Emniyet Genel Müdürlüğü'nde Bir Uygulama*. Yüksek Lisans Tezi. Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya. Erişim adresi: https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=lp9P3TFZgMfeq2KWLL4Tfg&no=YQm_eFww1LGCtZl7hkaEkg

EK.1 Beklenen ve Algılanan Kalite Anket Soruları

Müşteri Memnuniyet Anketi	1 (En Kötü)	2	3	4	5 (En İyi)
Soru 1- Firma modern ekipmanlara sahiptir.					
Soru 2- Firmanın fiziksel tesisi binaları görsel olarak çekicidir.					
Soru 3- Firma çalışanları iyi giyimli ve görünümü temizdir.					
Soru 4- İşletmenin verdiği hizmetin yanı sıra sundukları ek malzemeler de görsel olarak çekicidir.					
Soru 5- Firma çalışanları müşterilerin problemi olduğu zaman bunu çözmek için gerekli çabayı gösterir.					
Soru 6- Firma tarafından sunulan hizmet doğru ve eksiksiz yerine getirilmektedir.					
Soru 7- Firma verdiği hizmet kalitesini korur ya da iyileştirir.					
Soru 8- Firma söz verdiği hizmeti zamanında sunar.					
Soru 9- Firma kayıtlarını doğru şekilde tutar.					
Soru 10- Firma çalışanları her zaman müşteriye yardım etmeye heveslidir.					
Soru 11- Firma çalışanları müşteriye hızlı hizmet verirler.					
Soru 12- Şikayetleri iletecek kişi ya da birime kolayca ulaşılır.					
Soru 13- Firma şikayetleri ciddiye alır ve iyileştirmeye yönelik çalışmalar gerçekleştirir.					
Soru 14- Firma çalışanı yeterli iletişim becerisine sahiptir.					
Soru 15- Firma müşterileri hizmete ilişkin işlemlerinde güven hisseder.					
Soru 16- Firma çalışanları müşteriye devamlı saygılıdır.					
Soru 17- Firma çalışanları müşterinin sorularını yanıtlayacak bilgiye sahiptir.					
Soru 18- Firma çalışanları müşteriye karşı ılımlı ve naziktir.					
Soru 19- Tüm müşterileri için uygun çalışma saatleri mevcuttur.					
Soru 20-Müşterilerin istek ve gereksinimlerine ilgi gösteren çalışanları vardır.					
Soru 21-Müşterilerin çıkarlarını gözetirler.					
Soru 22- Firma çalışanları müşterinin isteklerinin yanı sıra ihtiyaçlarını da analiz eder.					



Journal of Turkish Operations Management

A study on supply chain applications in the health sector

Betül Mutlu^{1*}, Bahar Özyörük²

¹ The Scientific and Technological Research Council of Turkey, Turkish Management Science Institute Gebze/Kocaeli, Turkey

e-mail: betul.mutlu@tubitak.gov.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-6450-9223>

² Gazi University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, Cankaya/Ankara, Turkey,

bahar@gazi.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0001-5434-6697>

*Corresponding author

Article Info

Article History:

Received: 08.05.2021

Revised: 17.12.2021

Accepted: 10.02.2022

Keywords:

Supply Chain,
Healthcare,
Literature Review,
Service System

Abstract

Supply chain management (SCM), which has been used in every field from the past to the present and whose contribution to both production systems and service systems is an undeniable concept, is important for systems. The concept of supply chain (SC) has made a name for itself in the production systems in the past years, and it provides efficiency, time management, customer satisfaction, coordination, etc. It has been drawing attention that SC applications are frequently used in service systems in recent years. The use of this applications, especially in service systems, will make a difference in the health sector, which serves an important purpose and is seen to be at a more important point in speed and plan compared to other sectors. Because speed is very important in the health sector from procurement decision to purchasing, from purchasing to storage, from storage to transportation of products and finally to the final consumer. The fact that the speed factor can be at the desired level requires all stakeholders to be in coordination. Ensuring the flow of information of the coordinated stakeholders through a common system is very important for the flow of material information and needs. For this reason, in this study, SCM of health industry is mentioned first. Afterwards, a comprehensive literature study was shared. Finally, the part of how this subject can be shaped in the future is discussed.

1. Introduction

Regardless of the sector the business is in, every business has a purpose of existence. The most important of these aims is to ensure the continuity of the business. Two factors are very important to ensure the continuity of the business. One of them is profitability and the other is prestige. There are policies that businesses must have and implement to ensure both profitability and prestige. Especially at this stage, businesses should be careful about customer satisfaction. Because ensuring customer satisfaction increases the percentage of customers who buy the product or service again. This then contributes to the increase in profitability and prestige.

However, customer satisfaction is not easy to achieve, especially in recent years, due to the increase in purchasing power, the existence of a competitive environment and the awareness of the service and / or product buyer, as there are too many businesses providing the same service. For this reason, it is not enough for businesses to be good in the market alone. The aforementioned business is only one insider of the supply chain. It is very significant that it ensures coordination with its stakeholders. A failure made by its stakeholders can affect all insiders of the SC. For this reason, SC and SCM is one of the issues that the business should focus on. Recently, emphasizing the importance of these concepts, it is seen that especially large-scale enterprises have made investments to stand out from their competitors, taking into account the increasing technology level for these concepts. Technologies of the

industry 4.0 concept are at the top of these investments. For example, the internet of things is a technology that is used quite frequently in the field of logistics and provides great benefits. Likewise, cloud computing technologies that enable large volumes of data to be stored are indispensable for companies. Coordination in supply is of great importance, and in this context, the use of vertical and horizontal integration that provides integration inside and outside the company makes a great contribution.

2. Supply chain management in the healthcare sector

In general, it is possible to separate systems into production systems and service systems. The different structures of these systems from each other also differentiate the desired benefits from SCM. It is easier to use effectively in production systems, especially in mass production systems, compared to service systems. The reason for this is that the suppliers and material flows are planned according to these estimates, since the demand estimation can be made. However, this situation is a little more ambiguous in service systems. Especially when evaluated in terms of the health sector, effective management of SCM, hospital etc. Because there are more factors affecting SCM. At the same time, uncertainty prevails due to some special circumstances.

The aims of businesses in the health sector are to perform minimum cost-related transactions and operations without sacrificing quality and service level. While all these are taken into consideration, minimizing the number of patients / injured and maximizing the number of patients served for polyclinics at specified levels are among the other goals of healthcare enterprises. Speed is very important in realizing all of these. Speed includes not only the speed of the healthcare personnel, but also the speed of all members of the chain serving this sector. For example, blood, medical supplies, necessary equipment, medicine, etc. It can change of the patient's condition positively and negatively for an emergency patient. The significance of SCM in this industry is once again revealed when the event is generalized not for one patient but for all patients. In the aforementioned example, the rapid implementation of this application can be achieved by planning all these needs before in the relevant hospital or by having reliable supplier relations, which is one of the functions of SCM. The elements of SCM in the health industry are given in Figure 1.

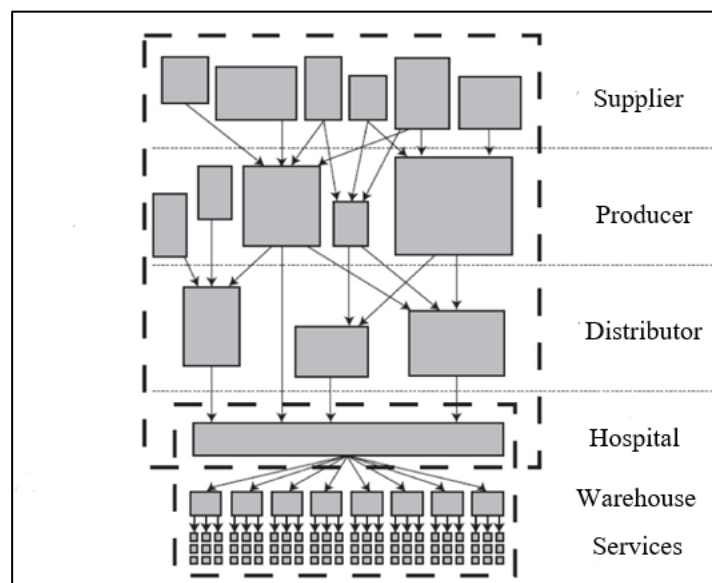


Figure 1. Supply chain elements in the health sector (Unal, 2017)

As seen in Figure 1, the structure of SCM for the health sector is a bit more complex. For this reason, more effort is made to manage this complex structure. Other reasons for the complex structure in the health sector are as follows:

- First of all, the primary purpose of the sector is to protect and improve human health,
- Variability of demand,
- The error-proof nature of the service or the urgent need for it
- Being based on excessive specialization,
- Including experts from different sectors as well as health professionals,
- High dependency of professionals from different fields of expertise
- The need for advanced cooperation are other qualities that can be considered specific to the health sector.

Apart from all these, both intangible and concrete services are provided in the health sector. For example; While health care, which is an intangible service in the treatment of a patient, is supported by concrete products such as medicine; tangible products and intangible services are also provided in pharmacy. However, health sector SCM has some unique features. First of all, while the final product in the SC is the "basic service", the end users of the supplied materials are the doctors, nurses and other healthcare professionals who are the "internal customers" of the system (Schneller & Smeltzer, 2006).

In the same breath, the objectives of health SCM are as follows.

- To provide medical products and supplies at the right place, at the right moment, in the desired amount, under the appropriate conditions at the lowest cost,
- Trying to decrease the cost and time of medical products or supplies without sacrificing quality,
- Maximizing the space required for patient care while minimizing storage space,
- To enhance the quality of health care service,
- To decrease inventory costs as much as possible,
- To increase sustainable profitability and competitive power.

SC processes in the health sector are as follows:

- Demand management,
- Purchasing and supplier relationship management,
- Storage,
- Inventory management,
- Distribution,
- Patient relationship management
- Reverse logistics
- Green logistics

After giving general information on SCM in the health industry, it is important to procure information on important transactions regarding the sector mentioned in the subsections in order to understand the structure.

2.1.Demand forecasting and order management in healthcare

Demand forecasting in the healthcare industry is a very difficult process. For this reason, hospitals and health centers should be very careful in their policies for demand management. Although an approximate estimate is made for the materials of standard operations, the uncertain demand, especially for emergencies, forces the healthcare team and hospital personnel in this regard and causes them to make efforts to take various measures. Because many different applications and different services are offered together in hospitals and it is not possible to compensate for the problems that may occur in the service due to the lack of materials. In order to determine the demand that may occur in health services, it is necessary to know the specific features of health services and what the demands will be in the future. These features are:

- Variability
- Seasonality
- Variation
- Concurrency

By using quantitative and qualitative observations regarding demand, estimates are made for products that are used continuously, but not for each product. Placing an order after estimates, tracking and planning this order at the right time also promote the efficient realization of SCM in this sector.

2.2.Planning

Planning is one of the issues that should be focused on in the health sector as it is important in every sector. Healthcare team, administrative team, suppliers, distributors, materials and equipment, retailers, patients, in short, all members in the SC need to be planned correctly. The fact that the planning category is too much makes this situation difficult, but the creation of efficient plans greatly benefits both the hospital management and the person receiving the service. Planning activities vary according to the planning period. Ozkul and Secim (1994) give an example of the procedures to be performed in a hospital according to the planning time as follows. He explained with examples such as equipment-maintenance planning, planning of the healthcare team, weekly shift charts and monthly surgery planning in the short term; procurement of material requirements in the medium term; establishing additional facilities purchasing a tomography device, enhancing the number of operating rooms in the long term.

2.3. Purchasing

It is one of the most significant members of SCM. Because in order to provide some services, materials, equipment, medical devices, etc. is needed. Especially in this sector, since there is a very sensitive issue such as the life of the patient and in some cases there are irreversible stages, purchasing activities should be made from the right supplier at the right time. It is important to choose the appropriate supplier to do these. In the same breath, the issue of reducing the cost by considering the mentioned issues while making the purchase is also important for the hospital management.

2.4. Inventory management

Another subject of health management is stock management. As it is known, excess stocks in enterprises bring about inventory costs. Lack of stocks can cause huge losses especially in this sector. For this reason, the use of stock tracking system in order to control the stocks of hospitals and suppliers will minimize these losses. Businesses that enable this stock tracking system to work in an integrated manner throughout the entire chain are one step ahead of their competitors

2.5. Warehouse management

Warehouse management concept is closely related to stock management. To ensure effective warehouse management, hospitals,

- Selection of warehouse location,
- Warehouse dimensions, shelf systems, stacking machines (forklifts, etc.)
- Barcode automation systems RFID,
- Product collection models,
- It is expected to pay attention to issues such as stock management.

2.6. Shipment and Distribution

After the planning and execution of all operations, the product, material, equipment, etc. It is important that things are shipped and distributed smoothly. The necessity of transporting some materials used in the health sector under certain conditions (cold storages, etc.), especially during distribution, makes this issue more important for hospital management and patients.

3. Literature research on supply chain management in the healthcare sector

SCM concept has started to be applied primarily in manufacturing enterprises. When this issue is evaluated for the health sector, it is a newer issue compared to production systems. SC applications in the health sector started with purchasing processes, and then the benefits of SCM for the manufacturing area forced the health sector to take advantage of this concept. The content of the studies of the researchers on the Healthcare Sector' SCM is clarified below. In this study, studies between 2000-2020 were examined. One of the most important reasons for this is that the SC has been integrated with production systems in the past years. For this reason, there are not many studies involving hospital systems in the SC of the past years. In this study, the papers were searched in the Google Scholar database. The keywords used are: hospital supply chain, hospital supply chain management, health supply chain, health supply chain management, medical supply chain, medical supply chain management. The studies are as follows.

Most of the studies conducted are theoretical studies on SCM for hospitals. In the first studies, studies were conducted that generally address the benefits of its application to hospitals and the difficulties encountered during the application phase. For example, Chandra and Kachkal (2004) contributed to the literature by researching the trends, problems and solutions of health sector SCM from a logistics perspective in their study. They dealt with SC decisions in the long, medium and short term, and they mentioned what decisions should be made at this stage. They discussed the sub-headings of SCM such as demand & demand forecasting, purchase order, supplier selection, logistics and management of inventory. Ford and Scanlon (2006), explained suggestions and problems related to the concept approach in purchasing operations in the health sector. Especially in the 21st century, they expressed the importance of SCM and its contribution to businesses. By comparing the health sectors and other

sectors, the difficulties in the implementation phase of the concept approaches were mentioned by the reason of the complex structure of the health sector.

Vries and Huijsman (2011) also conducted a theoretical study on health sector's SCM. The aim of this study is to show the difference between the health sector and the industrial sectors' SCM in practice. The study shows that SCM is more difficult due to the fact that health sectors have a more complex structure contrasted with other sectors. Aronsson et al. (2011) explained what should be considered when developing an SC in healthcare and what are the effects of lean and agility concepts as process strategies for creating and developing an SC in this area. In order for these approaches to be applied correctly, they drew attention to the integrity of the SC, its integration and customer focus.

Kim and Kuwon (2015) conducted a study to reveal how SCM works in the health industry in the United States. In the study, academic studies in the last 10 years were examined in detail. However, the researchers, who stated that this situation cannot be explained only with academic studies, also revealed the SC applications in the sector. In the Yanamandra (2018) study, the benefits of supply chain applications were mentioned. It has been stated that these applications are not very common in the Health sector. A supply chain model has been developed in the health sector. Marques et al. (2020) reviewed 74 papers on supply chain management in the healthcare sector, which were published in different journals between 2006 and 2016. When the examined articles were evaluated, it was seen that the studies on the network structure, blood supply chain management were few. At the same time papers are classified by different subjects.

Some studies have mentioned the necessity of using information technologies in order to run health SC. For example, McGrath and More (2001) mentioned the inadequacy of the use of information technologies in the health sector. At the same time they mentioned the necessity of a system in which pharmaceutical data were collected. In relation to this, they took a pharmaceutical company operating in Australia and showed at what stage this company is in the SC and made recommendations for data / system integration. Kim (2005), focused on the necessity of common sharing systems regarding material planning in a hospital in his study. He drew attention to the concept of supplier management especially in terms of tracking stocks and emphasized that hospitals should benefit from technologies such as RFID for the tracking system to work effectively. Kitsiou et al. (2007) stated in their study that integration is an important building stone of health SCM, but they expressed their opinion that it is also difficult to be integrated. For this reason, the necessity of investment in information technology systems for integration in the SC was also mentioned. Finally, information on what transactions can be done when integrated is provided for each member of it.

In their study, Krichanchai and Krichanchai (2010) talked about the advantages that hospitals gain from managing the stock of the supplier in the health sector. For this reason, they have proposed a structure in which the stock management is provided by the supplier in a new hospital established in Thailand in 2010. They revealed the differences from the traditional SC structure and mentioned the necessity of creating a common interface between the hospital and the supplier for this. At the same time, they also mentioned studies examining supplier-managed stock policy in the literature. On the other hand, Mathew et al. (2013) examined the SC of developing countries in the health industry and touched on the new trends in this area. At the same time, this study concentrates new trends to optimizing costs in healthcare SC operations.

Dev et al. (2019) proposed a framework for "Big Data Architecture", which contribute to an efficient approach in managing the SC under a dynamic platform. Researchers have visualized the arrangement of an RFID enabled and cloud ERP system for Big Data business units for a SC inventory system. RFID technology in the process, service level of resources, stock levels, setup time, idle time, etc. Ensures real-time information on various parameters related to current values are evaluated with TOPSIS, a multi-criteria decision making method, helping companies to find important key performance indicator in real time throughout the SC. Lin and Ho (2020) argued that due to the rapid development of information and communication technologies, medical supply chain management operations should also be carried out online. It is aimed to introduce the Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment (CPFR) application model to the health sector, and in this context, the AHP technique was used to determine the critical factors.

Some studies conducted with health SCM have dealt with subheadings of the SC. For example, Puschmann and Alt (2001) mentioned customer relations management, which is a subtitle of health industry's SCM, and suggested the establishment of a CRM system to ensure an impact SCM. Important effects of the CRM system such as profitability, continuity and cost minimization in SCM in the health industry were mentioned. In the study of Dacosto-Clara (2002), the methods determined by the administrators to decrease the cost without reducing the standard of the services provided by the Quebec health center were evaluated. The methods are as follows. The first method assigns a greater budget priority for stock control, package picking, and internal distribution, so purchasing services have comparatively few resources. In the second method, contract and product order processes are applied differently from the first method with the actuation of more personnel. A preliminary analysis of

Quebec's purchasing departments is also shown. Mustaffa and Potter (2009), mentioned stock strategies in health systems. They mentioned that the products that are kept in stock for a long time are spoiled for the companies working with stock, and the problems such as the production on time and the inability to buy the desired product at the right time by the reason of the demand uncertainty in the inventories managed by the supplier. For this reason, it has been determined that businesses that implement stockless work strategies without cost loss attach great importance to supply relations. Turhan and Vayvay (2009), mentioned that the primary aim of this SC is not only to reduce the procurement's cost and to improve cash flow, but to provide the appropriate medicine, medical supplies or special surgical materials must be at the right place at the right time. In this context, a service-based architectural structure has been proposed for supplier-managed stocks that fulfill the aforementioned objectives and decrease stock costs. Miah et al. (2014) focused on purchasing decisions in the health industry's SCM. The aim of this study is to develop a conceptual framework. It was emphasized that selection of supplier is important for the purchasing decision. A decision support system has been established for this.

Some of the researchers turned to survey studies in order to analyze the situation of hospitals working in this sector. Bhutta et al. (2006) carried out a study consisting of 651 samples in total in order to understand the situation of small and medium-sized health centers in Pakistan. In this study, 651 companies were asked questions about the sub-headings of SCM in the health industry and their answers were evaluated. As a result, it was shared that 71% of them did not perform well in SCM. Bakar et al. (2010) carried out a study to measure the SC quality of two public hospital laboratories. In the study, questions were asked to both hospitals. These questions are divided into two categories. One of them is related to the characteristics of the laboratory and the other is related to the suppliers of the hospital. The laboratories of the hospitals were compared by giving equal weight to each of the questions. As a result, 71% of them perform well in SCM. Lee and Fernando (2015) drew attention to the medical SC system. Regarding this issue, they received answers by directing the questionnaire questions to 133 companies that are part of the medical tourism sector in the Malaysian region and evaluated the results. As a result, they found that SC coordination and information sharing have a direct effect on institutive performance. Anne and Juliana (2019) conducted a study in Kenya on SC integration. The aim of the study is to analyze the effect of SC integration dimensions on the operational indicator of the hospital under study. For this purpose, questionnaire questions formed to 164 people working in the hospital examined were directed and analyzed statistically. As a result, it was explained that supplier integration, customer integration and internal integration have a significant effect on operational performance and this effect is 42.9%. Bakar et al. (2010) conducted a study to measure the SC performance of two public hospital laboratories. In the study, questions were asked to both hospitals. These questions are divided into two categories. One of them is related to the characteristics of the laboratory and the other is related to the suppliers of the hospital. The laboratories of the hospitals were compared by giving equal weight to each of the questions.

In some studies, e-commerce and e-procurement concepts have been mentioned in the health industry. For example, Holmes and Miller (2003) stated in their study that the cost in the health sector is quite high for the USA and other countries. They emphasized that the concept of e-commerce will reduce these costs by referring to the good analysis of the SC for these costs. They talked about the status of e-commerce for this sector in the future. Breen and Crawford (2005) emphasized the importance of e-commerce and e-procurement systems for the evolvement of patient SC of the health industry. They have presented their contributions to the literature by considering the hospitals working with these systems. In particular, they found that this contribution greatly benefits quality improvement and customer relationships.

Some researchers have done studies involving simulation. Unlike other studies, Ryttila and Spens (2006) focused on blood supply, which is a special issue in the health sector, and established a simulation model that includes blood supply processes. For the purpose of use this SC impressively, especially due to the deteriorating nature of blood, they analyzed and shared it with the literature. Finally, they also investigated the effect of this situation on cost items. Kumar et al. (2008) discussed the situation of a group of companies with more than 10 hospitals in Singapore and branches in Europe and Asia. The findings of their study, mentioned that managers reduce their material purchases in order to provide cost minimization, and they examined the costs spent for procurement. After all these examinations, they simulated the current structure of the hospital and created a model that would benefit cost minimization and rearranged the SC.

Some researchers have emphasized the importance of the green SC and the necessity of simplification in this sector. Muduli and Barve (2012) discussed the green SC of the health industry. They have focused on the necessity of waste management since health wastes that cause unwelcome effects on people and the environment are contagious and dangerous. However, they found that the obstacles in the implementation of waste management were too many and shared these difficulties with the literature. These challenges are addressed by reasons such as lack of strategic planning, poor regulatory measures, lack of green procurement regulations, waste use and reuse, lack of management unity, lack of facilities, lack of institutional regulation, financial constraints, insufficient awareness and programs on this subject, resistance to change. They have explained these challenges. Machoda et

al. (2014) discussed the minimization of waste management's costs in the healthcare industry. For this, they turned to lean SCM. 83 studies examining lean SCM of the healthcare sector and other sectors were examined and the contribution of the issues discussed in these articles to cost and waste minimization was discussed. Afterwards, a model for the lean change process was proposed. Guimaraes and Carvalho (2013) stated in their study that there is a harmony between SCM thinking and lean thinking in healthcare services. Considering the complexity of the operations carried out in the hospital, they stated that some operations in the SC can be performed with outsourcing within the framework of a simple thought. At the same time, the researchers stated that there are very few lean practices in the health sector and that there is a gap in this area in the literature.

Some of the researchers talked about blockchain applications for counterfeit drugs in the healthcare industry. Clauson et al. (2018) stated in their studies that reliability is very important in the health sector as in every sector. They emphasized that especially human life is very important and some mistakes are not compensated, so this issue should be focused on meticulously. For this reason, they said that some precautions should be taken especially for counterfeit drugs, and they gave an example of "blockchain" applications for these measures. Blockchain applications applied in different sectors in terms of healthcare sector have been evaluated. The importance of the concept of internet of things has been emphasized in this subject. Celiz et al. (2018), put emphasis on the importance of blockchain technology in the management of procurement, which constitutes an important part of the SC in the health industry. They stated that the purchasing process is critical for this industry, and that blockchain technology contributes to the visibility and traceability of the purchasing process, and to increase flexibility in preventing counterfeit medicine purchases. Related to this, a four-layer model is presented and the results are evaluated in the study.

With some studies, they have conducted studies involving the health sector and disaster logistics. For example, VanVactor (2012) emphasized that health services required for rescue of the injured are very important in disaster logistics. At this stage, attention was drawn to the integration of the insiders in the SC, and in the same breath, the necessity of the decisions taken by the managers and the policies implemented accordingly for the rapid evacuation of the beneficial after the disaster was mentioned. A strategic level policy has been proposed for this situation. Oksuz and Satioglu (2020), created a two stage stochastic model for the evacuation of the injured after the disaster, taking into account the triage classification. They set an example for Istanbul by working on different earthquake scenarios to validate the model. Stating that the hospital capacities were insufficient after the disaster, they drew attention to the measures to be taken in this regard.

Some researchers have contributed to the literature by using operational techniques in their studies. For example, Malmir et al. (2016) stated that the need for medical equipment is important in the hospital SC and therefore emphasized the necessity of quality management. In their work, they modeled the strategies of suppliers that meet the needs of hospitals using the Game Theory method. They simulated the learning process of medical equipment suppliers through the markov chain, and the equipment SC involved in market competition. Finally, they touched on the reward and punishment system implemented by the medical equipment SC quality management for hospitals, aiming to encourage firms to adopt high quality strategies by analyzing the action of the simulation model and calculating profits. Azadeh et al. (2016) presented an integrated approach to analyze the impact of macro ergonomics drivers in the health SC with data envelopment analysis. For this reason, health standards and macro-ergonomics drivers have been modeled with a mathematical programming method. This method can analyze the effect of macro ergonomics drivers on SCM of health industry, and this method ranks the respective performance efficiencies of each hospital SC. In the study, it was determined that the most effective factor in hospital SCM is teamwork. Additionally, the researchers believe this study will help managers identify weaknesses in SCM systems and identify target strategies for the SCM system in this area.

Nematollahi et al. (2017), handled the pharmaceutical SC structure in their studies and modeled a two-stage situation consisting of supplier, retailer and customer. While modeling, they showed that the demands were uncertain and suitable for normal distribution and thus they created a stochastic model. At the same time, researchers frequently emphasized in their studies that stochastic studies should be carried out due to the uncertain demand for the drug in the literature, but this situation was insufficient. Alizadeh et al. (2020) emphasized in their studies that the efficient envisagement of the medical SC network can reduce the dangers caused by the accumulation of waste. In this study, the medical products ordered by the customers are handled by considering biological risks. A model has been created that includes the cost of stock, sterilization and distribution areas, transportation costs, medical supplies, disposal of municipal medical waste. Yazdani et al. (2020) emphasized that medical wastes are harmful and that they should be dumped in appropriate places. For this reason, they evaluated alternative locations by using DEMATEL, in order to choose the most suitable one among alternative places.

In recent years, some of the researchers have turned to medical SC's. For example, Ferrer and Medhekar (2012) mentioned an issue that is different from other studies in their study. They focused on the factors that influence

the global healthcare SCM. The researchers emphasized that medical services gained a global dimension in the study, which is why they stated that SCM gained momentum in this area and the SC structure of the participants became more complex. They also drew attention to the fact that this sector is one of the rare sectors that generate income for developing countries. Many factors such as low cost, government incentives and individual investment contribute to this area in countries such as Thailand, India, Singapore, Malaysia, Poland, Austria and Saudi Arabia. Researchers have likened the medical tourism service to a product within the scope of SCM, considering that many of the operational objectives found in a manufacturing SC can be easily applied to the medical tourism SC to some extent. Carmagnola et al. (2012) evaluated Italian patients in the medical tourism industry. He stated that Italian patients were receiving dental services abroad and a questionnaire study was conducted for these patients. The purpose of conducting the survey study is to understand what are the attractive factors for Italian patients to receive services abroad. On the other hand, Jaapar et al. (2017) conducted a survey to measure the profiles of patients who went to Malaysia and want to receive dental medical services, to determine their travel motivation and to measure satisfaction. Ahmadimanesh et al. (2020) have turned to the SC of dental tourism, which is a subcomponent of medical SC. Customers are grouped in their work. A working mathematical model that does not maximize profit has been developed that includes accommodation and medical centers. A case study was carried out in Iran to verify the proposed model. The researchers emphasized that there is no modeling in the studies interested in the SC in the dental industry and that this is the first modeling study in this field.

In this study, journals in google scholar and science direct were researched. The keywords used while researching are as follows: Health supply chain/management, medical supply chain/management, dental supply chain/management, hospital supply chain/management, medical tourism. In the study, only articles and papers were used and theses were excluded from the scope of the research. The aim of the study is to examine the details of the studies on the health supply chain and to identify the gaps in this area.

Table 1. Summary of supply chain studies in health sector

Author(s)	Year	Journal	Country	Subject	Method
McGrath and More	2001	34th Hawaii International Conferences	Australia	Health SC, information technologies	Case Study
Puschmann and Alt	2001	34th Hawaii International Conferences	Switzerland	Health SC, RFID	Review
Dacosto-Clara	2002	International Journal of Health Planning and Management	Canada	Health supply chain	Case Study
Holmes and Miller	2003	The First International Conference on Electronic Business	California	Health SC, e-commerce	Review
Chandra and Kachkal	2004	Proceedings of the Sixteenth Annual Society of HealthSystems Management	USA	Health SC	Review

		Engineering Forum			
Kim	2005	International Conference on Electronic Commerce and Web Technologies	Korea	Health SC, RFID	Review
Breen and Crawford	2005	International Journal of Quality & Reliability Management	UK	Health SC, e-commerce	Review
Ryttila and Spens	2006	Management Research News	Finland	Blood SC	Simulation
Bhutta et al.	2006	Supply Chain Management: An International Journal	Pakistan	Health SC	Survey Analysis
Ford and Scanlon	2006	Academy of Management Best Conference Paper	USA	Health SC, purchase	Review
Kitsiou et al.	2007	International Journal Value Chain Management	Greece	Health SC, information technologies	Review
Vanany	2008	Proceedings of The 9th Asia Pasific Industrial Engineering & Management Systems Conference	Indonesia	Health SC, RFID	Review
Kumar et al.	2008	Supply Chain Management: An International Journal	Singapore	Health SC	Survey analysis
Mustaffa and Potter	2009	Supply Chain Management: An International Journal	UK	Health SC, inventory management	Case Study

Turhan and Vayvay	2009	European and Mediterranean Conference on Information Systems	Turkey	Health SC, information technologies	Case Study
Bakar et al.	2010	International Journal of Productivity and Performance Management	Malaysia	Health SC	Survey Analysis
Kritchanchai and Krichanchai	2010	The International Journal of Logistics Management	Thailand	Health SC, inventory, information technologies	Case Study
Vries and Huijsman	2011	Supply Chain Management: An International Journal	Netherlands	Health SC	Review
Aronsson et al	2011	Supply Chain Management: An International Journal	Sweden	Health SC, lean	Review
Muduli and Barve	2012	International Conference on Environment Science and Engineering	India	Green SC in the healthcare industry	Review
VanVactor	2012	Disaster Prevention and Management	USA	Health SC, disaster logistic	Case Study
Ferrer and Medhekar	2012	GSTF Journal on Business Review	Australia	Medical tourism	Survey Analysis
Carmagnola et al.	2012	Minerva Stomatologica	Italy	Medical tourism	Case Study
Mathew et al.	2013	Semantich Scholar	USA	Health SC	Review
Guimaraes and Carvalho	2013	Strategic Outsourcing: An International Journal	Portugal	Health SC, lean	Review

Machoda et al.	2014	Independent Journal Of Management & Production	Brazil	Health SC, medical waste management	Case Study
Miah et al.	2014	Operations And Supply Chain Management	Australia	Health SC, purchase	Review
Lin and Ho	2014	Production Planning & Control	Taiwan	Medical SCM	AHP
Lee and Fernando	2015	Tourism Management	Malaysia	Medical SC	Case Study
Kim and Kuwon	2015	Management Review: An International Journal	USA	Health SC	Review
Malmir et al.	2016	6th International Conference on Information Systems, Logistics and Supply Chain	Iran	Health SC	Case Study
Azadch et al.	2016	Applied Ergonomics	Iran	Health SC	Case Study
Nematollahi et al.	2017	Journal of Cleaner Production	Iran	Health SC	Case Study
Jaapar et al.	2017	Tourism Management	Malaysia	Medical tourism	Case Study
Clauson et al	2018	Blockchain in Healthcare Today	USA	Health SC, blokchain	Review
Celiz et al.	2018	IEEE 9th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference	Peru	Health SC, internet of things	Review
Yanamandra	2018	Supply Chain Forum: An	United Arab Emirates	Health SC	Review

		International Journal			
Dev et al.	2019	Computers & Industrial Engineering	India	Health SC, RFID	Review
Anne and Juliana	2019	International Journal Of Research In Business And Social Science	Kenya	Health SC	Case Study
Oksuz and Satioglu	2020	International Journal of Disaster Risk Reduction	Turkey	Health SC, disaster logistic	Case Study
Alizadeh et al.	2020	Computers & Industrial Engineering	Iran	Health SC, biological risks	Case Study
Yazdani et al.	2020	Computers & Industrial Engineering	Spain	Health SC, medical waste management	Case Study
Ahmadimanesh et al.	2020	Tourism Management	Iran	Medical tourism	Case Study
Marques et al.	2020	Production Planning & Control	Brasil	Health SCM	Review

In Table 1, the studies described in the text of the health SC are summarized according to their subject and method. When the studies in the literature are evaluated, the following results emerge.

- Studies in the health sector on SCM are not as old as production systems.
- Although most of the studies are theoretical, they have been observed in recent years in practical studies. However, it is noteworthy that the application-oriented studies are generally survey studies.
- It has been observed that studies on mathematical modeling in this area are less than other studies. At the same time, the insufficiency of stochastic studies has been emphasized in the literature due to the uncertainty of demand in the health sector.
- When the studies are evaluated on a yearly basis, the integration of information technologies with the SC is generally mentioned every year. One of the most important reasons for this can be explained as the increase in need with the developing technology level.
- Another issue in the health sector is the importance of lean SC. However, the researchers determined that this issue is gap in the literature.
- The damages of medical wastes are included in the health sector. In this regard, it has been determined that models including mathematical modeling are insufficient.
- At the same time, medical tourism is one of the trending topics in recent years and there are very few studies in this area involving mathematical models.

Considering the evaluations, it has been determined that some studies in the literature are insufficient in number. Research in this field will contribute to the literature and will guide businesses in countries.

In addition to these, the distribution of the examined papers according to their subjects is shown in the graphic below.

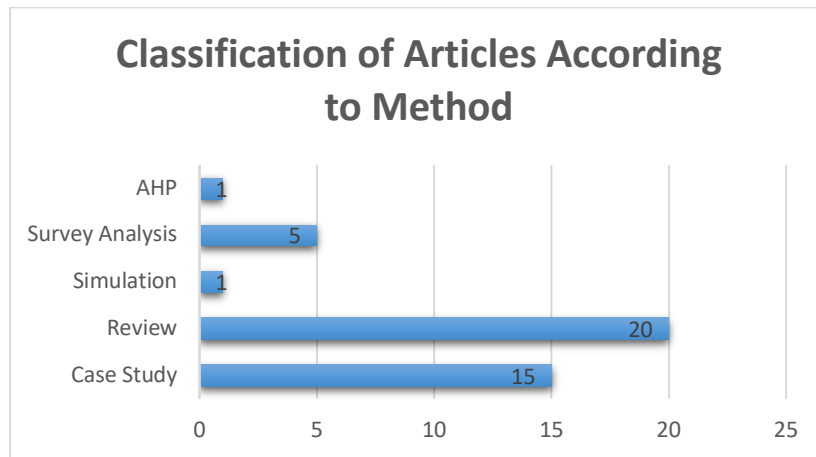


Figure 2. Classification of Articles According to Method

The distribution of the examined papers according to the journals is shown in the graphic below. As can be seen in the graph, there are mostly papers in the Supply Chain Management: An International Journal.

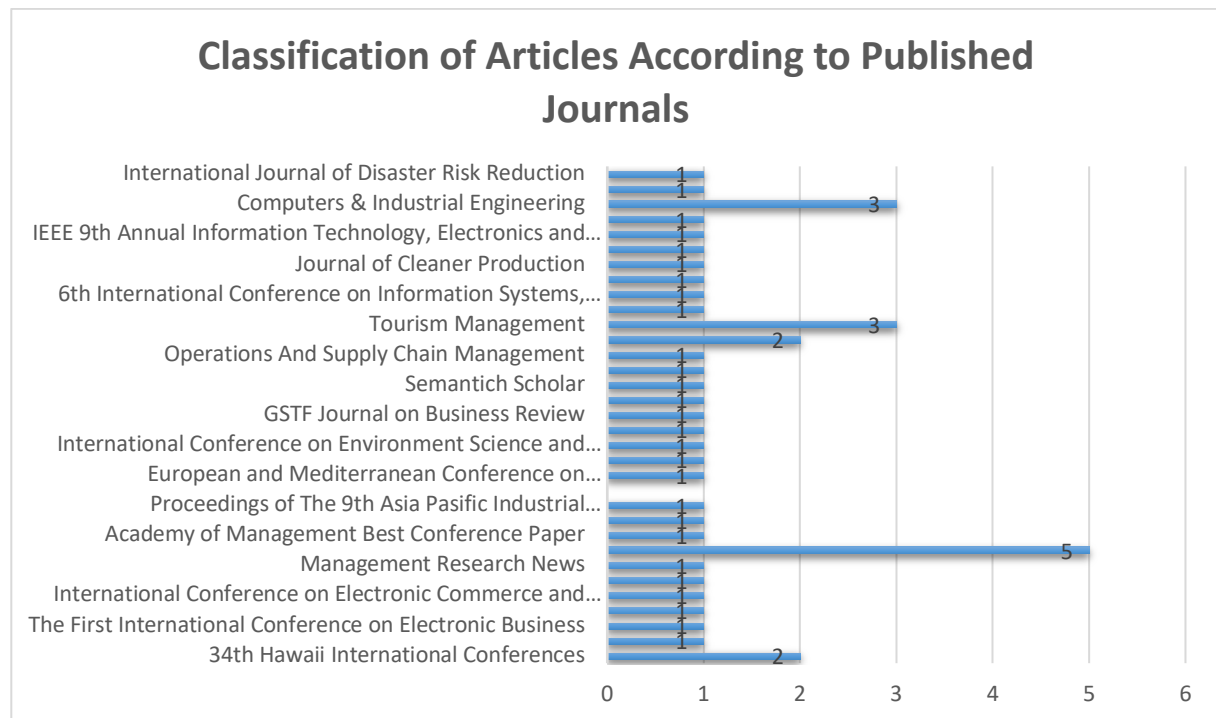


Figure 3. Classification of Articles According to Published Journals

The distribution of the publication dates of the papers is as follows. The year in which the researched papers were published the most was 2020. This shows that the interest in health supply chains is increasing.

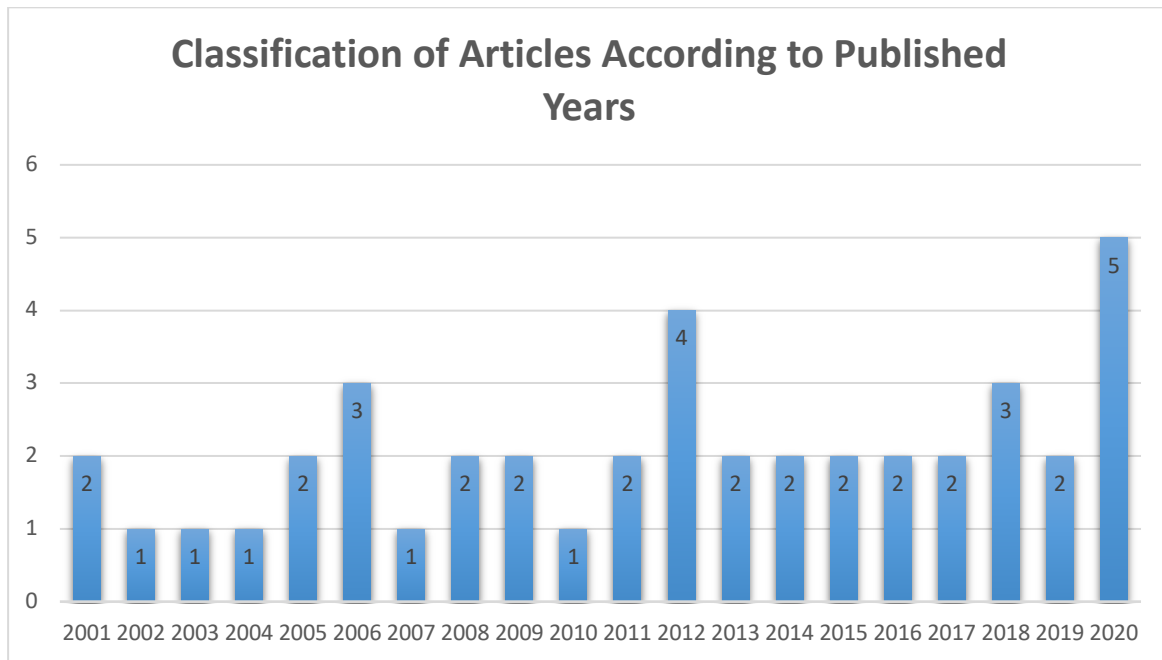


Figure 4. Classification of Articles According to Published Years

The distribution of the countries in which the papers are published is as follows. The country that publishes the most on health supply chain is the USA.

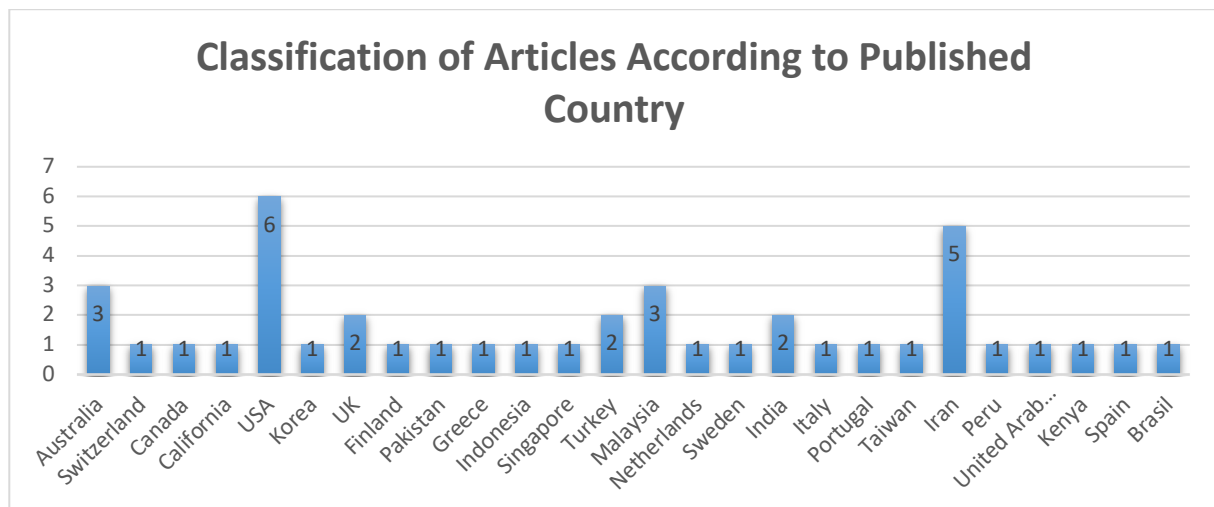


Figure 5. Classification of Articles According to Published Country

4. Conclusion

The contribution of SC for businesses is undeniable. In this study, the issue of SC management in the health industry is mentioned. When the needs in the health industry are evaluated, it will be understood how important the effect of SC applications is.

All changes in the technology level from past to present have revealed the necessity of businesses to invest in information technologies. Investments should also be made in the health sector in this regard. In this way, simultaneous data flow will be possible by ensuring integration between supplier members. This situation provides increase in speed, decrease in cost and patient satisfaction.

In recent years, especially where medical treatment costs are high, patients aim to reduce their costs by choosing different countries for treatment. Studies on the mentioned subject are also included in this study.

As a result, studies conducted in this field in the literature were investigated in detail within the scope of this study and evaluated from different angles. Studies in the health sector on SCM are not as old as production systems. Although most of the studies are theoretical, they have been observed in recent years in practical studies. However, it is noteworthy that the application-oriented studies are generally survey studies. It has been observed that studies on mathematical modeling in this area are less than other studies. At the same time, the insufficiency of stochastic studies has been emphasized in the literature due to the uncertainty of demand in the health sector. When the studies are evaluated on a yearly basis, the integration of information technologies with the SC is generally mentioned every year. One of the most important reasons for this can be explained as the increase in need with the developing technology level. Another issue in the health sector is the importance of lean SC. However, the researchers determined that this issue is gap in the literature. The damages of medical wastes are included in the health sector. In this regard, it has been determined that models including mathematical modeling are insufficient. At the same time, medical tourism is one of the trending topics in recent years and there are very few studies in this area involving mathematical models. As a result of the evaluations, deficiencies in this area have been revealed in the literature. These issues will be discussed in the future.

Contribution of Researchers

The present work was established by the authors only without any other contributors.

Conflicts of Interest

The authors declared that there is no conflict of interest.

References

- Ahmadimanesh, F., Paydar, M.M. & Asadi-Gangraj, E. (2020). Designing a mathematical model for dental tourism supply chain. *Tourism Management* 75, 404–417. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2019.06.001>
- Alizadeh, M., Makuia, A. & Paydar, M.M. (2020). Forward and reverse supply chain network design for consumer medical supplies considering biological risk. *Computers & Industrial Engineering*, 140, 1-16. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106229>
- Azadeh, A., Haghghi, S.M., Gaeini, Z. & Shabanpour, N. (2016). Optimization of healthcare supply chain in context of macroergonomics factors by a unique mathematical programming approach. *Applied Ergonomics*, 55, 46-55. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2016.01.002>
- Bakar, A., Hakim, L., Chong, S. & Lin, B. (2010). Measuring supply chain performance among public hospital laboratories. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 59 (1), 75-97. doi: <https://doi.org/10.1108/17410401011006121>
- Bhutta, S., Rana, I. & Asad, U. (2006). SCM Practices and the health of the SMEs in Pakistan. *Supply Chain Management: An International Journal*, 12(6), 412-422. doi: <https://doi.org/10.1108/13598540710826344>
- Breen, L. & Crawford, H. (2005). Improving the pharmaceutical supply chain. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 22(6), 572-590. doi: <https://doi.org/10.1108/02656710510604890>
- Carmagnola, D., Filippucci, L., Celestino, S., Carrassi, A., Delia, S. & Lodi, G. (2012). A survey on the experience with dental tourism in a sample of Italian patients. *Minerva Stomatologica*, 61(2), 11-20. Retrieved from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22274306/>
- Celiz, C., Cruz, Y. & Sanchez, D.M. (2018). Cloud model for purchase management in health sector of Peru based on IoT and blockchain. *IEEE Explore*, 328-334. doi: <https://doi.org/10.1109/IEMCON.2018.8615063>.
- Chandra, C. and Kachhal, S. K. (2004). Managing health care supply chain: trends, issues, and solutions from a logistics perspective. *Proceedings of the Sixteenth Annual Society of HealthSystems Management Engineering*

- Forum*, 20–21. Retrieved from: [//www.semanticscholar.org/paper/MANAGING-HEALTH-CARE-SUPPLY-CHAIN-%3A-TRENDS-%2C-ISSUES-Chandra-Kachhal/87167bb04182279302b1b97d3e52bcb687f0f27c](http://www.semanticscholar.org/paper/MANAGING-HEALTH-CARE-SUPPLY-CHAIN-%3A-TRENDS-%2C-ISSUES-Chandra-Kachhal/87167bb04182279302b1b97d3e52bcb687f0f27c)
- Clauson, K. A., Breeden, E. A., Davidson, C. & Mackey, T. K. (2018). Leveraging blockchain technology to enhance supply chain management in healthcare: An Exploration of Challenges and Opportunities in the Health Supply Chain. *Blockchain in Healthcare Today*, 1-12. doi: <https://doi.org/10.30953/bhty.v1.20>.
- Dacasto-Claro, I. (2002). The performance of material management in health care organizations. *International Journal of Health Planning and Management*, 17(1), 69-85. doi: <https://doi.org/10.1002/hpm.653>
- Dev, N. K., Shankar, R., Gupta, R. & Dong, J. (2019). Multi-criteria evaluation of real-time key performance indicators of supply chain with consideration of big data architecture. *Computers & Industrial Engineering* 128, 1076–1087. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.04.012>
- Ferrer, M. & Medhekar, A. (2012). The factors impacting on the management of global medical tourism service supply chain. *GSTF Journal on Business Review*, 2(2), 206-211. doi: https://doi.org/10.5176/2010-4804_2.2.204
- Ford, E. W. & Scanlon, D. P. (2006). Promise and problems with supply chain management approaches to health care purchasing. *Academy of Management Annual Meeting Proceedings*, 1-6. doi: <https://doi.org/10.5465/AMBPP.2006.27161719>
- Guimaraes, C. M. & Carvalho J. C. (2013). Strategic outsourcing: a lean tool of healthcare supply chain management. *Strategic Outsourcing: An International Journal*, 6(2), 138-166. doi: <https://doi.org/10.1108/SO-11-2011-0035>
- Holmes, S.Z. & Miller, R. (2003). The strategic role of e-commerce in the supply chain of the health care industry. *International Journal of Services Technology and Management*, 4, 507-517. doi: <https://doi.org/10.1504/IJSTM.2003.003629>
- Jaapar, M., Musa, G., Moghavvemi, S. & Saub, R. (2017). Dental tourism: Examining tourist profiles, motivation and satisfaction. *Tourism Management*, 61, 538–552. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2017.02.023>
- Kim D. (2005). An integrated supply chain management system: A case study in healthcare sector. *International Conference on Electronic Commerce and Web Technologies*, 218-227. doi: https://doi.org/10.1007/11545163_22
- Kitsiou, S., Matopoulos, A., Manthou, V. & Vlachopoulou, M. (2007). Evaluation of integration technology approaches in the healthcare supply chain. *International Journal of Value Chain Management*, 1(4), 325-343. doi: <https://doi.org/10.1504/IJVC.2007.015091>
- Kritchanchai, D. & Krichanchai, S. (2010). An adoption of vendor managed inventory in Thailand healthcare industry. *Semantich Scholar*, 1-9. Retrieved from: <https://www.researchgate.net/publication/301891301>
- Kumar, A., Özdamar, L. & Zhang, C.N. (2008). Supply chain redesign in the healthcare industry of Singapore. *Supply Chain Management: An International Journal*, 13(2), 95–103. doi: <https://doi.org/10.1108/13598540810860930>
- Lin, R. and Ho, P. (2014). The study of CPFR implementation model in medical SCM of Taiwan. *Production Planning & Control*, 25 (3), 260–271. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/09537287.2012.673646>
- Machoda, M.L., Scavarda, A. & Vaccaro, G. (2014). Lean healthcare supply chain management: Minimizing waste and costs. *Independent Journal of Management & Production*, 5(4), 1071-1088. doi: <https://doi.org/10.14807/ijmp.v5i4.245>
- Malmir, B., Dehghani, S., Jahantigh, F. F. & Najjartabar, M. (2016). A New Model for Supply Chain Quality Management of Hospital Medical Equipment through Game Theory. *Sixth International Conference on Information Systems, Logistics and Supply Chain*, 1-9. Retrieved from: <https://www.researchgate.net/publication/303876132>

- Marques, L., Martins, M. and Araújo, C. (2020). The healthcare supply network: current state of the literature and research opportunities. *Production Planning & Control*, 31(7), 590–609. doi: <https://doi.org/10.1080/09537287.2019.1663451>
- Mathew, J., John, J. & Kumar, S. (2013). New Trends in Healthcare Supply Chain, *Semantich Scholar*, 1-10. Retrieved from: <https://www.semanticscholar.org/paper/New-Trends-in-Healthcare-Supply-chain-Mathew-John/b5c1803e7c5ea48550af03a1c479c555b2381bb7>
- McGrath, G.M., More, E. (2011). Data Integration Along the Healthcare Supply Chain: The Pharmaceutical Extranet Gateway Project, *Proceedings of the 34th Hawaii International Conference on System Science*, 1-8. Retrieved from: <https://www.researchgate.net/publication/232623201>
- Miah, S.J., Ahsan, K. & Msimangira, A. B. (2014). An approach of purchasing decision support in healthcare supply chain management. *Operations and Supply Chain Management*, 6(2), 43-53. doi: <https://doi.org/10.31387/oscm0140087>
- Muduli, K. & Barve A. (2012). Challenges to waste management practices in Indian health care sector. *2012 International Conference on Environment Science and Engineering*, 32(1), 62-67. Retrieved from: <http://ipcbee.com/vol32/011-ICESE2012-D035.pdf>
- Mustaffa, N.H. & Potter, A. (2009). Healthcare supply chain management in Malaysia: A case study. *Supply Chain Management: An International Journal*, 14(3), 234–243. doi: <https://doi.org/10.1108/13598540910954575>
- Nematollahi, M., Hosseini-Motlagh, S. M. & Heydari, J. (2017). Economic and social collaborative decision-making on visit interval and service level in a two-echelon pharmaceutical supply chain. *Journal of Cleaner Production*, 142, 3956-3969. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.062>
- Oksuz, M. K. & Sataglu, S. (2020). A two-stage stochastic model for location planning of temporary medical centers for disaster response. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 44, 1-13. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101426>
- Ozkul A. E., Secim, H. (1994). Sağlık Sistemleri Planlama ve Kontrolü, *Anadolu Üniversitesi Yayınları*, 819, 176.
- Puschmann, T. & Alt, R. (2001). Customer relationship management in the pharmaceutical industry. *Proceedings of the 34th Hawaii International Conference on System Sciences*, 1-9. doi: <https://doi.org/10.1109/HICSS.2001.927051>.
- Ryttilä, J.S. & Spens, K. M. (2006). Using simulation to increase efficiency in blood supply chains. *Management Research News*, 29(12), 801-819. doi: <https://doi.org/10.1108/01409170610717826>
- Schneller, E. S. & Smeltzer, L. R. (2006). *Strategic management of the health care supply chain*. Wiley&Sons, USA.
- Turhan, S.N. & Vayvay, Ö. (2009). Modeling of VMI implementation via SOA in a healthcare supply chain. *European and Mediterranean Conference on Information Systems*, 1-14. Retrieved from: : <https://www.researchgate.net/publication/237702861>
- Unal, A. (2017). Sağlık Sektöründe Tedarik Zinciri Unsurları. Retrieved from: <https://satinalmadergisi.com/?s=+sa%C4%9F%C4%B1k+sekt%C3%B6r%C3%BCnde+tedarik+zinciri+unsurlar%C4%B1>
- Vanvactor, J. D. (2012). Strategic health care logistics planning in emergency management. *Disaster Prevention and Management*, 21(3), 299-309. doi: <https://doi.org/10.1108/09653561211234480>
- Vries, J. & Huijsman, R. (2011). Supply chain management in health services: An overview. *Supply Chain Management: An International Journal* 16(3), 159-165. doi: <https://doi.org/10.1108/13598541111127146>

Yazdani, M., Tavanab, M., Pamučard, D. & Chatterjee, P. (2020). A rough based multi-criteria evaluation method for healthcare waste disposal location decisions. *Computers & Industrial Engineering*, 143, 1-25. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106394>



Journal of Turkish Operations Management

Lifetime extension approach for decreasing e-wastes

Sermin Elevli

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Ondokuz Mayıs University, Samsun, Turkey
e-mail: sermin.elevli@omu.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-7712-5536>

Article Info

Article History:

Received: 21.01.2022
Revised: 31.05.2022
Accepted: 15.06.2022

Keywords:

Deterioration,
E-waste,
Lifetime extension

Abstract

Electrical and electronic products (e-products) enabling human being benefit from higher standards of living has become an indispensable part of daily life. Since the e-products obsolete very quickly because of accelerating technological changes and consumption rates, e-waste is believed to be one of the most critical waste issue of coming future. E-waste is any electrical and electronic products that are unwanted, not working, and nearing or at the end of their useful life. The increasing levels of e-waste depending on usage of short lifespan e-products are significant threat to the environment and to human health. Lifetime extension is considered as one of the approaches to decrease or control e-wastes. A computer as an e-product is a system consisting of components, some or all of which may deteriorate over time at different rates mainly due to commercial and technological reasons. In this study, lifetime extension approach has been recommended for computers in which significant components are upgraded to attain threshold performance value.

1. Introduction

Electrical and electronic products (e-products), any household or business asset with electrical or battery powered circuit, are a major part of modern society. From essential kitchenware's to computers, they make lives and works more practical and efficient. However, all e-products have a shorter life expectancy compared to other assets. When they stop working or new technology makes them obsolete, they must be disposed of. Electronic waste (e-waste) is a term used for any type of e-product that have been disposed of as waste without the intention of reuse (Parajuly et al., 2019). E-waste also refers to any house, consumer and business electronics, and information technology hardware in the end of its useful life (Khurum et al., 2011).

Product lifetime/lifespan is the duration of the period that starts at the moment a product is started to use after manufacture and ends at the moment a product becomes obsolete (Bakker and Schuit, 2017). Today's extensive and rapid consumption of e-products having short lifespan lead to huge amounts of e-waste. Because of containing substances hazardous that are often released into the environment, e-waste is a threat for human health and nature. 50 million tons of electronic waste is generated per year worldwide, with an average of 6.5 kg per person (Forti et al., 2020). In addition, more waste is also generated when these devices are produced. Even developed countries with well-established waste management systems have been struggling with the huge amount and complexity of e-waste. Because of this, extending the lifespan of electronic devices emerges as an important requirement.

There is a growing attention on e-waste because of its fateful environmental consequences. "Web of Science" search results indicate that number of articles from different categories such as environment science, environmental engineering, green sustainable technology, etc. on e-waste has increased especially after the 2000s. (Figure 1). Chowdhury and Patel (2017) analyzed literature on e-waste in order to summarize the information available and to create common knowledge. Their findings indicates need for standardized method to estimate e-waste generation, policy for proper e-waste management, legal framework and awareness programs.

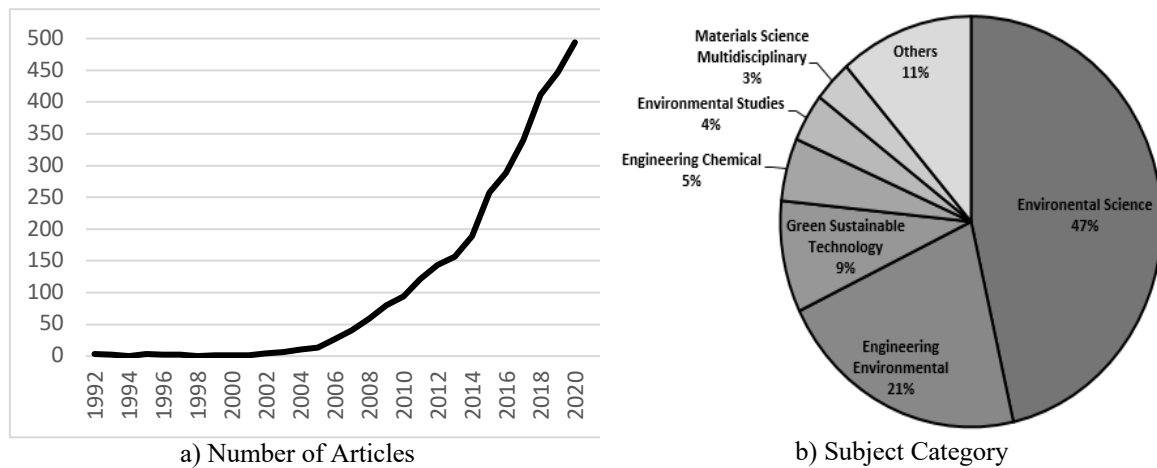


Figure 1. Literature Review on e-waste (1992-2021)

Technological advances have contributed to shorter product lifespan (Cole et al., 2016). Increasing demand for e-products with reduced product lifespan, leads to more frequent replacement/ renewal of them resulting e-waste stream. In order to protect planet against this kind of negativness, United Nations adopted 17 Sustainable Development Goals in 2015. The extension of product lifespan can be regarded as a tool under the goal of “Responsible Consumption and Production” (Bakker and Schuit, 2017). Extending the lifetime and delaying obsolescence of e-products can significantly reduce the environmental impacts and contribute to meeting environment, climate and sustainability goals. Lifetime extension of all washing machines, notebooks, vacuum cleaners and smartphones in the European Union for one year was reported to save around 4 million tons of carbon dioxide (CO₂) annually (EEB, 2021). This value equals to take over 2 million cars off the roads for a year (Table 1).

Table 1. Annual Carbon Dioxide Save of Extending the Lifetime of e-products by 2030 for European Union (million tons)

	1 Year	3 Years	5 Years
Smartphones	2,1	4,3	5,5
Notebook Computers	1,6	3,7	5
Washing Machines	0,25	0,66	1
Vacuum Cleaners	0,1	0,3	0,5

A personal computer lasts about 3-4 years from commercial perspective since the demand for running all application are increasing over the years. For example, hardware with certain capacity and performance capabilities is required for software installation. That is, in spite of its technical lifetime being longer, performance of a computer decreases over the time.

Technological change rate has led to PCs becoming functionally obsolete within short periods and made investments on PCs an ongoing operational expense instead of one-time expense. In case of there exists such a rapid technological obsolescence, purchasing new computer may not be the proper option. Because of this, it is reasonable to switch to the longer intervals of the replacement cycles by extending the lifetime of PCs.

This study first gives a brief background on environmental impacts of e-wastes. System deterioration and lifetime extension approach are then outlined followed by a framework for personal computers supported by literature. Finally, personal computer as a multicomponent e-product was used to illustrate the lifetime extension approach through component replacements.

1.1 System Deterioration

Deterioration (degradation) follows the principle of the second law of thermodynamics which is “disorder caused by the entropy of an isolated system increases with time” (Kang et al, 2020). Since the deterioration is inevitable, e-products just like other assets have a certain life time. Life expectancy of asset is defined as the time until the

asset is retired, completely replaced, or decommissioned (Lemer, 2012). For environmental and economical sustainability purposes, it is necessary to ensure that the assets stay in operation as much as possible and do not deteriorate faster than necessary (or expectation) during lifespan.

Functional value deterioration and physical value deterioration are the factors that cause gradual change in a product's performance over time (Fang and Rau, 2017). Obsolescence resulting from rapid technological development and/or changes in consumer expectation/ behavior is considered under functional value deterioration. On the other hand, aging and wearing off are accepted as the reason of the physical value deterioration.

Degradation analysis, a tool for assessing the lifetime distribution in reliability analysis, includes the measurement and extrapolation of degradation or performance data directly related to the presumed failure of the product under consideration (Reliawiki, 2021). In degradation analysis, the lifetime of a product is defined as the time in which the value of a chosen component reaches a predetermined threshold (Yu and Fuh, 2010).

For a system deteriorating with time, and subject to continuous cumulative deterioration, the deterioration evolution is usually modeled by a stochastic process (Huynh et al, 2011). Let $X(t)$ be the cumulative deterioration (or degradation level) at time t and X^* be the degradation threshold level. Then, timelife (T) will be as follows:

$$T = \inf\{t \geq 0 : X(t) \geq X^*\} \quad (1)$$

Deterioration can be represented as a curve in a diagram showing deterioration on the y-axis and the time on the x-axis (Figure 2). This curve shows the relationship between asset condition under the effect of technical or economical obsolescence, and time.

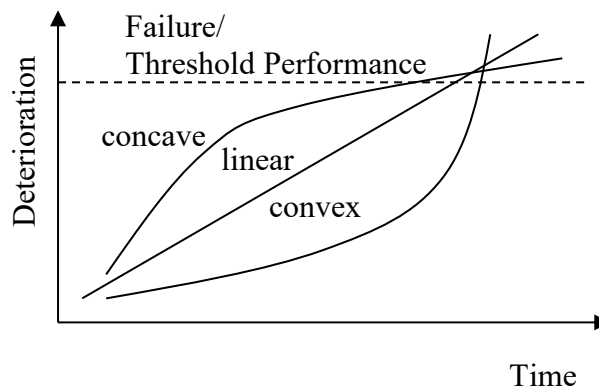


Figure 2. Possible shapes for deterioration curves (Welte, 2008)

In degradation analysis, performance data that can be directly related to the presumed failure of the product in question is measured. The performance of the system under consideration needs to be measured over time, either continuously or at predetermined intervals. After recording this information, the performance measurements are extrapolated to the defined threshold level in order to estimate failure or the end of life. Some basic models for modeling empirical degradation measurements are as follows (Reliawiki, 2021):

$$\text{Linear} \quad : \quad X(t) = a + bt \quad (2)$$

$$\text{Exponential} \quad : \quad X(t) = ae^{bt} \quad (3)$$

$$\text{Power} \quad : \quad X(t) = at^b \quad (4)$$

$$\text{Logarithmic} \quad : \quad X(t) = a + b \ln(t) \quad (5)$$

$$\text{Gompertz} \quad : \quad X(t) = ab^{c^t} \quad (6)$$

$$\text{Lloyd- Lipow} \quad : \quad X(t) = a - b/t \quad (7)$$

where $X(t)$ represents the performance, t represents time, and a , b and c are model parameters. The method consists of fitting one of those models to degradation data and to extrapolate it until it reaches the failure threshold (Letot and Dehombreux, 2009). After estimating the model parameters for each sample i , a time t_i can be extrapolated, which corresponds to the defined level of failure or performance- $X(t)$. The computed t_i values is then used as times-to-failure for subsequent life data analysis (Reliawiki, 2021).

Product/asset life-time extension as a part of asset management process is relatively new concept which aims to increase the lifetime of assets. Life-time extension (LTE) is defined as 1) extending the asset's economical and/or technical life-time (Van Dongen, 2011) 2) postponement or reversal of the obsolescence of a product through deliberate intervention (Bakker and Schuit, 2017). By lifetime extension, the deterioration can be postponed and the lifetime of a component is extended (Bakker et al, 1998).

Figure 3 in which normal line displays the normal deterioration of the asset and the dotted line displays the points of LTE shows the impression of LTE over time. Simple life curve of an asset shown by normal line indicates continuous deterioration up to the point of failure. In LTE, the component is restored to its acceptable condition by delaying the deterioration or improving the current condition (preventive replacement, upgrade, refurbishment, etc). Establishing the current state of deterioration is an important requirement to determine of the remaining life of the equipment (Sugier and Anders, 2010)

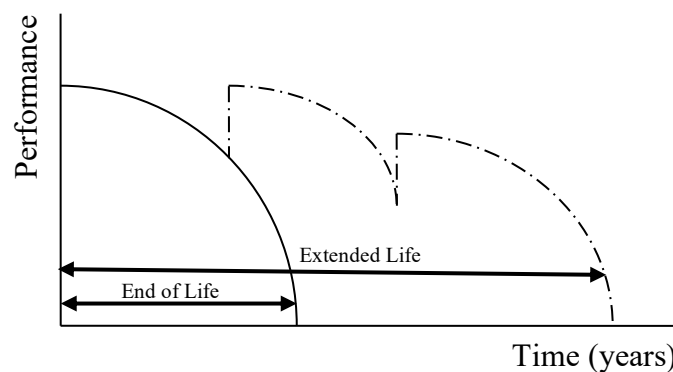


Figure 3. Impression of LTE over time (Adopted from Van Dongen, 2011)

1.2 Personal computers

A PC lifecycle is defined as the usefulness of a desktop or laptop computer to the users, from its initial acquisition through its ultimate disposal (DIR, 2013). End-user needs, technological changes, support technology and cost are main determinants of lifecycle. The current industry standard for a desktop and laptop computer is 4-5 years and 2- 3 years respectively (DIR, 2013).

Computer performance can be defined as the amount of useful work accomplished by a computer system compared to the time and resources used (Wikipedia, 2021). In order to measure the computer performance, some metrics such as availability, response time, channel capacity, latency, completion time, service time, bandwidth, throughput, etc can be used.

The overall speed and the capabilities of a PC do not change over time if every component works properly. However, different versions of any software cannot be compatible with old computers. That is, how well the computer is doing the work it is supposed to do may not be good enough for modern hardware and software. Thus, in spite of being completely functional, a computer cannot exploit modern capabilities and becomes useless. This kind of situation can be called as commercial deterioration/degradation/ageing. A main aspect of lifetime extension is the decision of replacement of deteriorated components or buying a new computer by disposing the old one (Griese et al., 2004).

In their study examining the relation of age and technical characteristic to price, Antonopolus and Sakellaris (2011) have found that consumers do not value ages of the computers. That is, age is not an important factor due to minimal physical deterioration. Additionally, CPU speed, amount of RAM and hard disk capacity have been found by them as the most important technical characteristics. Antonopolus and Sakellaris (2011) have also found that

prices of computers decline exponentially over age of them. Ferrer (1997) presented some experimental results concerning the values of a PC's components, which deteriorate as time increases. The monetary value of these components were found as $V=V_0t^a$, where t is time computed in periods and each period corresponds to one month, V_0 is the component's value at $t=0$ and $a>0$. Griese et al (2004) examined the market for reusing computers and environmental assessment of reuse and repair. Rachaniotis and Pappis (2008) proposed a decision-making model for reassembling different deteriorating subsystems and components of a complex system from used and new parts. The performance value functions for CPU, motherboard and hard disc which are exponential, power and logarithmic respectively, were calculated depending on t by using the least-squares method.

2. Problem statement and mathematical formulation

Multicomponent system is defined as a system consisting of several units of components or pieces, which may or may not depend on each other. The assumptions considered under this study are as follows:

1. Consider e-product as a multicomponent system consisting of m independent components.
2. Let T be lifespan of whole system (end-of-life)
3. Assume no component changes in system due to failure
4. Each component is subject to commercial / technological deterioration which follows power model (Equation 4).
5. At system' start up time ($T=0$), performance of whole system will be $P_0 = \sum_{i=1}^m P_{i0}$ with the performance of any component being $P_{i0}, i = \{1, 2, \dots, m\}$
6. Let P_{min} be threshold performance
7. Let times between successive inspections of performance be denoted by τ .
8. $\tau = \tau_j - \tau_{j-1}, j = 1, \dots, n$ will be held constant such as 3 months, 6 months and, yearly.
9. Since τ_n will be the cumulative time of n^{th} inspection, then lifespan will be $T = \tau_n = n \times \tau$
10. Let b be a constant for deterioration according to power model.
11. If performance of any component is $P_{i\tau_j} = P_{i0} \cdot \tau_j^{-b}, j = 1, 2, \dots, n$ then performance of whole system is

$$P_{0\tau_j} = \sum_{i=1}^m P_{i\tau_j}.$$

12. Let k be a variable representing the total number of replacements in the $[0, T]$ interval.
13. Let $S(k, m)$ be a sequence of the component which will be replaced. Components are replaced by following $S = \{S_1, S_2, \dots, S_m\}$.
14. Once all components are replaced once, the Lifetime is reached as soon as the minimum threshold performance is reached.

In case of comparing system performance ($P_{0\tau_j}$) at any periodic inspection point (τ_j) with threshold performance (P_{min}), two possibilities arise: 1) Intervene the system (Renewal) and 2) Keep working with the current system (Do nothing). Figure 4 shows the flowchart of lifetime extension model under the assumption that every component is replaced once.

3. Lifetime extension for PC

The following assumptions have been made to illustrate how the lifetime extension model works on a computer system.

1. Consider computer as a multi-component system consisting of three components which are CPU, RAM and Hard Disk ($m=3$)
2. Let the deterioration of each component follow the same behavior
3. Let the performance be expressed as a percentage. The performance of any component at $T = 0$ is $P_{i0}=\%33$ and the performance of the whole system is $P_0=\%100$
4. Let the system be checked on a monthly basis to determine the performance ($\tau=1$).

5. Let the performance of whole system be calculated according to $P_{i\tau_j} = P_{i0} \cdot \tau_j^{-b}$ with $b=0.15$ at any inspection.
6. Let the minimum performance threshold be $P_{min}=60\%$.
7. Consider each component be upgraded/ renewed once. This assumption has been taken into account due to the high probability of compatibility problems with old parts as a result of repetitive component renewals in computer systems.

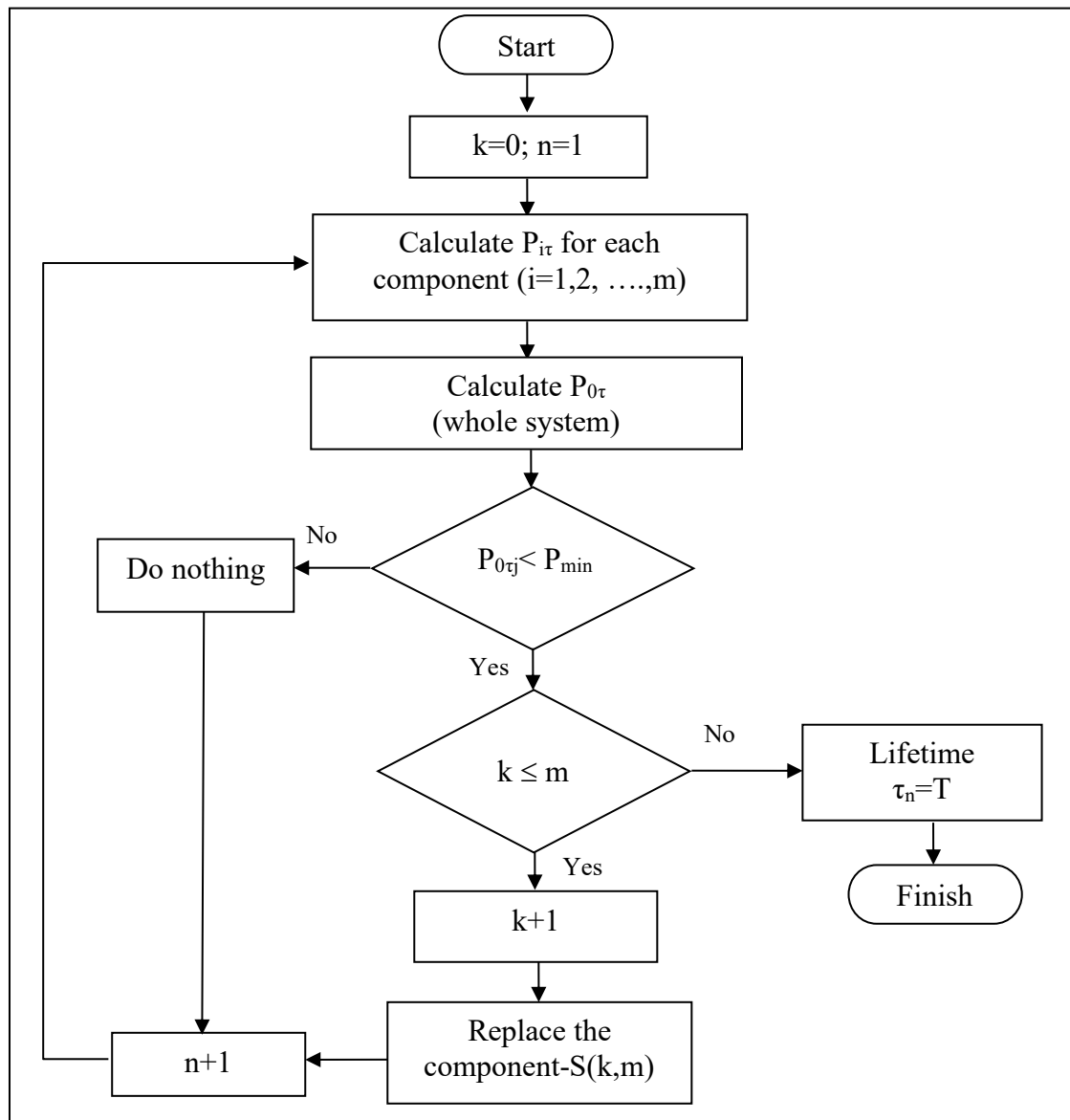


Figure 4. Flowchart of Lifetime Extension Model

In Figure 5, the results are presented graphically. Since the performance percentage fell below the 60% threshold in the periodic inspections performed at 30, 44 and 58th months, the component in sequence was upgraded to the next model. The time used to determine the deterioration of the respective component after replacement was reset.

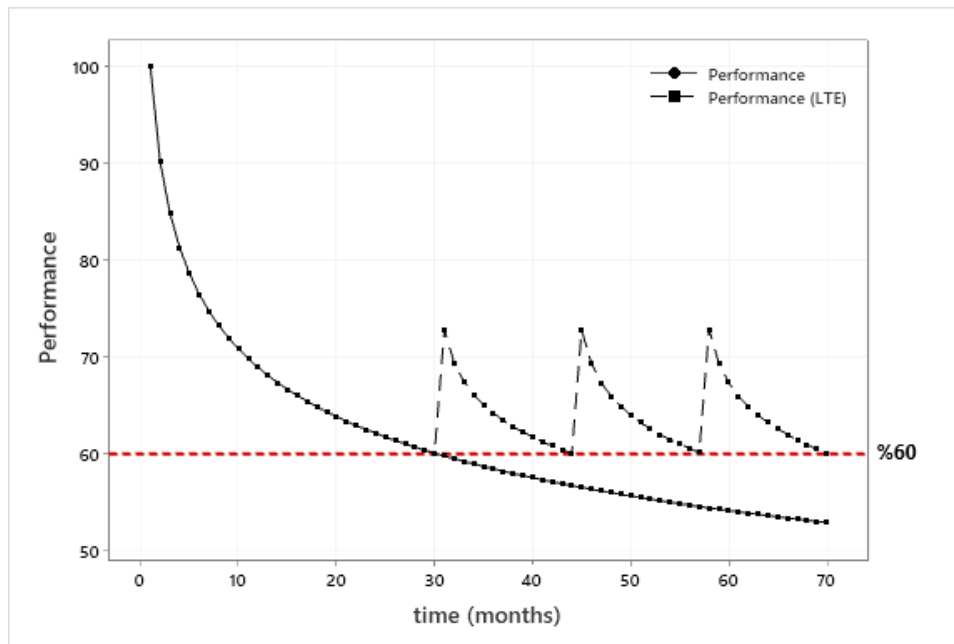


Figure 5. Results of LTE for Computers

4. Results and discussion

If a function of an e-product is no longer efficient enough during its use phase, it has reached at end of its useful life. Since this kind of e-products, called as e-waste, has been increasing due to rapid technological changes and consumption rates and creating a large environmental burden, the alternative of extending the lifetime of e-products should be considered.

In this study, "Lifetime Extension" approach, which includes the activities of extending the economic and / or technical life of the products, has been examined. A mathematical model was developed for computer which is an e-product. According to the application results, under current assumptions, if the components are not upgraded/replaced, the life of the system (computer) under consideration will be 30 months. As a result of the component renewals based on periodic inspection, it seems possible to extend the life of the computer to 70 months. This study showed that lifetime extension approach is a way to minimize the environmental impacts of e-wastes such as saving energy and reducing greenhouse by extending the e-products' lifespan. However, standards addressing best practices for lifetime extension of each e-product must be created and adopted as indicated by Hazelwood and Pecht (2021).

Conflicts of Interest

The author declared that there is no conflict of interest.

References

- Antonopoulos C. and Sakellaris P. (2011). Estimating computer depreciation using online auction data, *Economics of Innovation and New Technology*, vol.20, No.2, 183-204. DOI: <https://doi.org/10.1080/10438590903385095>
- Bakker C.A. and Schuit C. S. C. (2017). *The Long View: Exploring Product Lifetime Extension*, UN Environment, ISBN: 978-92-807-3661-8
- Bakker J. D., van der Graaf H. J. And van Noortwijk J. M. (1998). "Model of Lifetime- Extending Maintenance", *Proceedings of the 8th International Conference on Structural Faults and Repair*, London, United Kingdom, 13-15 July 1999. Edinburgh: Engineering Technics Press
- Chowdhury A. and Patel J. (2017). "E-Waste Management and its Consequences: A Literature Review", *Prestige e-Journal of Management and Research*, vol.4, Issue 1

- Cole C., Cooper T. and Gnanapragasam A. (2016). "Extending product lifetimes through WEEE reuse and repair: Opportunities and challenges in the UK," 2016 Electronics Goes Green 2016+ (EGG), Berlin, 2016, pp. 1-9 DOI: [10.1109/EGG.2016.7829857](https://doi.org/10.1109/EGG.2016.7829857)
- DIR- Department of Information Resources (2013). PC Life Cycles- Guidelines for Establishing Life Cycles for Personal Computers, Austin, Texas
- EEB- European Environmental Bureau (2021). Cool Products Don't Cost The Earth, <https://eeb.org/library/coolproducts-briefing/>, 04.02.2021
- Fang Y.T. and Rau H. (2017). "Optimal Consumer Electronics Product Take-Back Time with Consideration of Consumer Value", Sustainability, 9, 385 DOI: <https://doi.org/10.3390/su9030385>
- Ferrer G. (1997). "The Economics of Personal Computer Remanufacturing", Resources, Conservation and Recycling, vol.21, 79-108. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(97\)00030-X](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(97)00030-X)
- Forti V., Balde C.P., Kuehr R. and Bel G. (2020). The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows and the circular economy potential. United Nations University (UNU)/United Nations Institute for Training and Research (UNITAR) – co-hosted SCYCLE Programme, International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Rotterdam
- Griese H., Poetter H., Schischke K., Ness O. and Reichl H. (2004). "Reuse and lifetime extension strategies in the context of technology innovations, global markets, and environmental legislation", IEEE International Symposium on Electronics and the Environment
- Hazelwood D. A. and Pecht M. G. (2021) "Life Extension of Electronic Products: A Case Study of Smartphones", IEEE Access, Volume 9, 144726-144739.
- Huynh K.T., Barros A., Bérenguer C. and Castro I.T. (2011). "A periodic inspection and replacement policy for systems subject to competing failure modes due to degradation and traumatic events", Reliability Engineering & System Safety, Volume 96, Issue 4, Pages 497-508
- Kang R., Gong W. and Chen Y. (2020). "Model-driven degradation modeling approaches: Investigation and review", Chinese Journal of Aeronautics, 33(4): 1137–1153
- Khurram M., Bhutta S., Omar A. and Yang X. (2011). Electronic Waste: A Growing Concern in Today's Environment, Hindawi Publishing Corporation, Economics Research International, Volume 2011, Article ID 474230, 8 pages DOI: [10.1155/2011/474230](https://doi.org/10.1155/2011/474230)
- Lemer A. C. (2012). Estimating Life Expectancies of Highway Assets, Volume 1: Guidebook, National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, The National Academies Press, Washington, DC <https://doi.org/10.17226/22782>.
- Letot C. and Dehombreux P. (2009). A toolbox to assess reliability and degradation models, ETE' 2009 Second EUREKA International Symposium on Environmental Testing Engineering, Belgium.
- Parajuly K., Kuehr R., Awasthi A. K., Fitzpatrick C., Lepawsky J., Smith E., Widmer R., Zeng X. (2019). Future E-waste Scenarios, StEP (Bonn), UNU ViE-SCYCLE (Bonn) & UNEP IETC (Osaka)
- Rachaniotis N.P. and Pappis C.P. (2008). Preventive Maintenance and upgrade system: optimizing the whole performance system by components' replacement or rearrangement, International Journal of Production Economics, vol.112, 236-244.
- Reliawiki (2021). Degradation Data Analysis, http://reliawiki.org/index.php/Degradation_Data_Analysis, 04.02.2021
- Sugier J. and Anders G. J. (2010). Modelling Equipment Deterioration vs. Maintenance Policy in Dependability Analysis, Computational Intelligence and Modern Heuristics, Al-Dahoud Ali (Ed.), ISBN: 978-953-7619-28-2 DOI: [10.5772/7826](https://doi.org/10.5772/7826)

Van Dongen P. (2011). Value& Innovation Through Asset Life-time Extension, Erasmus University, Economics and Informatics

Welte T. (2008). “Deterioration and Maintenance Models for components in hydropower plant”s, Ph.D. thesis, Norwegian University of Science and Technology , Faculty of Engineering Science and Technology, Department of Production and Quality Engineering

Wikipedia (2021). Computer Performance, https://en.wikipedia.org/wiki/Computer_performance, 08.02.2021

Yu I. and Fuh C. (2010). Estimation of Time to Hard Failure Distributions Using a Three-Stage Method, IEEE Transactions on Reliability, vol.59, No.2, 405-412 DOI: [10.1109/TR.2010.2044610](https://doi.org/10.1109/TR.2010.2044610)



Journal of Turkish Operations Management

Fuzzy linear programming approach for the capacitated vehicle routing problem

Fatih Öztürk¹, Seçkin Ünver^{2*}

¹Industrial Engineering Department, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Istanbul Medeniyet University, Istanbul
e-mail: fatih.ozturk@medeniyet.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0003-4113-055X>

²Industrial Engineering Department, Faculty of Engineering, Marmara University, Istanbul
e-mail: unverseckin@gmail.com, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-5936-5085>

*Corresponding Author

Article Info

Article History:

Received: 22.12.2021
Revised: 14.06.2022
Accepted: 05.07.2022

Keywords

Vehicle Routing Problem,
Fuzzy Logic,
Verdegay Method

Abstract

In recent years, with both technological advances and the effect of globalization, businesses have entered a very intense competition. In this harsh competitive environment, customer satisfaction has become a critical concept. Firms implement costs reducing strategies in order to increase profitability levels and gain competitive advantage in the market. Researches show that a significant ratio of the cost of a product is derived from the transport activities. Therefore, it has become important for companies to find the optimal route during transportation. In this study, it is addressed as capacity constrained vehicle routing. First, a deterministic model is proposed for the addressed problem. Second, in accordance with real life conditions, a fuzzy linear programming model has been developed in case of the vehicle capacities are uncertain. The Verdegay approach has been adopted for the fuzzy linear programming model. The proposed model was implemented to a real life problem in the food sector. The results are compared with the results of a deterministic model and they show that the fuzzy linear programming model proposed in this study gives cost effective results in uncertain environment.

1. Introduction

In recent years, companies have entered a very competitive environment with increasing globalization. The companies in the markets where competition is experienced have adopted to increase their profits by decreasing the costs instead of increasing the product sales price in order to increase the operating profit without damaging the competitive advantage in the market. Today, it is known that the share of distribution costs in the unit product costs is approximately 15-20% of the total cost (Güvez et al., 2012). Therefore, a cost-effective distribution planning provides firms with both cost advantage and significant competitive (Öztürk, 2014).

Vehicle routing problem (VRP) represents the issue of identifying the smallest cost routes for a vehicle fleet to meet customer needs while aiming to find the optimum route starting from a warehouse to provide all customers with services or products in the shortest time and with minimum cost (Toth & Vigo, 2002). Logistical planning in real life includes high level of uncertainty and dynamic in nature (Öztürk & Kaya, 2020). It is not always possible to obtain all the required information for a decision making process (Öztürk, 2021). Therefore, usually these kinds of processes are performed without complete or precise information (Ayvaz et al., 2018; Öztürk et al., 2020). This is where the fuzzy sets become appropriate to apply since they deal with optimization or decision making under uncertainty (Brito et al., 2009). The cases for VRP where the demand is uncertain (Werners & Drawe, 2003) or the time windows are imprecise (Brito et al., 2008); (Tang et al., 2009) are examined in the literature with details. Unlike the previous studies, our aim is to deal with the uncertainty in capacity since it is not always possible to measure the loading capacity of a vehicle perfectly in terms of how many boxes or how much load it can carry.

In this study, two models are proposed for multi-vehicle and capacity restricted vehicle routing problem. Initially, a deterministic model was developed with the assumption that the customer capacity of the vehicle is known. Moreover, capacity constrained fuzzy linear programming model is proposed assuming that vehicle capacities are uncertain in accordance with real life conditions. For the fuzzy capacity limited fuzzy linear programming model, different parameter values were analyzed and the model with the best results were chosen and compared with deterministic model results. The proposed models were adapted to the problem of product distribution to a bakery in Hatay province and the optimal route was obtained. The results show that the capacity limited fuzzy linear programming model proposed in this study gives effective results.

In the first part of the study, literature review was provided. In the second part, the methodology and the problem are discussed. In the third part, real life usage of the built model has been made. In the last section, the results were reported.

2. Literature Review

In this part of the study, some studies about fuzzy linear programming with the literature studies related to vehicle routing are included. A recent study where an optimization model with two objectives to minimize cost and time for municipal waste collection was conducted by Aliahmadi et al. (2021). The model aims to deal with the uncertainty of waste generation amounts by using fuzzy credibility theory. In more recent years, fuzzy green VRP has begun to catch more attention and the number of publications considering fuzzy green VRP follows an increasing trend (Yaşar Boz & Aras, 2021). Giallanza and Li Puma discussed a fuzzy green VRP for an agricultural supply chain with uncertain demands (2020). A VRP model for electric vehicles with fuzzy service times, travel times and battery energy consumption is developed by Zhang et al. (2020). Men et al. focused on VRP for hazardous material transportation (2019). They introduced the variables in the objective function in trapezoidal interval type-2 fuzzy form to deal with the uncertainty which causes transportation risks. Radojčić et al. proposed a fuzzy greedy randomized adaptive search procedure method coordinated with path relinking to solve a VRP with additional risk constraints (2018). Bahri et al. introduced an approach to deal with a multi-objective VRP by ranking generated solutions according to fuzzy pareto dominance and applying generic evolutionary algorithms with fuzzy extensions (2018). Nadizadeh and Kafash have discussed a routing and cost problem of a simultaneous pickup and delivery demands (2019). Arab et al. have worked on a product inventory-routing problem with multiple periods (2020). A two-level model which involves several retailers and a distributor is proposed with the aim of minimization of two objectives, namely, the system total cost (which includes start-up, maintenance, and distribution costs) and transportation costs based on risk factors. Eryavuz and Gencer discussed the problem of vehicle routing to make the total distance minimum for the personnel service vehicles of Balıkesir Ordnance School and Training Center (2001). Savings and stochastic saving algorithms intuitions were used to solve the proposed model. Başkaya and Öztürk focused on the vehicle routing problem for the distribution of bread to the five sales branches of a bread factory (2005). For the solution of the model, branch-cutting method was proposed and the shortest routes for the vehicles were determined. Szeto et al. has studied the artificial bee colony intuition to implement on the vehicle routing problem (2011). The performance of the suggested solution method was analyzed using experimental data. Yücenur and Demirel developed a hybrid metadata intuitive structure consisting of ant colony optimization and genetic algorithm for multi-port vehicle routing problem (2011). Their objective was to minimize the total distance traveled. Güvez et al. focuses on the vehicle routing problem of a collector firm in the waste sector, which enables to minimize the total cost of collecting medical waste from health institutions (2012). In the solution of the problem, an integer linear programming model was used. Kesen discussed the vehicle routing problem in the distribution decisions (2012). The study also proposed a new model that solves the problems of production and distribution simultaneously. Yu and Dong discussed the routing problem of a distribution vehicle under time and weight constraints to maximize the delivery profit (2013). A genetic algorithm approach incorporating CPLEX into the model has been developed for the solution of the model.

A fuzzy set framework approach is proposed to model imprecision and flexibility for uncertain information which may be faced in a VRP by El-Sherbeny (2011). Taş et al. discussed the ARP with flexible time window (2014). Özkök and Kurul addressed the capacity restricted vehicle routing problem of a distribution company operating in the food sector to determine the optimum route for the vehicles used in the product distribution to the customer group (2014). Şahin and Eroğlu have developed genetic algorithm-based methods that can solve order picking and vehicle routing problems hierarchically in a structure that is interconnected in both classical and crossover warehouse systems (2015). Customer and order groups were determined using genetic algorithms, vehicle routes, savings and the nearest neighbor intuition. Kovacs et al. proposed multi-purpose generalized restricted ARP model (2015). In addition to general ARP constraints, improvement of driver consistency, consistency at time of reaching and route cost minimization are discussed. Zhang et al. proposed an ARP model taking into account fuel consumption and carbon emissions (2015). For the solution of the model, a new method

with tabular search intuitive basis has been developed. Atmaca et al. deals with the vehicle routing problem with time windows to determine the routes of a white goods authorized service vehicles distributing the products (2015). Lin et al. addressed the problem of electric vehicle routing to find minimum travel time and energy cost (2016). It is assumed that the vehicle charging points are at service points. Ulaş et al. used the method of saving algorithm in order to solve the vehicle routing problem of a bakery in Sivas (2017). Shao et al. handled electric vehicle routing problem with charge time and variable travel time (2017). Genetic algorithm heuristic is used in the solution of the developed model.

Examples of some literature studies using fuzzy linear programming method are as follows: Güngör and Ergülen introduced a vehicle routing linear programming model with fuzzy demand parameters and applied on the case of a food manufacturer (2006). Ergülen and Kazan have developed a fuzzy integer linear programming model for the route evaluation of freight transport systems in the transport sector (2007). In the study, the demand parameter is explained with fuzzy numbers. Bilgen proposed a fuzzy integer linear programming model for the production and distribution problem in the supply chain (2010). In the proposed model, the capacity parameter is considered to be fuzzy. The model is applied in the consumer goods sector. Fazlollahtabar et al. has developed a fuzzy mathematical model focusing on supply chain network design with multi-ware, multi-vehicle, multi-product, multi-customer under different time periods (2013). decision variables are assumed to be fuzzy, besides the demand and cost parameters. Mousavi et al. studied a fuzzy probabilistic-stochastic programming model for multiple cross-shipment and vehicle routing problems (2014). In the study, parameters such as distance, product availability cost, facility opening cost, processing cost, vehicle operating cost, transportation cost, vehicle capacity, product volume, collection and delivery times, maximum working time of collection and delivery of vehicles are stated as fuzzy numbers. Baykaşoğlu and Subulan developed a mathematical model for reverse logistic network design where the decision variables are fuzzy (2015). In the study, the amount of waste, product rate to be disposed, weight of waste, recycling rate, transportation costs and plant capacities are expressed in fuzzy numbers. In addition to these parameters, the decision variables expressing the amount of waste to be transported between plants were also taken as fuzzy. Dai and Zheng proposed a model for chance-constrained programming and fuzzy programming approaches for multi-stage, multi-cycle, multi-stage closed-loop supply chain network design under uncertainties (2015). In the proposed model, capacity, demand, product ratio parameters to be disposed are uncertain and expressed in fuzzy numbers. Mohammed and Wang proposed a fuzzy multipurpose linear programming model for green meat supply chain design (2017). The objectives covered are minimization of transport and processing costs, minimization of CO₂ emissions during transportation, minimization of delivery time and maximization of delivered product rate. In the study, fuzzy numbers were used for the cost of transportation and processing, demand and capacity parameters.

According to the results of the literature research, it is still clear that some parameters are uncertain in the vehicle routing problem in accordance with real life conditions. In this study, the capacity constrained multi-vehicle vehicle routing problem has been addressed by considering vehicle capacity uncertainties.

3. Methodology

3.1 Vehicle Routing Problem

VRP basically aims to transport products from one or more production centers with multiple vehicles to the relevant demand points / customers at minimum distance or minimum cost. In this type of problem, the distributor has a fleet of vehicles with certain capacities (Başkaya & Öztürk, 2005). In the problem, each customer has a special demand, the vehicle to meet customer orders should create many tours starting from the warehouse and ending in the warehouse (Karagül & Güngör, 2014). Starting from this definition, the assumptions of the problem are determined as a vehicle goes to each customer, each route begins from the warehouse and finishes in the warehouse, and meeting the known customer demand and total demand of the customer does not exceed the vehicle capacity (Alağaç et al., 2016).

Although many studies have been carried out in the field of this problem for many years, no exact formula has been found for the optimum route for VRP. Therefore, intuitive and meta-intuitive methods have been used in the solution of vehicle routing problems according to the constraints and characteristics of the problem type, and with their results, they have been used in this field (Yücenur & Demirel, 2011).

The assumptions of VRP are as follows (Karagül & Güngör, 2014):

- Each route begins and end at the warehouse and there is a single warehouse in each city.
- Every customer is visited by definitely one vehicle and once.
- The total demand of any route cannot be more than the vehicle capacity.

- Vehicles used in the fleet are identical in terms of specifications and capacity.
- Total route cost is minimized.

The mathematical model of the vehicle routing problem is set up as follows: n denotes the total number of cities or warehouses, Q denotes the vehicle capacities, c_{ij} denotes the distance between cities or warehouses, K denotes the number of vehicles and the d_i denotes the demand amounts (Caccetta & Hill, 2001):

The integer linear programming model of VRP is shown below:

$$\min \sum_{i=0}^n \sum_{i \neq j, j=0}^n c_{ij} \cdot x_{ij} \quad (1)$$

$$\sum_{i=1, i \neq j}^n x_{ij} = 1 \quad (\forall j) \quad (2)$$

$$\sum_{j=1, j \neq i}^n x_{ij} = 1 \quad (\forall i) \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{0j} = K \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{i0} = K \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_i \cdot x_{ij} \leq Q \quad (i \neq j) \quad (6)$$

$$u_i - u_j + n \cdot x_{ij} \leq n - 1 \quad (1 \leq i \neq j \leq n) \quad (7)$$

$$(0 \leq x_{ij} \leq 1) \quad (8)$$

The objective function (1) minimizes the total travel distances of the vehicles. (2) and (3) indicate that one point can only be reached from one point and can go to only one point. (4) indicates that the number of vehicles starting from the starting point is m , (5) indicates that the n vehicles completing the round must return to the point where they started. (6) ensures that the request on node i does not exceed Q , the capacity of the vehicle. (7) is sub-tour elimination constraint. (8) gives the variable indicating when a vehicle should go to another point must be taken as $\{0,1\}$.

3.2 Linear Programming with Constraints and Verdegay Approach

The general mathematical structure of linear programming problems with fuzzy right-side constants are as follows:

$$\max Z = c^T \cdot x \quad (9)$$

$$Ax \leq \tilde{b} \quad (10)$$

$$x \geq 0 \quad (11)$$

There are two approaches, namely Verdegay and Werners, to solve linear programming models with fuzzy right-side constants. Verdegay has proposed a model only in cases where the right side constants are fuzzy (Verdegay, 1984). Werners has developed a model that considers the objective function to be fuzzy because of the right-hand side constants (Werners, 1987).

3.3 Verdegay Approach

It is a non-symmetric approach developed by Verdegay for the solution of fuzzy linear programming models, with only right-side constants being fuzzy. In non-symmetrical models, the idea is derived from that there are differences between the objective functions and the constraints (Başkaya, 2011).

$$\max Z = c_j \cdot x_j \quad (12)$$

$$\sum_{j=1}^n A_{ij} \cdot x_j \leq \tilde{b}_i \quad (13)$$

$$x_j \geq 0 \quad (14)$$

The membership function of fuzzy constraints is expressed as follows.

$$\mu_i(x) = \begin{cases} 1, & A_{ij} \cdot x_j \leq b_i \\ 1 - \left[\frac{A_{ij} \cdot x_j - b_i}{P_i} \right], & b_i \leq A_{ij} \cdot x_j \leq b_i + P_i \\ 0, & A_{ij} \cdot x_j \geq b_i + P_i \end{cases} \quad (15)$$

In non-symmetrical models, fuzzy linear programming problems are solved by transforming them into parametric linear programming problems. The parametric linear programming model is as follows (Paksoy et al., 2013):

$$\text{maks } Z = c_j \cdot x_j \quad (16)$$

$$(A_{ij} \cdot x_j \leq b_i + P_i \cdot (1 - \alpha) \quad \alpha \in [0,1] \quad (17)$$

$$x_j \geq 0 \quad (18)$$

In the Verdegay approach, the possible tolerance limits (P_i) corresponding to the constant values of the fuzzy variables are requested from the decision maker. As $\theta \in [0,1]$, θ is written instead of $(1-\alpha)$ to obtain the parametric solution. In this solution, $\alpha = 1$ is for $\theta = 0$. When the θ value goes from zero to one, the degree of satisfaction moves from 100% to zero. There is no deviation for $\theta = 0$ and the satisfaction rating is 1. $\theta = 1$ shows the highest tolerance and takes the highest value in the maximization problem (Paksoy et al., 2013).

4. Problem Identification and Model Formulation

In this study, fuzzy vehicle routing problem is taken into consideration in order to meet the demand of each demand point where vehicle capacities are taken into consideration. Two models have been proposed in the study. The first model is a generic deterministic model with vehicle capacities, nearly identical as the one described in the previous section, with only a few constraints are changed. The difference is that our deterministic model forces the solution to be where a path between two nodes be traveled by only one vehicle and it is formed to provide benchmark solutions for our second model. The second model is a fuzzy integer linear programming model where vehicle capacities are uncertain. Here, the capacity constrained fuzzy vehicle routing model adapted for the problem addressed is as follows. n denotes the total customer point, Q denotes the vehicle capacities, c_{ij} denotes the distance between customers, k denotes the number of vehicles and d_i denotes the amount of demand at customer points.

4.1 Model 1: Deterministic Model

$$\text{min } \sum_{i=0}^n \sum_{i \neq j, j=0}^n c_{ij} \cdot x_{ijk} \quad (19)$$

$$\sum_{i=0, i \neq n}^n x_{ink} = \sum_{j=1, j \neq n}^n x_{njk} \quad \forall k, \forall (1 \leq i \leq n) \quad (20)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^n x_{ijk} = 1 \quad \forall (2 \leq i \leq n) \quad (21)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{0jk} = 1 \quad \forall k \quad (22)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ijk} = 1 \quad \forall k \quad (23)$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=0, j \neq i}^n d_i \cdot x_{ijk} \leq Q_k \quad \forall k \quad (24)$$

$$u_i - u_j + n \cdot x_{ij} \leq n - 1 \quad (1 \leq i \neq j \leq n) \quad (25)$$

$$(0 \leq x_{ij} \leq 1) \quad (26)$$

The objective function (19) minimizes the total travel distances of the vehicles. (20) and (21) indicate that one point can only be reached from one point and can go to only one point. (22) means that the number of vehicles starting from the start point is m , (23) indicates that the m vehicles which has completed the round must return to the point where they started. (24) ensures that the request on node i does not exceed the capacity of the vehicle. The vehicle capacity, which is the right-side constant of this constraint, is taken as indefinite and it is expressed as fuzzy number. (25) is sub-tour elimination constraint. (26) enables the decision variable indicating when a vehicle should go to another point to take the $\{0,1\}$ value.

4.2 Model 2: Fuzzy integer linear programming model

In the fuzzy integer linear programming model where the vehicle capacities are unclear, only the constraint (24) is defined as in (27).

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=0, j \neq i}^n d_i \cdot x_{ijk} \leq \widetilde{Q}_k \quad \forall k \quad (27)$$

In this study, the tolerance limit (P_k) for the fuzzy capacity constraint was accepted as 10% for the right-side constant. This tolerance limit is the upper limit for the vehicle capacities and it is based on the experience of the bakery owner or the decision maker. According to the decision maker, the vehicles usually exceed their default capacities around 10% and for the sake of cost-efficiency, it is assumed as the strict upper limit for the vehicle capacities. Since the cost associated with the travelled distance is the objective function of our problem, the hidden costs of manipulation on the right-hand side of the constraints are disregarded.

The linear programming model, which is fuzzy with the help of the membership function proposed by Verdegay, has been transformed into a parametric linear programming model. The constraint (27) has been turned into a new form (28).

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=0, j \neq i}^n d_i \cdot x_{ijk} \leq Q_k + P_k \cdot (1 - \alpha) \quad \forall k \quad (28)$$

The parametrical linear programming model was analyzed by using GAMS 23.5 package program for different $\alpha = (0.1, 0.2, 0.3, \alpha, 1)$ values and optimum values were obtained.

5. Application and Results

In this study, the proposed capacity limited fuzzy vehicle routing model was applied to the problem of distance minimization of bread deliveries of round-trips from İskenderun district of Hatay province to 57 distribution points with four vehicles. The distribution points are given in Table 1 with their geographic locations. Additionally in Figure 1, positions of the bakery and distribution points on a map is shown.

The assumptions of the model are as follows:

- The vehicles exit the center and return to the center.
- A vehicle goes to each distribution point.
- The amount of cargo to be distributed on the route cannot exceed the vehicle capacity.
- All distribution points must be covered.
- Demands are known in advance.

Table 1. The coordinates of the bakery and distribution points

Location	X coordinate	Y coordinate	Location	X coordinate	Y coordinate
BAKERY	36.578361	36.167617	29	36.587286	36.170316
1	36.578231	36.157889	30	36.589667	36.154611
2	36.577267	36.167295	31	36.591250	36.158806
3	36.576658	36.179000	32	36.525835	36.179017
4	36.582536	36.163167	33	36.539139	36.165049
5	36.570778	36.161455	34	36.541795	36.162979
6	36.579538	36.178883	35	36.541502	36.157985
7	36.592739	36.163034	36	36.546023	36.163761
8	36.563278	36.135017	37	36.555382	36.155230
9	36.576000	36.169517	38	36.551665	36.154549
10	36.576028	36.169239	39	36.558649	36.158566
11	36.576056	36.169045	40	36.566438	36.149912
12	36.564750	36.158639	41	36.562423	36.149694
13	36.578656	36.161278	42	36.582912	36.164151
14	36.585500	36.160250	43	36.573987	36.164145
15	36.580917	36.165944	44	36.571188	36.174729
16	36.576761	36.168284	45	36.573957	36.170056
17	36.577833	36.170034	46	36.559186	36.142639
18	36.571351	36.161722	47	36.544759	36.152173
19	36.574703	36.162767	48	36.569988	36.157611
20	36.574669	36.162692	49	36.547500	36.155528
21	36.571944	36.159500	50	36.541715	36.086867
22	36.571953	36.159511	51	36.580206	36.159545
23	36.581656	36.194573	52	36.558380	36.158528
24	36.592436	36.167066	53	36.541333	36.159111
25	36.589000	36.156545	54	36.579222	36.189455

26	36.587417	36.163705	55	36.582739	36.191333
27	36.590139	36.164778	56	36.586472	36.171639
28	36.588017	36.172778	57	36.587306	36.168611

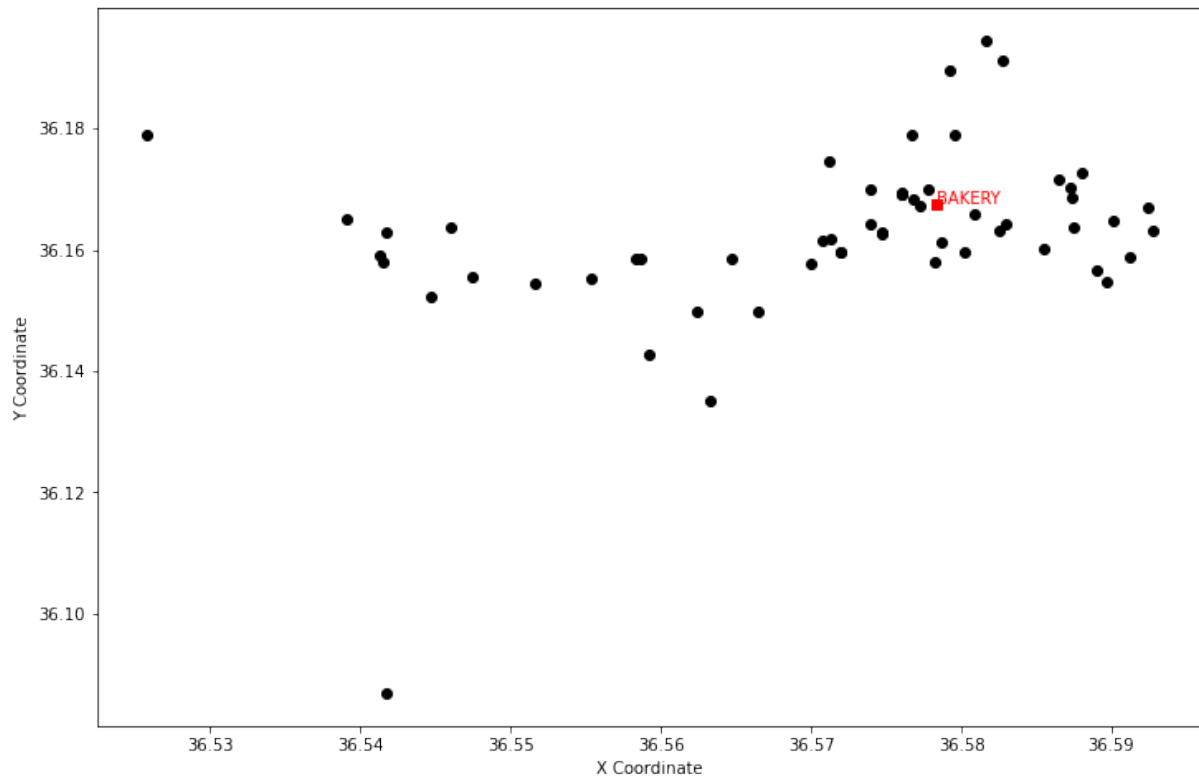


Figure 1. Map of the bakery and distribution points.

Demand amounts of distribution points / customers are as in Table 2. Vehicle capacities are 900, 900, 2500 and 2500 respectively.

Table 2. Demand quantities for demand points (Qty)

Location	Demand (qty)	Location	Demand (qty)	Location	Demand (qty)
1	30	20	45	39	75
2	30	21	60	40	75
3	45	22	30	41	75
4	45	23	75	42	75
5	45	24	60	43	45
6	60	25	75	44	60
7	60	26	75	45	60
8	60	27	60	46	30
9	30	28	90	47	60
10	45	29	90	48	120
11	45	30	75	49	75
12	45	31	75	50	210
13	45	32	60	51	75
14	30	33	75	52	60
15	45	34	75	53	60
16	45	35	75	54	600
17	45	36	75	55	450
18	45	37	90	56	750
19	60	38	75	57	900

GAMS 23.5 package program was used to solve the developed model. The results obtained are as follows:

5.1 Results for model 1

Minimal value of total travel distances of vehicles with objective function by solving deterministic model was found as 49,972 km. Vehicle routes obtained for optimal results are given in Table 3. The optimal routes are displayed on map in Figure 2.

Table 3. Deterministic model results

Vehicle	Route
Vehicle #1	Bakery-10-9-17-4-42- Bakery
Vehicle #2	Bakery -18-21-22-48-41-40-8-50-46-37-52- Bakery
Vehicle #3	Bakery -11-3-54-6-28-56-15-12-39-38-49-47-35-53-34-33-32-36-5-43- Bakery
Vehicle #41	Bakery -2-19-20-1-51-13-14-25-30-31-7-26-27-24-57-29-55-23-44-45-16- Bakery

5.2 Results for model 2

When the fuzzy linear programming model is solved for the different α values by the Verdegay Approach, the results in Table 4 are obtained.

Table 4. Fuzzy VRP model results
Alpha Objective function

0,0	48,473
0,1	50,509
0,2	51,385
0,3	54,870
0,4	57,090
0,5	50,940
0,6	52,127
0,7	55,610
0,8	47,062
0,9	53,509
1,0	49,972

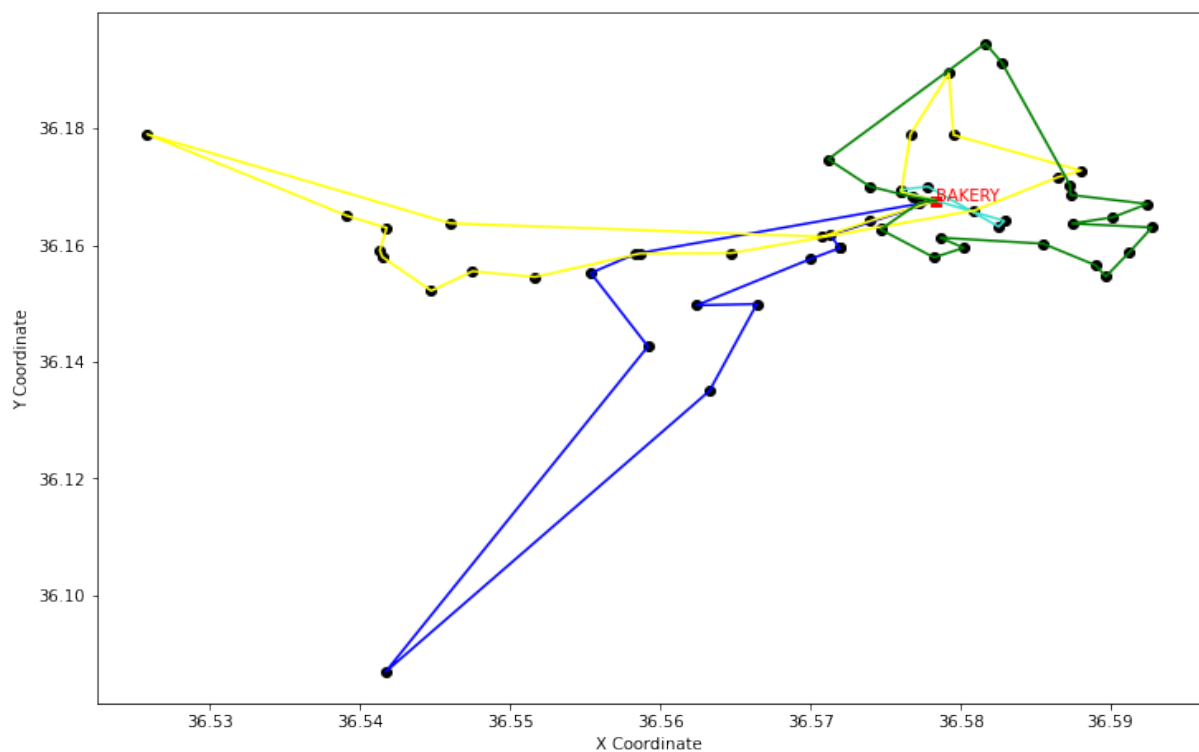


Figure 2. Optimal routes for the vehicles in deterministic model.

Accordingly, the minimum distance is 47,062 km for $\alpha = 0,8$ (Table 4; Figure 3) and the routes obtained for this solution are as follows. The vehicle routes obtained for the $\alpha = 0.8$ value which gives the best solution are given in Table 5.

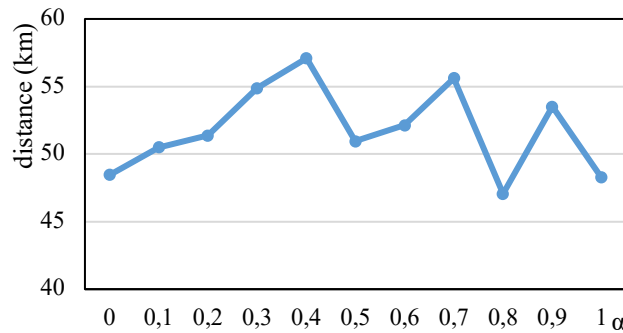


Figure 3. Change in objective function according to alpha value.

Table 5. Vehicle routes that provide the best solution

Vehicle	Route
Vehicle #1	Bakery -45-44-32-33-34-36-53-35-47-49-38-37-5- Bakery
Vehicle #2	Bakery -2-19-20-43-13-51-4-42- Bakery
Vehicle #3	Bakery -17-3-6-55-23-54-28-56-29- Bakery
Vehicle #4	Bakery -15-26-57-24-27-7-31-30-25-14-1-21-22-12-39-52-41-46-50-8-40-48-18-11-9-10-16- Bakery

The improvements in vehicle routes by applying fuzzy linear programming model are apparent and are shown in Figure 4.

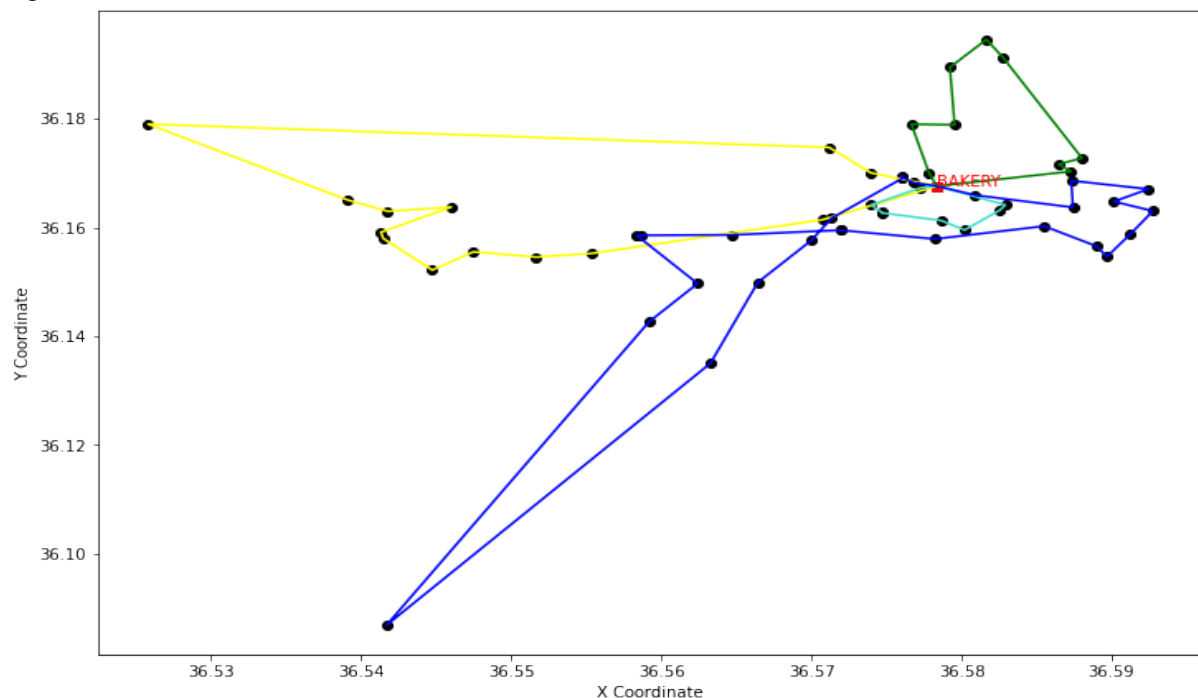


Figure 4. Optimal routes for the vehicles in fuzzy linear programming model.

In Table 6, the solution obtained for $\alpha = 0.8$, which gives the best solution value, was compared with the deterministic model solution.

Accordingly, the fuzzy proposed VRP model is better than the deterministic model. When the run-times are examined, compare to the deterministic model run-time is longer by 34 seconds due to fuzzy vehicle capacities and Verdegay method. In deterministic method, solution has been reached with 2,208,776 iterations, while in fuzzy VRP model it has been reached with 1,955,204 iterations. Although the fuzzy VRP model gives a better objective function, it can be concluded that the deterministic model is faster in achieving an optimal solution.

Table 6. The effectiveness of calculations

	Deterministic model	Fuzzy VRP model
Objective function (km)	49.972	47,062
Elapsed time (sec)	943,26	977,88
The iteration	2208776	1955204
Variables	13,286	13,286
Non-zero elements	84,821	84,821
Discrete variables	13,228	13,228

6. Conclusions

According to the researches, in today's business world, where distribution costs constitute 15-20% of the unit product costs, determining an efficient distribution route in terms of cost and distribution time gives enterprises both cost advantage and significant competitive advantage. Problem of identifying the smallest cost routes for a vehicle fleet to meet customer needs is known in the literature as vehicle routing problem. In this study, capacity constrained vehicle routing problem were handled by expressing customer demands as fuzzy numbers. The proposed model has been applied to a real problem in order to find optimal routes in the distribution of products to the customers of a bakery operating in Hatay province. The results showed the effectiveness of the fuzzy linear programming method. The proposed fuzzy mathematical model is more effective than the deterministic model in real life conditions where some critical parameters are indeterminate.

In subsequent studies, the distances between the customer and the source point using the geographic information system can be expressed as real distance based on the geographic information system instead of the Euclidean relation. Stochastic programming model can be developed by showing with uncertainty probability distributions in customer demands. Likewise, it is not only the minimization of the path taken, but also the multipurpose models which can minimize the carbon dioxide emissions as well.

Contribution of Researchers

Fatih Öztürk carried out model calibrations and data analysis. Seçkin Ünver reviewed the literature and contributed to computational efforts.

Conflicts of Interest

The authors declared that there is no conflict of interest.

References

- Alağaç, H. M., Çetin, S., Yerlikaya, A., & Eren, T. (2016). Heterojen Eş-Zamanlı Topla-Dağıtım Rotalama Problemi: Tehlikeli Malzeme Sevkiyatı. *4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science (ISITES2016)*, 472–780. <https://isites.info/PastConferences/ISITES2016/>
- Aliahmadi, S. Z., Barzinpour, F., & Pishvae, M. S. (2021). A novel bi-objective credibility-based fuzzy model for municipal waste collection with hard time windows. *Journal of Cleaner Production*, 296, 126364. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126364>
- Arab, R., Ghaderi, S. F., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2020). Bi-objective inventory routing problem with backhauls under transportation risks: two meta-heuristics. *Transportation Letters*, 12(2), 113–129. <https://doi.org/10.1080/19427867.2018.1533624>
- Atmaca, H. E., Vardar, S., Akbabaöz, S., Vural, A., & Uruş, G. (2015). Ankara İlinde Ürün Dağıtımını Yapan Bir Beyaz Eşya Yetkili Servisinin Araç Rotalama Problemine Çözüm Yaklaşımı. *Politeknik Dergisi*, 18(2), 99–105. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/politeknik/issue/33074/368043>
- Ayvaz, B., Kuşakcı, A. O., Öztürk, F., & Sırakaya, M. (2018). Biyodizel tedarik zinciri ağ tasarımı için çok amaçlı karma tam sayılı doğrusal programlama modeli önerisi. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 23(4), 55–70. <https://doi.org/10.17482/uumfd.455307>
- Bahri, O., Talbi, E.-G., & Ben Amor, N. (2018). A generic fuzzy approach for multi-objective optimization

under uncertainty. *Swarm and Evolutionary Computation*, 40, 166–183. <https://doi.org/10.1016/j.swevo.2018.02.002>

Başkaya, Z. (2011). *Bulanık Doğrusal Programlama*. Ekin Yayınevi.

Başkaya, Z., & Öztürk, B. A. (2005). Tamsayılı Programlamada Dal Kesme Yöntemi ve Bir Ekmek Fabrikasında Oluşturulan Araç Rotalama Problemine Uygulanması. *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 24(1), 101–114. <http://hdl.handle.net/11452/17899>

Baykasoğlu, A., & Subulan, K. (2015). An analysis of fully fuzzy linear programming with fuzzy decision variables through logistics network design problem. *Knowledge-Based Systems*, 90, 165–184. <https://doi.org/10.1016/j.knsys.2015.09.020>

Bilgen, B. (2010). Application of fuzzy mathematical programming approach to the production allocation and distribution supply chain network problem. *Expert Systems with Applications*, 37(6), 4488–4495. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.12.062>

Brito, J., Campos, C., Castro, J. P., Martínez, F. J., Melián, B., Moreno, J. A., & Moreno, J. M. (2008). Fuzzy Vehicle Routing Problem with Time Windows. *Proceedings of IPMU*, Málaga, Spain, 1266–1273. <http://www.gimac.uma.es/ipmu08/proceedings/papers/168-BritoEtAl.pdf>

Brito, J., Moreno-Pérez, J. A., & Verdegay, J. L. (2009). Fuzzy Optimization in Vehicle Routing Problems. *Proceedings of the Joint 2009 International Fuzzy Systems Association World Congress and 2009 European Society of Fuzzy Logic and Technology Conference*, Lisbon, Portugal, 1547–1552. <https://www.researchgate.net/profile/Jose-Verdegay/publication/>

Caccetta, L., & Hill, S. P. (2001). Branch and cut methods for network optimization. *Mathematical and Computer Modelling*, 33(4–5), 517–532. [https://doi.org/10.1016/S0895-7177\(00\)00258-2](https://doi.org/10.1016/S0895-7177(00)00258-2)

Dai, Z., & Zheng, X. (2015). Design of close-loop supply chain network under uncertainty using hybrid genetic algorithm: A fuzzy and chance-constrained programming model. *Computers & Industrial Engineering*, 88, 444–457. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2015.08.004>

El-Sherbeny, N. A. (2011). Imprecision and Flexible Constraints in Fuzzy Vehicle Routing Problem. *American Journal of Mathematical and Management Sciences*, 31(1–2), 55–71. <https://doi.org/10.1080/01966324.2011.10737800>

Ergülen, A., & Kazan, H. (2007). Taşımacılık sektörünün işleyiş süreci, Bulanık dağıtım probleminin tamsayılı doğrusal programlama model denemesi. *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 3(6), 109–126. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ijmeb/issue/54836/750767>

Eryavuz, M., & Gencer, C. (2001). Araç Rotalama Problemine Ait Bir Uygulama. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6(1), 139–155. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/sduiibfd/issue/20850/223589>

Fazlollahtabar, H., Mahdavi, I., & Mohajeri, A. (2013). Applying fuzzy mathematical programming approach to optimize a multiple supply network in uncertain condition with comparative analysis. *Applied Soft Computing*, 13(1), 550–562. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2012.08.016>

Giallanza, A., & Puma, G. L. (2020). Fuzzy green vehicle routing problem for designing a three echelons supply chain. *Journal of Cleaner Production*, 259, 120774. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120774>

Güngör, İ., & Ergülen, A. (2006). Bulanık Araç Rotalama Problemlerine Bir Model Önerisi ve Bir Uygulama. *Yönetim ve Ekonomi: Celal Bayar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 13(1), 53–60. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/yonveek/issue/13684/165592>

Güvez, H., Dege, M., & Eren, T. (2012). Medical Waste Collection with Vehicle Routing Problem in Kırıkkale. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 4(1), 41–45. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/umagd/issue/31723/345863>

- Karagül, K., & Güngör, İ. (2014). Havalimanından otellere tek tip araçlarla turist dağıtım problemi için çözüm önerisi ve Alanya uygulaması. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 189–196. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/dpusbe/issue/31805/349097>
- Kesen, S. E. (2012). Bütünleşik üretim ve dağıtım problemleri için yeni bir çözüm yaklaşımı: Matematiksel modelleme. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 27(3), 99–110. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/sujest/issue/23227/248003>
- Kovacs, A. A., Parragh, S. N., & Hartl, R. F. (2015). The multi-objective generalized consistent vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, 247(2), 441–458. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.06.030>
- Lin, J., Zhou, W., & Wolfson, O. (2016). Electric Vehicle Routing Problem. *Transportation Research Procedia*, 12, 508–521. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.02.007>
- Men, J., Jiang, P., & Xu, H. (2019). A chance constrained programming approach for HazMat capacitated vehicle routing problem in Type-2 fuzzy environment. *Journal of Cleaner Production*, 237, 117754. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117754>
- Mohammed, A., & Wang, Q. (2017). The fuzzy multi-objective distribution planner for a green meat supply chain. *International Journal of Production Economics*, 184, 47–58. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.11.016>
- Mousavi, S. M., Vahdani, B., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Hashemi, H. (2014). Location of cross-docking centers and vehicle routing scheduling under uncertainty: A fuzzy possibilistic–stochastic programming model. *Applied Mathematical Modelling*, 38(7–8), 2249–2264. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2013.10.029>
- Nadizadeh, A., & Kafash, B. (2019). Fuzzy capacitated location-routing problem with simultaneous pickup and delivery demands. *Transportation Letters*, 11(1), 1–19. <https://doi.org/10.1080/19427867.2016.1270798>
- Özkök, B. A., & Kurul, F. C. (2014). Araç rotalama problemine tam sayılı lineer programlama modeli ve gıda sektöründe bir uygulama. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 43, 251–260. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/iuisletme/issue/9253/115769>
- Öztürk, F. (2014). Qualität, effizienzsteigerung und integrierte managementsystemen im türkischen eisenbahnsektor. *Social and Natural Sciences Journal*, 8(2). <https://doi.org/10.12955/snsj.v8i2.657>
- Öztürk, F. (2021). A Hybrid Type-2 Fuzzy Performance Evaluation Model for Public Transport Services. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 46(10), 10261–10279. <https://doi.org/10.1007/s13369-021-05687-4>
- Öztürk, F., & Kaya, G. K. (2020). Afet sonrası toplanma alanlarının PROMETHEE metodu ile değerlendirilmesi. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 1239–1252. <https://doi.org/10.17482/uumfd.697097>
- Öztürk, F., Kuşakcı, A. O., Ayvaz, B., & Sırakaya Karakoç, M. (2020). Biyoyakıt tedarik zinciri ağ tasarımı çalışmaları için öz düzenleyici haritalar. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(2), 345–356. <https://doi.org/10.21923/jesd.509079>
- Paksoy, T., Özceylan, E., & Pehlivan, N. Y. (2013). *Bulanık küme teorisi*. Nobel Akademik Yayıncılık.
- Radojičić, N., Djeneć, A., & Marić, M. (2018). Fuzzy GRASP with path relinking for the Risk-constrained Cash-in-Transit Vehicle Routing Problem. *Applied Soft Computing*, 72, 486–497. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2018.05.022>
- Şahin, Y., & Eroğlu, A. (2015). Sipariş Toplama ve Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemlerinin Hiyerarşik Çözümü. *Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 3, 15–28. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jesd/issue/20872/223988>
- Shao, S., Guan, W., Ran, B., He, Z., & Bi, J. (2017). Electric Vehicle Routing Problem with Charging Time and Variable Travel Time. *Mathematical Problems in Engineering*, 2017, 1–13.

<https://doi.org/10.1155/2017/5098183>

Szeto, W. Y., Wu, Y., & Ho, S. C. (2011). An artificial bee colony algorithm for the capacitated vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, 215(1), 126–135. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.06.006>

Tang, J., Pan, Z., Fung, R. Y. K., & Lau, H. (2009). Vehicle routing problem with fuzzy time windows. *Fuzzy Sets and Systems*, 160(5), 683–695. <https://doi.org/10.1016/j.fss.2008.09.016>

Taş, D., Jabali, O., & Van Woensel, T. (2014). A Vehicle Routing Problem with Flexible Time Windows. *Computers & Operations Research*, 52, 39–54. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2014.07.005>

Toth, P., & Vigo, D. (2002). *The Vehicle Routing Problem*. Society for Industrial and Applied Mathematics. <https://doi.org/10.1137/1.9780898718515>

Ulutaş, A., Bayrakçıl, A. O., & Kutlu, B. (2017). Araç rotalama probleminin tasarruf algoritması ile çözümü: Sivas'ta Bir Ekmek Fırını İçin Uygulama. *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 18(1), 185–197. <http://esjournal.cumhuriyet.edu.tr/pub/issue/32216/358139>

Verdegay, J. L. (1984). Applications of fuzzy optimization in operational research. *Control and Cybernetics*, 13, 229–240. https://www.academia.edu/52819479/Applications_of_fuzzy_optimization_in_operational_research

Werners, B. (1987). Interactive multiple objective programming subject to flexible constraints. *European Journal of Operational Research*, 31(3), 342–349. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(87\)90043-9](https://doi.org/10.1016/0377-2217(87)90043-9)

Werners, B., & Drawe, M. (2003). *Capacitated Vehicle Routing Problem with Fuzzy Demand* (pp. 317–335). https://doi.org/10.1007/978-3-540-36461-0_21

Yaşar Boz, E. & Aras, F. (2021). Yeşil araç rotalama problemi araştırması: geçmiş ve gelecekteki eğilimler. *Journal of Turkish Operations Management*, 5(2), 806-821. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jtom/issue/67597/952471>

Yu, J., & Dong, Y. (2013). Maximizing profit for vehicle routing under time and weight constraints. *International Journal of Production Economics*, 145(2), 573–583. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.05.009>

Yücenur, G. N., & Demirel, N. Ç. (2011). A hybrid algorithm with genetic algorithm and ant colony optimization for solving multi-depot vehicle routing problems. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 29, 340–350. <https://sigma.yildiz.edu.tr/article/865>

Zhang, J., Zhao, Y., Xue, W., & Li, J. (2015). Vehicle routing problem with fuel consumption and carbon emission. *International Journal of Production Economics*, 170, 234–242. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.09.031>

Zhang, S., Chen, M., Zhang, W., & Zhuang, X. (2020). Fuzzy optimization model for electric vehicle routing problem with time windows and recharging stations. *Expert Systems with Applications*, 145, 113123. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.113123>



Journal of Turkish Operations Management

An inventory optimization model for a textile manufacturing company

Adem PINAR^{1*}, Durdu Hakan Utku², Fatih Kasimoğlu³

¹ Department of Logistics Management, University of Turkish Aeronautical Association, 06790, Ankara, Türkiye

* Corresponding author, email: adempinar@yahoo.com, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0003-0471-7204>

² Department of Industrial Engineering, University of Turkish Aeronautical Association, 06790, Ankara, Türkiye
email: dhutku@thk.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-5755-6101>

³ Department of Industrial Engineering, University of Turkish Aeronautical Association, 06790, Ankara, Türkiye
email: ffatihkasimoğlu@gmail.com, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0001-5818-9342>

Article Info

Article History:

Received: 20.04.2022
Revised: 23.06.2022
Accepted: 07.07.2022

Keywords

Inventory Management,
Optimization,
Mixed Integer Programming,
ABC Analyses.

Abstract

Inventory management is a crucial issue in most businesses from factories in industry to small and large organizations in the production or service sector. A company should determine an optimum inventory level between excessive inventory that takes up physical space, costs much, and lack of inventory which disrupts the supply chain causing unavailability of the product that makes customers change their idea and buy from another supplier.

In this study, we first classify the items that the company manufactures by using ABC analysis and develop a mathematical model to minimize total cost to enable a better inventory management. We use ABC analysis method to evaluate products in a textile company in terms of importance and to track these products according to their priorities. Accordingly, we propose a mixed integer programming model to determine production quantities and inventory levels with minimum cost. The results shows that the company in concern can improve its total production and inventory costs by 3.8 percent.

1. Introduction

The success of any company which supplies products to its customers depends on companies providing the availability of the demand at the right time, with an appropriate price, and in the requested conditions. All divisions of a firm, especially the design, purchasing, sales, marketing, and production departments should work in a harmony to prepare for these conditions. In many companies, the inventory control function entails dealing with the availability of the products which are especially the main products, spare parts, and consumables. inventory control of a product is precisely balancing the inventory level taking into consideration the trade-off between availability and minimum stock policies. The balancing of these stock levels may even be a challenge among departments of the company. While sales and purchasing departments consider availability a benefit for their aspect, finance, and logistics (warehouse) departments do not like the extra costs and liabilities of high inventory rates (Wild, 2017).

In order to have optimal inventory management, a company is to minimize its inventory while satisfying the customers' demands. In inventory management literature even the optimum inventory level that a firm should maintain has been studied, there is still a dilemma that inventory is both an asset and a liability. Thus, excessive inventory takes up physical space, costs much, and increases the probability of hazard, and loss. Conversely, lack of inventory disrupts the supply chain and causes unavailability of the product which makes customers change their idea and buy from another supplier. Therefore, companies need to use both cost-efficient and competitive inventory management approaches to manage their inventory (Koumanakos, 2008). In this context, some of the problems may arise from the lack of an effective inventory management method; (1) The firms spend too much time calculating order quantities and reorder points to respond to "When to order?" and "How much to order?" questions. (2) Raw materials with high stock levels consume too much space in the warehouse. Conversely, if the raw material stock levels are not sufficient, the production process will not be finalized. (4) Customer demand must be met at a sufficient level.

Considering the abovementioned problems, in this study, we propose an inventory management methodology for a furnishings manufacturing company operating in Ankara. Our proposed approach enables the classification of the critical items with ABC analyses and then optimizes the production quantities and inventory levels with minimum cost. The study shows that production and inventory costs can be considerably reduced with the proposed methodology. In our specific case, the results put forward an improvement of ₺1,369,240 in total cost value, which is tantamount to a 3.8 percent cost decrease.

In Section 2, we reviewed the literature in detail on the research regarding inventory planning and warehouse management. In Section 3 we explain our methodology consisting of ABC-XYZ classification and optimization models. In Section 4, a case study is given and it's solved with the proposed optimization model using GAMS software. In the last section, a conclusion is given with recommendations.

2. Literature Review

In this section, past studies in warehouse management, inventory planning, and buffer stock area optimization are examined as follows:

In early studies, Scarf (1960) conducted a study showing the appropriateness of the use of minimum/maximum (s, S) inventory policy to dynamic inventory problems. Armour and Buffa (1963) found the CRAFT algorithm for settlement problems and CRAFT has become the most popular layout solution algorithm in a short time and changes have been made to the algorithm in line with the requirements. Herron (1976) presented the applications of the ABC curve in Industrial Engineering. Ehrhardt (1979) conducted research on power estimation using the (s, S) inventory policy.

There are many studies on different inventory management policies dealing with order quantity. Silver and Peterson (1985) have presented a mathematical model for a minimum order quantity. If the required quantity is less than the minimum order quantity, the current order may be increased or delayed. In a simple approach, they compared both alternatives in terms of costs to find formulas for safety stock and the threshold of an order.

Janssen et al. (1999) (R, s, Q) discussed the decision to determine the reorder point to meet the customer demand instantly in the inventory model. They argued that the periodic review method would be profitable, as ordering and shipping costs could be reduced when replenishment orders for different products could be properly coordinated. They observed the time interval between requests and demand size data. They considered the problem separately and compared the two models, CR (compound refresh) and DT (discrete-time model), and showed that the DT model can cause major errors and the CR method is a more suitable model.

Some researchers worked on inventory management on environmental protection and healthcare issues. García-Alvarado et al. (2017) focused on the impact of inventory management on environmental protection: They claimed that keeping the inventory at an optimum level is important for environmental health, especially in products that are containing chemicals, and its impact on environmental health should be considered when determining the amount of inventory. Balciik et al. (2016) focused on studies that answer the questions of where, how much, and when to stock in humanitarian supply chains, and these studies are analyzed and reviewed. Pre and post-natural disaster inventory management problem articles are also categorized. The deficiencies in the existing literature are identified and some suggestions are made for future studies. Eissa and Rashed (2020) studied statistical process optimization tools in inventory management and made an application of vendors evaluation in the healthcare sector.

Some researchers studied inventory problems in different logistic areas like maintenance, pipeline, and Ro-ro transportation. Dabiri et al. (2017) focused on the problem of carrying the inventory and inventory transport problem. In their study, transportation and other costs are discussed and a solution method is developed. Poppe et al. (2017) focus on the impact of preventive maintenance on inventory. It is asserted that preventive maintenance equipment increases the demand for spare parts because it does not use its entire life. Chandra et al. (2016) also discuss car transport by sea (ro-ro) by proposing a mixed-integer model for the management of inventory at ports. A time-based heuristic method is also provided. Information numerical results are shown using real data. Moradi and MirHassani (2015) also address the problem of inventory management for petroleum products. In the pipeline connecting a refinery to a distribution center, a mixed-integer model is proposed that optimizes inventory according to daily demand. Computational experiments with real data show that the proposed method gives good results in a short time. Siddiqui et al. (2018) also focus on the problem of carrying inventory in petroleum products. A mathematical model is made to decide whether it should be a pipeline or a sea transport. According to the results of the model, the pipeline stands out in cases where the cost is considered as the only factor, and sea transportation is the more appropriate choice when environmental impacts are considered. A heuristic solution method is also suggested.

Some researchers discussed inventory management regarding the behavioral aspects of the workers and customers. Ancarani et al. (2016) emphasize that employees' overconfidence increases the cost of inventory management. It is

argued that overconfidence generates optimism and, for example, shaping the inventory according to the expectation that sales will be high increases the costs. It is explained that purchasing professionals should be trained to evaluate their success expectations correctly. Li and Fu (2017) also examine the situation where customers turn to other equivalent products in cases where they cannot find their first choice products because they are exhausted. Taking into account this orientation, how can inventory amounts be determined, an optimization model is suggested in this regard. A heuristic method whose closeness to optimum solution has been tested with numerical experiments is also proposed.

There are many other different methods and approaches used in inventory management. Fiestras-Janeiro et al. (2011) view inventory management from the game theory aspect. In this study, game theory applications for a centrally controlled inventory situation are reviewed. Addy-Tayie (2012) dealt with the improvement of a rubber factory's inventory using ABC analyses, reducing the inventory levels, working on shorter lead times, and using a policy of seasonal ordering. Dai et al. (2017) addressed the inventory management problem with its multi-level dimension. Instead of a mathematical modeling approach that only deals with the supplier or the retailer, suggestions have been made on the problem of both minimizing, for example, the total cost of inventory. Rahdar et al. (2018) also proposed a new mathematical model and solution approach for inventory management. The novelty of the approach stems from its dealing with the situation in which the demand and the lead time are both uncertain. Qiu et al. (2019) suggest an inventory model for perishable products. They analyzed delivery amounts in changing manufacturing periods and proposed a branch and cut algorithm. Three valid inequality families are used to reinforce the model presented. The validity of the model is examined through a case study. Alawneh and Zhang (2018) address the problem of inventory management in warehouses. A multi-product mathematical model is proposed that addresses the use of space and uncertainty in demand in warehouses. Solution algorithms are proposed for various uncertain demand situations. Torkul et al. (2016) bring innovation to the safety inventory approach. Using the data of previous periods and evaluating instant conditions, it is possible to predict when the stock will end with statistical analysis, and the approach of managing inventory without keeping a safety inventory is taken into consideration.

3. Methodology

We first apply ABC and XYZ analyses for the determination of inventory priorities. Then we propose a mathematical model to determine optimal production quantities and inventory levels with minimum cost.

3.1 ABC and XYZ Analysis

ABC analysis is used to classify materials regarding their priorities. With this method, the importance of sub-materials used during production is determined and an order policy suitable for each material is followed. The materials are classified into Group A which is very important, Group B that are medium importance, and Group C indicates less or no importance. In the light of these inferences, Group A and B were taken into consideration, whereas Group C materials are ignored as they have little importance. In our case, ABC analysis was applied to our manufacturer based on a cost-based calculation. This cost is the amount of material used for annual products multiplied by its price. With ABC analysis, we focused on important materials and improved inventory management. Besides, the reorder level is revised and the most appropriate order level is determined. Therefore, the optimum ordering quantity according to the inventory level is also calculated to prevent storing too much or too less materials. To summarize, the ABC approach has been applied to our manufacturing company for the following reasons: (1) Focusing attention on important materials and improving inventory management, (2) Improvement in the inspection system, (3) Revising the reorder level, (4) Ordering inventory materials as required and controlling this amount. The products in the inventory are divided into three main groups A, B, and C:

- Group A: It will be used for high-value products. The high level of service received is expensive. The capital invested in buffer inventory is necessary. Strict control and individual control are required.
- Group B: Follows between two extremes. Collective control similar to Group C is made.
- Group C: Used for low-value materials. The high level of service received is cheap. The capital invested in buffer inventory is excessive. It requires more relaxed and collective control.

XYZ analyses can be regarded as an extension of ABC analysis to evaluate the fluctuations in demand for each group of A, B, and C warehouse materials. These materials are classified into X, Y, and Z categories based on the coefficient ratios of 20%: 30%:50% respectively. Category X items are mostly constant and their fluctuation rate is low, namely highly predictable. Category Y items have products from which the fluctuation rate stems especially for seasonal reasons or changes in production trends. Category Z items are irregular in use and show low predictability (Pandya & Thakkar, 2016).

3.2 Mathematical Model

The model to determine optimal production quantities and inventory levels with minimum cost are given as follows.

Sets:

i : Products, $i \in I, I = \{1, 2, \dots, n\}$

t : Periods, $t \in T, T = \{1, 2, \dots, m\}$

Parameters:

Cap_t : The capacity in period t

ES_i : Safety inventory of item i

y_i : yarn cost of item i

p_i : painting cost of item i

f_i : finishing cost of item i

e_i : packaging cost of item i

l_i : labor cost of item i

s_i : Fixed cost of item i

h_i : holding cost of item i

c_i : variable cost of item i

$$c_i = y_i + p_i + f_i + e_i + l_i \quad \forall i \in I$$

IO_i : initial quantity of inventory of item i

IS_i : final quantity of inventory of item i

D_{it} : demand of item i in period t

Decision Variables

X_{it} : Production quantity of item i in period t

Z_{it} : Binary variable indicating production quantity item i in period t (0 if the quantity is greater than 0, 1 otherwise)

I_{it}^- : inventory level of item i in period t immediately before the order arrives

I_{it}^+ : inventory level of item i in period t immediately after the order arrives

Objective Function

Min (Total Variable Cost + Total Fixed Cost + First Month Holding Cost + Remaining Months' Holding Cost)

$$= \text{Min} \sum_t \sum_i c_i X_{it} + \sum_t \sum_i s_i Z_{it} + \sum_i h_i \left(\frac{IO_i + I_{i1}^-}{2} \right) + \sum_i \left[\sum_{t=2}^{10} h_i \left(\frac{I_{i(t-1)}^+ + I_{it}^-}{2} \right) \right] \quad (1)$$

S.t.

$$I_{i1}^- = IO_i - D_{i1} \quad \forall i \in I \quad (2)$$

$$I_{it}^+ = I_{it}^- + X_{it} \quad \forall i \in I, \forall t \in T \quad (3)$$

$$I_{it}^- = I_{i(t-1)}^+ - D_{it} \quad \forall i, 2 \leq t \leq 10 \quad (4)$$

$$I_{i(10)}^+ \geq IS_i \quad \forall i \in I \quad (5)$$

$$I_{it}^- \geq ES_i \quad \forall i \in I, \forall t \in T \quad (6)$$

$$X_{it} \leq Cap_t Z_{it} \quad \forall i \in I, \forall t \in T \quad (7)$$

$$X_{it}, I_{it}^+, I_{it}^- \geq 0 \quad \forall i \in I, \forall t \in T \quad (8)$$

$$z_{it} = \{0, 1\} \quad \forall i \in I, \forall t \in T \quad (9)$$

Our model (1) gives the objective function of minimizing total cost. (2) states the initial inventory constraints for all products. (3) and (4) are the inventory balance constraints. (5) is the ending inventory constraint set. Constraint (6) represents safety inventory levels. (7) defines the capacity constraints. Finally, (8) is our nonnegativity constraint set, and (9) is the binary variable defining constraint.

4. Application and Results

The developed model to determine optimal production quantities and inventory levels with minimum cost are applied to a real textile manufacturing company to test its performance. The company in concern is a medium-sized company that manufactures 18 different textile products. The company has an inventory management problem that causes extra inventory and production costs. The model is used to determine an optimal policy for the inventory management of the company.

To test the model performance we use real data and compare the total cost results with the current value in the absence of the model.

In the company normally there is no inventory classification of the items. Thus, the company applies the same policy without concerning the relative importance of all items. This causes a waste of resources and complicates inventory management. To cope with this problem first ABC/XYZ classification method is used. After the classification of the items, the optimal production quantities and inventory models are determined by using the developed model. Due to the fact that the company has data for a ten-month period in hand, we analyze the company's problem for a period of ten months.

4.1. ABC – XYZ Analysis

The method suggested to be used for the design of the storage area for the inventory in the plant has been prepared by using ABC and XYZ analysis as given in Table 1. In Table 1 the high valued products are classified into category A, while the medium valued and low valued are classified into B and C categories respectively. The respective layout plan is illustrated in Figure 1. The results obtained from the ABC analysis are placed based on the percentages of the products. In the layout figure, the areas shown with gray color are classified into category A, the areas shown with orange color in category B, and the areas shown with yellow color in category C. To make ABC categorization more detailed XYZ analyses are used. For XYZ category classification the reserved areas are marked with the colors in the upper right corner. The regions marked in light blue are in the X category, marked in pink are in the Y category, and the zones marked in light green are in the Z category. The volumes of the products are also taken into consideration in order to use the separated sections with maximum efficiency. Products, except for fabrics that are not packaged in rolls, are stacked using euro pallets. The volume of the zones allocated is directly proportional to the volumes of the products it contains. The packaging desk is the area used for packaging products that are not packaged in their final form. Unpackaged product groups belong to category C and therefore the packing table is positioned near products that are close to category C. The truck lane for transportation is designed as a flat floor at the entrance of the product storage area in order to facilitate the transportation of products. It is designed in width and quality suitable for the use of packaged fabrics and euro pallets.

Table 1. ABC-XYZ classification of the product items

Product	Demand	Price	Revenue (TL)	Revenue/Demand	ABC-Analysis	XYZ-Analysis
Plain-pattern vintage (PPV) fabric	150,000	120	18,000,000	34.02%	A	AX
Bed linen	50,000	80	4,000,000	7.56%	A	AY
Cotton polyester	50,000	75	3,750,000	7.09%	A	AZ
Drapery	50,000	65	3,250,000	6.14%	B	BX
Colored fabric	100,000	32	3,200,000	6.05%	B	BX
Table cloth Fabric	70,000	45	3,150,000	5.95%	B	BX
Gabardine	50,000	57	2,850,000	5.39%	B	BY
Upholstery fabric	85,000	32	2,720,000	5.14%	B	BY
Drapery fabric	35,000	65	2,275,000	4.30%	B	BZ
Bedsread fabric	22,000	100	2,200,000	4.16%	B	BZ
PVC Table cloth	85,000	25	2,125,000	4.02%	B	BZ

Syntetic tulle	50,000	30	1,500,000	2.84%	C	CX
Quilt	10,000	120	1,200,000	2.27%	C	CX
Quilt cover set	10,000	100	1,000,000	1.89%	C	CY
Satin curtain	50,000	15	750,000	1.42%	C	CY
Blanket	10,000	45	450,000	0.85%	C	CZ
Pillow	15,000	21	315,000	0.60%	C	CZ
Facecloth	10,000	17	170,000	0.32%	C	CZ
Total			52,905,000	100.00%		

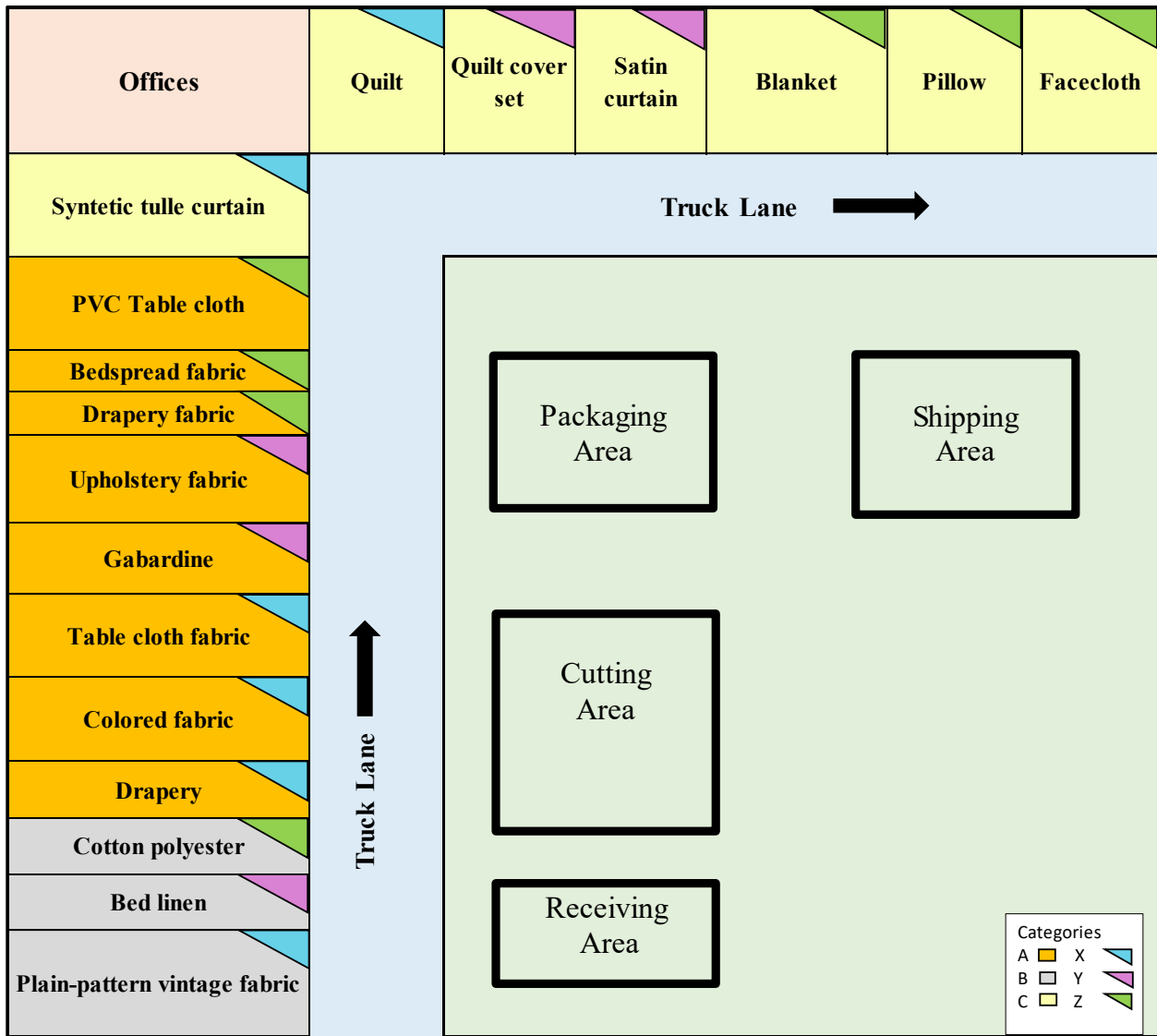


Figure 1. Inventory Layout Plan of the Company

4.2. The Data Used in the Application Problem

The data used in our application is given in Table 2. In Table 2, the data include the names of the products in the rows and associated cost values, prices, demands, safety inventories and the capacities are stated in the columns. Since we could not get the exact values of finishing costs we assume that finishing costs are the same as the painting costs.

Table 2. Cost distribution of the products

Product	Yarn cost (₺)	Painting cost (₺)	Finishing cost (₺)	Packaging cost (₺)	Labor cost (₺)	Fixed cost (₺)	Price (₺)	Demand	Safety inventory	Holding cost (₺)	Capacity
Colored fabric	14.4	3.2	3.2	1	1.28	3.52	32	100,000	2,000	0.64	100,000
Upholstery fabric	14.4	3.2	3.2	1	1.28	3.52	32	85,000	1,000	0.64	100,000
Table cloth Fabric	20.25	4.5	4.5	1.4	1.8	4.95	45	70,000	1,000	0.9	100,000
PPV fabric	54	12	12	3.6	4.8	13.2	120	150,000	3,000	2.4	100,000
Drapery fabric	29.25	6.5	6.5	2	2.6	7.15	65	35,000	500	1.3	100,000
Synthetic tulle	13.5	3	3	0.9	1.2	3.3	30	50,000	500	0.6	100,000
Cotton polyester	33.75	7.5	7.5	2.3	3	8.25	75	50,000	500	1.5	100,000
Drapery	29,25	6,5	6,5	2	2,6	7,15	65	50,000	500	1,3	100,000
Gabardine	25.65	5.7	5.7	1.7	2.28	6.27	57	50,000	500	1.14	100,000
Bedspread fabric	45	10	10	3	4	11	100	22,000	300	2	100,000
PVC Table cloth	11.25	2.5	2.5	0.8	1	2.75	25	85,000	1,000	0.5	100,000
Satin curtain	6.75	1.5	1.5	0.5	0.6	1.65	15	50,000	500	0.3	100,000
Blanket	20.25	4.5	4.5	1.4	1.8	4.95	45	10,000	200	0.9	100,000
Bed linen	36	8	8	2.4	3.2	8.8	80	50,000	400	1.6	100,000
Quilt cover set	45	10	10	3	4	11	100	10,000	400	2	100,000
Quilt	54	12	12	3.6	4.8	13.2	120	10,000	400	2.4	100,000
Facecloth	7.65	1.7	1.7	0.5	0.68	1.87	17	10,000	300	0.34	100,000
Pillow	9.45	2.1	2.1	0.6	0.84	2.31	21	15,000	300	0.42	100,000

4.3. The Optimization Model Results

We use GAMS/CPLEX Version 12 to find a solution for our proposed model (Corporation, 2010). The optimal Z value, which is the total cost, turns out to be ₺34,230,900. Comparing the resulting optimal cost to the current cost in real life in the absence of the model, which is ₺35,600,240. We observe that the cost decreases by 1,369,240 with a 3.8 percent improvement.

Optimal values of production quantities for each product *i* at each period *t* (X_{it} 's) are given in Table 3. In Table 3, we observe the optimal production quantities of 18 products for the next ten-month period. By using these values the company has the opportunity to hold minimum inventory of the items while satisfying the customers' demands.

Table 3. Optimal values of production quantities for each product *i* at each period *t* (X_{it} 's)

Product <i>i</i>	Period <i>t</i>									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	7000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	500
2	6000	8500	8500	8500	8500	8500	8500	8500	8500	250
3	3000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	250
4	14000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	300
5	1600	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	100
6	2700	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	100
7	2800	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	100
8	0	4500	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	100
9	0	4500	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	100
10	100	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	100
11	5000	8500	8500	8500	8500	8500	8500	8500	8500	200
12	3600	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	100
13	300	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	100
14	2600	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	100
15	0	500	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	100
16	0	0	900	1000	1000	1000	1000	1000	1000	100

17	0	900	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	100
18	0	0	1300	1500	1500	1500	1500	1500	1500	100

In real life, the companies do not have any choice to determine the exact demands and the orders. The company in concern also has to keep some inventory on hand prior to receiving the actual orders to cope with the uncertainties. Accordingly, we obtain the optimal values of inventory levels of each item i at each period t immediately before the order arrives (I_{it}^- 's) by using the developed model. In this respect, the obtained optimal values of inventory levels for 18 products for a ten-month period are given Table 4.

Table 4. Optimal values of inventory levels of each item i at each period t immediately before the order arrives (I_{it}^- 's)

Product i	Period t									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	5000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
2	3500	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
3	5000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
4	4000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
5	2400	500	500	500	500	500	500	500	500	500
6	2800	500	500	500	500	500	500	500	500	500
7	2700	500	500	500	500	500	500	500	500	500
8	6000	1000	500	500	500	500	500	500	500	500
9	6000	1000	500	500	500	500	500	500	500	500
10	2400	300	300	300	300	300	300	300	300	300
11	4500	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
12	1900	500	500	500	500	500	500	500	500	500
13	900	200	200	200	200	200	200	200	200	200
14	2800	400	400	400	400	400	400	400	400	400
15	1900	900	400	400	400	400	400	400	400	400
16	2500	1500	500	400	400	400	400	400	400	400
17	1400	400	300	300	300	300	300	300	300	300
18	3500	2000	500	300	300	300	300	300	300	300

The developed model has also the capability of determining the optimal values of inventory levels of each item i at each period t immediately after the order arrives (I_{it}^+ 's). In Table 5, we give the optimal values of inventory levels for 18 products for the time period in concern, which is ten months.

Table 5. Optimal values of inventory levels of each item i at each period t immediately after the order arrives (I_{it}^+ 's)

Product i	Period t									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	2500
2	9500	9500	9500	9500	9500	9500	9500	9500	9500	1250
3	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	1250
4	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	3300
5	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	600
6	5500	5500	5500	5500	5500	5500	5500	5500	5500	600
7	5500	5500	5500	5500	5500	5500	5500	5500	5500	600
8	6000	5500	5500	5500	5500	5500	5500	5500	5500	600
9	6000	5500	5500	5500	5500	5500	5500	5500	5500	600

10	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	400
11	9500	9500	9500	9500	9500	9500	9500	9500	9500	1200
12	5500	5500	5500	5500	5500	5500	5500	5500	5500	600
13	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	300
14	5400	5400	5400	5400	5400	5400	5400	5400	5400	500
15	1900	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	500
16	2500	1500	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	500
17	1400	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	400
18	3500	2000	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	400

As a result of determining the categories of the inventory of the items and the optimal values of production quantities and the inventory levels, the company is able to manage the production and inventory of the products at the minimum cost. The results show that there is an improvement of 3.8 percent in total cost.

5. Conclusions and Recommendations

This study is conducted by a furnishings textile manufacturer that is located in Ankara. A model is developed for inventory management of the company using real data. ABC analysis has been used to identify critical inventory items. By using the ABC analysis, 18 items corresponding to 20% of all items that constitute 80% of the customer orders in terms of business have been determined. In order to analyze the existing inventory management policy of the company over the determined items, a model is developed, and a real problem is applied and solved by using the GAMS software. The model can be used for similar companies after making some company-specific changes.

In our application, 10-month consumption values of inventory levels at the end of each month are obtained from the company. The items are classified by using ABC and XYZ analyses; average demand quantity and demand rates are calculated using historical consumption data. Then, a mixed-integer programming model is developed to obtain the optimal inventory levels and production quantities. The results show that the company's total cost decreases from ₺35,600,240 to ₺34,230,900 with a ₺1,369,240 improvement. The percentagewise improvement in production and inventory costs turns out to be 3.8 percent.

For future study, multi-criteria decision-making methods like TOPSIS, VIKOR, and ELECTRE might be applied for the classification of the inventory. Besides, warehouse management systems, robotics technologies, and cloud computing might be used for optimizing the facility layout design. Additionally, to make the model more realistic, the demand uncertainty can be included in the model with a stochastic approach.

Conflicts of Interest

The authors declared that there is no conflict of interest

Contribution of Researchers

Fatih Kasımoğlu and Durdu Hakan Utku carried out model and its calculations, Adem Pınar specify the problem reviewed the literature and contributed to the interpretation of model results. For other parts all authors shared the work.

References

- Addy-Tayie, N. (2012). *Improving Warehouse and Inventory Management: Operational Efficiency and Transport Safety*. DOI: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2012121018842>
- Alawneh, F., & Zhang, G. (2018). Dual-channel warehouse and inventory management with stochastic demand. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 112, 84-106. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2017.12.012>
- Ancarani, A., Di Mauro, C., & D'Urso, D. (2016). Measuring overconfidence in inventory management decisions. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 22(3), 171-180. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pursup.2016.05.001>
- Armour, G. C., & Buffa, E. S. (1963). A heuristic algorithm and simulation approach to relative location of facilities. *Management science*, 9(2), 294-309. DOI: <https://doi.org/10.1287/mnsc.9.2.294>
- Balcik, B., Bozkir, C. D. C., & Kundakcioglu, O. E. (2016). A literature review on inventory management in humanitarian supply chains. *Surveys in Operations Research and Management Science*, 21(2), 101-116. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sorms.2016.10.002>
- Chandra, S., Christiansen, M., & Fagerholt, K. (2016). Combined fleet deployment and inventory management in roll-on/roll-off shipping. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 92, 43-55. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2016.03.014>
- Corporation, G. D. (2010). *General Algebraic Modeling System (GAMS)*. In (Version 23.5.1)
- Dabiri, N., Tarokh, M. J., & Alinaghian, M. (2017). New mathematical model for the bi-objective inventory routing problem with a step cost function: A multi-objective particle swarm optimization solution approach. *Applied Mathematical Modelling*, 49, 302-318. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apm.2017.03.022>
- Dai, Z., Aqlan, F., & Gao, K. (2017). Optimizing multi-echelon inventory with three types of demand in supply chain. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 107, 141-177. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2017.09.008>
- Ehrhardt, R. (1979). The power approximation for computing (s, S) inventory policies. *Management science*, 25(8), 777-786. DOI: <https://doi.org/10.1287/mnsc.25.8.777>
- Eissa, M., & Rashed, E. (2020). Application of statistical process optimization tools in inventory management of goods quality: suppliers evaluation in healthcare facility. *Journal of Turkish Operations Management*, 4(1), 388-408. DOI: <https://dergipark.org.tr/en/pub/jtom/issue/56013/706777>
- Fiestras-Janeiro, M. G., García-Jurado, I., Meca, A., & Mosquera, M. A. (2011). Cooperative game theory and inventory management. *European Journal of Operational Research*, 210(3), 459-466. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2010.06.025>
- García-Alvarado, M., Paquet, M., Chaabane, A., & Amodeo, L. (2017). Inventory management under joint product recovery and cap-and-trade constraints. *Journal of cleaner Production*, 167, 1499-1517. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.074>
- Herron, D. (1976). Industrial engineering applications of ABC curves. *AIIE Transactions*, 8(2), 210-218. DOI: <https://doi.org/10.1080/05695557608975069>
- Janssen, F., Heuts, R., & de Kok, T. (1999). The impact of data collection on fill rate performance in the (R, s, Q) inventory model. *Journal of the Operational Research Society*, 50(1), 75-84. DOI: <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2600663>
- Koumanakos, D. P. (2008). The effect of inventory management on firm performance. *International journal of productivity and performance management*. DOI: <https://doi.org/10.1108/17410400810881827>

- Li, Z., & Fu, Q. G. (2017). Robust inventory management with stock-out substitution. *International Journal of Production Economics*, 193, 813-826. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.09.011>
- Moradi, S., & MirHassani, S. (2015). Transportation planning for petroleum products and integrated inventory management. *Applied Mathematical Modelling*, 39(23-24), 7630-7642. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apm.2015.04.023>
- Pandya, B., & Thakkar, H. (2016). A review on inventory management control techniques: ABC-XYZ analysis. *REST Journal on Emerging trends in Modelling and Manufacturing*, 2, 15. DOI: <http://restpublisher.com/wp-content/uploads/2016/09/A-Review-on-Inventory-Management-Control-Techniques-ABC-XYZ-Analysis.pdf>
- Poppe, J., Basten, R. J., Boute, R. N., & Lambrecht, M. R. (2017). Numerical study of inventory management under various maintenance policies. *Reliability Engineering & System Safety*, 168, 262-273. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.res.2017.06.012>
- Qiu, Y., Qiao, J., & Pardalos, P. M. (2019). Optimal production, replenishment, delivery, routing and inventory management policies for products with perishable inventory. *Omega*, 82, 193-204. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2018.01.006>
- Rahdar, M., Wang, L., & Hu, G. (2018). A tri-level optimization model for inventory control with uncertain demand and lead time. *International Journal of Production Economics*, 195, 96-105. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.10.011>
- Scarf, H. (1960). The optimality of (S, s) policies in the dynamic inventory problem. DOI: <http://dido.wss.yale.edu/~hes/pub/ss-policies.pdf>
- Siddiqui, A., Verma, M., & Verter, V. (2018). An integrated framework for inventory management and transportation of refined petroleum products: Pipeline or marine? *Applied Mathematical Modelling*, 55, 224-247. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apm.2017.09.025>
- Silver, E. A., & Peterson, R. (1985). *Decision systems for inventory management and production planning* (Vol. 18). Wiley.
- Torkul, O., Yılmaz, R., Selvi, İ. H., & Cesur, M. R. (2016). A real-time inventory model to manage variance of demand for decreasing inventory holding cost. *Computers & Industrial Engineering*, 102, 435-439. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.04.020>
- Wild, T. (2017). *Best practice in inventory management*. Routledge. DOI: <https://doi.org/10.4324/9781315231532>



Journal of Turkish Operations Management

Paylaşımlı konaklama hizmetlerinde algılanan risklerin incelenmesi: Türkiye örneği

Barış Özgür Duyu¹, Çiğdem Kadaifçi^{2*}

¹Mercedes-Benz Otomotiv, Akçaburgaz, 34522, Esenyurt, İstanbul

barisoduyu@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0003-2965-0851>

²Endüstri Mühendisliği Bölümü, İşletme Fakültesi, İstanbul Teknik Üniversitesi 34357, Maçka, Beşiktaş, İstanbul

kadaifci@itu.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0001-6900-5238>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 18.05.2022
Revize: 28.06.2022
Kabul: 08.07.2022

Anahtar Kelimeler:

Paylaşımlı konaklama,
Algılanan riskler,
Çok kriterli karar verme,
SWARA,
WASPAS

Özet

Bu çalışma kapsamında paylaşımlı konaklama hizmetlerine yönelik risklerin incelenmesi ve Türkiye'deki şehirlerin seçilen risk faktörlerine göre değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Belirlenen risk faktörlerinin ağırlıklandırılması için Aşamalı Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi (*Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis-SWARA*), şehirlerin değerlendirilmesi için Ağırlıklı Birleştirilmiş Toplam-Çarpım Değerlendirmesi (*Weighted Aggregated Sum Product Assessment-WASPAS*) yöntemleri kullanılmıştır. Faktör ağırlıkları paylaşımlı konaklama hizmetlerinden yararlanan ya da bu hizmetlere dair bilgi sahibi olan kullanıcılar tarafından yapılan değerlendirmeler doğrultusunda elde edilmiş, şehirlerin risk durumları veriye dayalı olarak incelenmiştir. Bulgular doğrultusunda paylaşım yapılan kişi kaynaklı risklerin öne çıktığı görülmüştür. Ankara ve İstanbul gibi metropoller, riski düşük şehirler arasında yer almaktadır. Paylaşımlı konaklama hizmetlerine giderek artan ilgi ve bu hizmetlerin sürdürülebilirliğe katkısı göz önünde bulundurulduğunda, çalışmanın bulguları yüksek riskli görülen şehirlere yönelik gerekli önlemlerin alınması, hizmetlerin kalitesi ile bu hizmetlerden yararlanma oranının yükseltilmesine yönelik bir yol haritası sunacaktır.

Examining perceived risks in sharing accommodation services: The case of Turkey

Article Info

Article History:

Received: 18.05.2022
Revised: 28.06.2022
Accepted: 08.07.2022

Keywords:

Shared accommodation,
Perceived risks,
Multi criteria decision making,
SWARA,
WASPAS,

Abstract

In the scope of this study, it is aimed to examine shared accommodation risks and assess the risk status of the cities in Turkey with respect to the selected risk factors. Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA) was used to weight the identified risk factors, and Weighted Aggregated Sum Product Assessment (WASPAS) was used to assess cities. Factor weights were obtained based on the assessments made by users who either benefited from or had knowledge of shared accommodation services, and the risk status of cities were examined based on real data. According to the findings, the weights of the risks related to the other party's behavior were higher. Metropolises such as Ankara and Istanbul are among the cities with lower risk. Considering the increasing interest in shared accommodation services and the contribution of these services to sustainability, the findings of the study will provide a roadmap for taking necessary precautions for cities that are considered high risk, increasing the quality of services and the rate of benefiting from these services.

1. Giriş

Paylaşım ekonomisi (*shared economy*), uygulama ve teoride yıllar içinde giderek artan şekilde kendisine yer bulan bir kavram olarak öne çıksa da hangi bileşenlerden oluştuğu, hangi unsurları barındırdığı ve buna göre hangi iş modellerinin bu kapsamda değerlendirilebileceği konusunda araştırmacılar arasında bir fikir birliği bulunmamaktadır. Bu nedenle, paylaşım ekonomisinin tanımı, kapsamı ve sınırlarını ele alan çok sayıda kavramlaştırma çalışması yapılmıştır (Acquier, Daudigeos ve Pinkse, 2017; Gerwe ve Silva, 2020; Laukkanen ve Tura, 2020).

Literatürde, her biri kavramın farklı özelliklerine atıfta bulunan iş birlikçi tüketim (*collaborative consumption*), iş birlikçi ekonomi (*collaborative economy*), platform ekonomisi (*platform economy*), kişiler arası ekonomi (*peer-to-peer economy*), talebe dayalı ekonomi veya gig ekonomisi gibi ifadeler paylaşım ekonomisi yerine kullanılmaktadır (Acquier ve diğ., 2017; Gerwe ve Silva, 2020). Örneğin; i) katılımcıların ticari statüsü kişiler arası ekonomi ile, ii) platformların müşteri ve tedarikçiyi etkin şekilde eşleştirme kabiliyeti talebe dayalı ekonomi ile, iii) ürün ya da hizmetlerin geçici olarak sunulması gig ekonomisi ile ve iv) iş birliği özelliği iş birlikçi tüketim veya ekonomi ile ilişkili görülmektedir (Gerwe ve Silva, 2020).

“Sadece yetersiz kullanılan fiziksel kaynaklara (atıl kapasite) büyük olasılıkla para için erişim” (Frenken ve Schor, 2017) şeklinde oldukça dar tanımların veya para kazanma amacı güden oluşumların paylaşım ekonomisi kapsamında değerlendirilemeyeceği gibi yorumların (bkz. (Gerwe ve Silva, 2020)) yanı sıra “yetersiz kullanılan kaynakların etkinliğini ve optimizasyonunu arttırmak amacıyla bireyler ya da organizasyonlar arasında ürün ve hizmetlerin değişimine olanak veren bir sosyo-ekonomik sistem” (Muñoz ve Cohen, 2017) veya “alanlardan yeteneklere kadar yetersiz kullanılan birçok kaynağın parasal veya parasal olmayan fayda güdüsüyle paylaşılmasına dayanan bir ekonomik model” (Botsman, 2013) şeklinde geniş tanımlar bulunmaktadır. Yapılan tanımın sınırlarına göre, paylaşım ekonomisi altında değerlendirilecek iş modelleri değişiklik göstermektedir.

Geniş tanımları dikkate alan en kapsamlı sınıflandırmalar, aralarında öğrenme, sağlık, para, alan, yemek, ulaşım ve araç paylaşımının olduğu 16 kategori ve 41 alt kategoriden oluşan Honeycomb sınıflandırması (Owyang, 2016) ve erişim ekonomisi (*access economy*), platform ekonomisi ve toplum temelli ekonomi (*community-based economy*) olmak üzere üç grupta toplanan 13 kategoriden oluşan (Acquier ve diğ., 2017; Laukkanen ve Tura, 2020) sınıflandırmadır. Yetersiz kullanılan malzeme ya da yetenek gibi kaynakların paylaşarak kullanımlarının optimize edilmesini amaçlayan erişim ekonomisi grubuna araç paylaşım modelleri, kişiler arası alışverişlere aracılık eden dijital platformlara işaret eden platform ekonomisi grubuna eBay, bir sözleşmeye bağlı olmayan, bir hiyerarşi barındırmayan ve paraya dönüştürülemeyen etkileşim biçimlerini temsil eden toplum temelli ekonomi grubuna ise CouchSurfing örnek verilebilir (Acquier ve diğ., 2017; Laukkanen ve Tura, 2020). Alan paylaşımı olarak tanımlanan paylaşımlı konaklama hizmetleri için Airbnb ve Homeaway gibi kazanç barındıran örneklerin hem erişim ekonomisi hem de platform ekonomisi gruplarında değerlendirilebileceği, CouchSurfing örneğinin ise her üç grubun kesişiminde konumlanabileceği söylenebilir (Acquier ve diğ., 2017; Laukkanen ve Tura, 2020).

Paylaşımlı konaklama çok uzun yıllardır oda kiralama adı altında var olan bir uygulama olsa da kiracı ve ev sahibi arasındaki ilişkiyi sağlayan web sitesi ve uygulamaların varlığıyla birlikte geleneksel oda kiralamadan ayrışıp kendisine paylaşım ekonomisi altında yer bulan bir alan haline gelmiştir (Pizam, 2014). Paylaşımlı konaklama opsiyonuna duyulan ilginin geçici bir durum mu yoksa gerçek bir yenilikçilik mi olduğuna dair tartışmalarla başlayan araştırmalar (Varma, Jukic, Pestek, Shultz ve Nestorov, 2016), bu alandaki en başarılı örnek olan Airbnb'nin günümüzde eriştiği dört milyonun üzerinde ev sahibi ve bir milyarın üzerinde kiralama potansiyeli ile (“Airbnb”, 2021) yerini klasik turizmciğin, yani otellerin bu hızla artan popülerlik karşısında nasıl aksiyon alması gerektiğine uzanan araştırmalara (Aznar, Saveras, Segarra ve Claveria, 2018; Mhlanga, 2019; Oskam ve Boswijk, 2016) bırakmıştır.

Bu hizmetlerin tercih edilmesinde öne çıkan faktörler arasında fiyat avantajı ile farklı insanlarla tanışma ve etkileşme olanakları yer alırken (Pizam, 2014), güven ve risk algısı en çok üzerinde durulan bariyerlerdir. Güven; bir tarafın, kendisi için önemli olabilecek bir eylemin güvendiği kişi tarafından gerçekleştirileceğine karşı beklentisi sebebiyle o kişinin eylemlerine karşı savunmasız olma istekliliği şeklinde tanımlanır (Mayer, Davis ve Schoorman, 1995). Paylaşım ekonomisi modellerini geleneksel iş modellerinden ayıran en önemli nokta, işlemlerin çevrim içi ortamda başlatılmasına rağmen paylaşımın fiziksel etkileşim gerektirecek şekilde gerçekleşmesidir (Yang, Lee, Lee ve Koo, 2019; Zamani, Choudrie, Katechos ve Yin, 2019). Dolayısıyla, paylaşımlı konaklama hizmetlerinden yararlanacak kullanıcıların ev sahibi seçiminde güven duygusu önemli bir etkidir. Konaklanacak evin özellikleri, ev sahibinin profili, yabancı birinin evinde uyuyacak olmanın getirdiği tedirginlik ve bütün bunlara ek olarak paylaşımlı konaklama hizmetlerine yönelik yasal düzenlemelerin yetersizliği hizmet kalitesi ve kişisel güvenlik ile ilgili kaygı yaratabilir (Mao, Jones, Li, Wei ve Lyu, 2020).

Güven, platforma duyulan güven (kurumsal güven) ve ev sahibine duyulan güven (kişisel güven) şeklinde iki ayrı boyutta incelenebilir (Mao ve diğ., 2020; Yang ve diğ., 2019). E-ticarette güveni oluşturan boyutların modellendiği

çalışmalardan (McKnight, Choudhury ve Kacmar, 2002; McKnight ve Chervany, 2001) hareketle ev sahibine ve platforma duyulan güvenin öncülleri i) algılanan riskin (*perceived risk*) düzenleyici etkisi altında (Mao ve diğ., 2020) ve ii) bağlanma (*attachment*) üzerinden platformları kullanma niyetine (*intention*) olan etkileri açısından (Yang ve diğ., 2019) incelenmiştir. Ele alınan beş boyuttan kişilerin geçmiş deneyimlerine dayalı güven, fayda-maliyet analizinden doğan beklentiye dayalı güven, ev sahibinin güvenilirliğine yönelik algıdan doğan güven ve kullanıcının kendisiyle alakalı olup yaşam boyu edindiği tecrübelerden doğan eğilimden kaynaklı güvenin ev sahibine güven üzerinde olumlu etkileri desteklenirken platforma duyulan güvenin ev sahibine duyulan güven üzerindeki pozitif etkisine bir kanıt bulunamamıştır (Mao ve diğ., 2020). Bu çalışmada algılanan riskin ev sahibine duyulan güven ve platformu yeniden kullanma niyeti arasındaki ilişkiye pozitif bir düzenleyici etki yaptığı da desteklenmiştir. Güvenin rasyonel boyutlarının platforma duyulan güvenle; buna karşılık ün, etkileşim ve aşinalık gibi duygulara dayalı irrasyonel boyutların ev sahibine duyulan güven ile ilişkilendirildiği bir çalışmada, üç irrasyonel boyutun da ev sahibine duyulan güven üzerinde pozitif etkisi desteklenirken, platforma duyulan güvenin ev sahibine hissedilen bağlılık üzerine ve bu bağlılığın da platformu yeniden kullanma niyetine pozitif etkisi gösterilememiştir (Yang ve diğ., 2019).

Güven duyulabilmesi için belli ölçüde riske katlanılması gerektiğinden (Tian, Zhang, Jiang ve Yang, 2021) ve güven, aynı zamanda belirsizlikle başa çıkabilmek ve riski azaltabilmek için önemli bir faktör olarak görüldüğünden (Ter Huurne, Rontelap, Corten ve Buskens, 2017) risk ve güven birbirinden ayrı düşünülmemektedir. Klasik turizmde otel personeli konuklara standart hizmetler sunan profesyoneller olarak görülebilir; fakat paylaşımlı konaklama söz konusu olduğunda ev sahibinin kimliği, hizmetin niteliği, ekipman ve olanakların standardizasyonu, güvenlik gibi faktörler konusunda belirsizlik ve değişkenlik yüksektir (Yuan, Honglei, Xiao, Ge ve Xianting, 2021). Bu belirsizlik ve değişkenlik olumsuz durumlar yaratabileceğinden, güven duygusunun temelinde yatan olumsuzluklardan uzak olma ihtiyacı, algılanan risk kavramını ön plana çıkarır.

Paylaşım ekonomisi kapsamındaki modeller kişiler arası iletişimden ve bu iletişimin dürüstlüğünden etkilendiği için kişilerin riske karşı algısı farklı boyutlarda tanımlanabilmekte (Jun, 2020; Lee ve Deale, 2021; Tian ve diğ., 2021; Yi, Yuan ve Yoo, 2020) ve hatta kişilerin riske karşı tutumlarına (Tian ve diğ., 2021) göre değişiklik gösterebilmektedir. Güvenin niyete etkisinin araştırıldığı çalışmalara benzer şekilde, algılanan risk boyutlarının niyete etkisi detaylı şekilde incelenmiştir. Algılanan riskin gizlilik riskleri, sosyal riskler, performans riskleri, finansal riskler ve fiziksel riskler boyutlarında ölçüldüğü bir çalışmada güven duygusunun algılanan risk üzerindeki negatif etkisinin yanı sıra güvenin hizmetten yeniden yararlanma niyeti üzerindeki pozitif etkisine karşılık, algılanan riskin negatif etkisi desteklenmiştir (Tian ve diğ., 2021). Öte yandan, algılanan riskin gizlilik ve performans riskleri ile finansal ve fiziksel riskler boyutlarında ölçüldüğü bir çalışmada sadece gizlilik riskleri ve finansal risklerin niyet üzerinde negatif etkisi olduğu desteklenebilmiştir (Yi ve diğ., 2020). Covid-19 dönemi ve öncesi arasında kişilerin risk algısında bir değişiklik olup olmadığı, sosyal riskler, fiziksel riskler, performans riskleri ve uygunluk riskleri açısından incelenerek risk algısında anlamlı bir değişiklik olduğu gösterilmiştir (Lee ve Deale, 2021). Tablo 1'de, paylaşımlı konaklama hizmetlerine yönelik risklerin boyutları özetlenmektedir.

Bu çalışma kapsamında, paylaşımlı konaklama hizmetlerine yönelik risklerin incelenmesi ve Türkiye'deki şehirlerin seçilen risklere göre değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Çalışmanın birinci aşamasında paylaşım yapılan kişi kaynaklı, evin kendisi ve çevresi kaynaklı olmak üzere üç grupta toplanan riskler Aşamalı Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi (*Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis-SWARA*) ile ağırlıklandırılmıştır. Conjoint Analizi ya da Analitik Hiyerarşi Süreci gibi yöntemlerin aksine daha az ikili karşılaştırma gerektirdiğinden SWARA yöntemi kullanıldığında veri toplama süreci daha kolay olmakta ve yönetilebilir hale gelmektedir (Stanujkic, Karabasevic ve Zavadskas, 2015). İkinci aşamada ise Türkiye'deki şehirlerin seçilen risk faktörleri bazında değerlendirilmesi Ağırlıklı Birleştirilmiş Toplam-Çarpım Değerlendirmesi (*Weighted Aggregated Sum Product Assessment-WASPAS*) yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemin diğer alternatif sıralama yöntemlerine üstünlüğü daha basit olması ve sıra değişimi (*rank reversal*) probleminde karşı avantaj sağlaması şeklinde açıklanabilir (Chakraborty ve Zavadskas, 2014). Literatürde yaygın şekilde uzman değerlendirmelerini WASPAS yönteminin girdisi olarak kullanan yaklaşımın aksine, bu çalışma kapsamında tamamen veriye dayalı bir uygulama yapılmıştır. Yani, şehirlere ait gerçek veriler kullanılmış, uzman değerlendirmelerine başvurulmamıştır.

Paylaşımlı konaklama hizmetlerine giderek artan ilgi düşünüldüğünde, bu çalışma algılanan risklerin yönetilebilmesi için alanda faaliyet gösteren firmalara bir yol haritası sunacaktır. Bununla birlikte, Türkiye'deki şehirlerin konumlarına bağlı riskler bazında değerlendirilmesi ile elde edilen sonuçlar, yüksek riskli görülen şehirlere yönelik gerekli önlemlerin alınmasına destek olacaktır. Paylaşımlı konaklama hizmetlerinin sürdürülebilirliğin çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlarına katkısı göz önünde bulundurulduğunda (Laukkanen ve Tura, 2020), algılanan risklerin yönetilebilmesiyle Türkiye'deki hizmetlerin kalitesinin ve bu hizmetlerden yararlanma oranının yükselmesi toplumsal bir katkıya dönüşecektir.

Buna göre, makalenin ikinci bölümünde kullanılan metodolojinin adımları açıklanmış, üçüncü bölümde uygulama bulguları tartışılmış ve son bölümde sonuçlar, katkılar ve geliştirme alanları vurgulanmıştır.

Tablo 1. Algılanan risk boyutları.

Boyut	Kapsam	Kaynak
Fiziksel	Ev sahibiyle, evin kendisiyle ya da çevresiyle alakalı kişinin sağlığı ya da güvenliğine yönelik fiziksel tehdit yaratacak durumlar	(Jun, 2020; Lee ve Deale, 2021; Tian ve diğ., 2021; Yi ve diğ., 2020; Yuan ve diğ., 2021)
Sosyal	Paylaşımlı konaklama hizmetlerinden yararlanmanın kişinin ailesi ve arkadaşları tarafından olumsuz algılanabileceği	(Jun, 2020; Lee ve Deale, 2021; Tian ve diğ., 2021; Yuan ve diğ., 2021)
Finansal	Ödenen paranın karşılığının alınamaması, kullanılan platformda fiyatların standart olmaması (Örneğin; kesilen hizmet bedeli), paylaşımlı konaklama hizmetlerini kullanarak yeterince para tasarrufu yapamama	(Jun, 2020; Tian ve diğ., 2021; Yi ve diğ., 2020; Yuan ve diğ., 2021)
Performans	Beklenen faydayı sağlamama, hizmetlerin yetersizliği, evin çevresinin uygunsuzluğu	(Jun, 2020; Lee ve Deale, 2021; Tian ve diğ., 2021; Yi ve diğ., 2020; Yuan ve diğ., 2021)
Gizlilik	Ev sahibi, evdeki diğer kişiler ya da kullanılan platform tarafından bilgi sızdırılması ya da evin kendisiyle ilgili gizlilik ihlaline sebebiyet verebilecek koşullar (yetersiz ses yalıtımı, kamera vb.)	(Tian ve diğ., 2021; Yi ve diğ., 2020; Yuan ve diğ., 2021)
Psikolojik	Konaklayacak kişinin iç huzuruyla ilgili durumlar	(Jun, 2020)
Zamansal	Sunulan çok sayıda alternatif arasından uygun olanını tespit edene kadar harcanan çaba ve zaman	(Jun, 2020; Yuan ve diğ., 2021)
Uygunluk (Convenience)	Hizmetin, beklenen faydayı sağlayamaması ve hizmet alımından kaynaklanan çaba ve zaman kaybı <i>Bu tanıma göre, performans ve zaman boyutlarının kesişimine karşılık geliyor.</i>	(Lee ve Deale, 2021)

2. Metodoloji

2.1 SWARA

SWARA, Keršulienė, Zavadskas ve Turskis (2010) tarafından geliştirilen ve kriterlerin ağırlıklandırılması için kullanılan çok kriterli karar verme yöntemidir. Yöntem, basit bir değerlendirme süreci sunmakta ve değerlendirmelerin gerek bireysel gerek grup olarak kolaylıkla yapılabilmesine olanak vermektedir. Bu sebeple, son yıllarda artan bir ivmeyle, özellikle alternatif sıralama yöntemlerine girdi sağlayacak şekilde kullanılmaktadır. Uzman değerlendirmelerinin birleştirilmesi konusunda farklı yaklaşımlar kullanılabilmektedir (bkz. (Karadayı-Usta ve Kadaifçi, 2022)).

SWARA yönteminin adımları aşağıda açıklanmıştır (Keršulienė ve diğ., 2010; Zolfani, Yazdani ve Zavadskas, 2018):

Adım 1: Kriterler ($C_j, j = 1, 2, \dots, n$) en önemliden en önemsiz doğru sıralanır. Burada n , toplam kriter sayısını göstermektedir.

Adım 2: Uzmanlar tarafından yapılan ikili karşılaştırmalar doğrultusunda her j . kriterin ($j - 1$). kritere göre önem değeri tespit edilir. Göreli önem değerleri s_j ile temsil edilir.

Adım 3: Göreli önem değerlerine ait k_j katsayıları Eş. 1 yardımıyla hesaplanır.

$$k_j = \begin{cases} 1, & j = 1 \\ s_j + 1, & j > 1 \end{cases} \quad (1)$$

Adım 4: Değerler 0-1 aralığına gelecek şekilde bir düzeltme yapılarak q_j değerleri Eş. 2 ile elde edilir.

$$q_j = \begin{cases} 1, & j = 1 \\ \frac{k_{j-1}}{k_j}, & j > 1 \end{cases} \quad (2)$$

Adım 5: Kriterlerin göreli ağırlıkları, w_j , Eş. 3 kullanılarak hesaplanır.

$$w_j = \frac{q_j}{\sum_{k=1}^n q_k} \quad (3)$$

2.2 WASPAS

WASPAS, alternatiflerin seçilen kriterlere göre değerlendirilmesi amacıyla kullanılan, Ağırlıklı Toplam Modeli (*Weighted Average Model*) ve Ağırlıklı Çarpım Modeli'nin (*Weighted Product Model*) birleştirilmesiyle geliştirilen bir yöntemdir (Zavadskas, Turskis, Antucheviciene ve Zakarevicius, 2012). Oluşturulan karar modeline göre seçilen çok kriterli karar verme yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıkları, yöntemin girdisi olarak kullanılır.

WASPAS yönteminin adımları aşağıda açıklanmıştır (Chakraborty ve Zavadskas, 2014; Zavadskas ve diğ., 2012):

Adım 1: Alternatifler ($A_i, i = 1, 2, \dots, m$) ve kriterler ($C_j, j = 1, 2, \dots, n$) belirlenir. Kriterler ağırlıkları $w_j, j = 1, 2, \dots, n$ ile temsil edilir. Burada m ve n , sırasıyla toplam alternatif ve kriter sayısını göstermektedir.

Adım 2: $x_{ij}, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n$ olacak şekilde i alternatifinin j kriterine göre değerlendirilmesi sonucu elde edilen değerlerden oluşan bir karar matrisi, \mathbf{K} , oluşturulur.

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Adım 3: Araştırmada kullanılan kriterlerin fayda veya maliyet kriteri olma durumlarına bağlı olarak, sırasıyla Eş. 5 ve 6'nın kullanılmasıyla karar matrisinin ilgili sütunları normalize edilir.

Fayda kriterleri için:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max_i x_{ij}} \quad (5)$$

Maliyet kriterleri için:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{\min_i x_{ij}}{x_{ij}} \quad (6)$$

Adım 4: Alternatiflerin görelî önem değerleri Ağırlıklı Toplam Modeli'ne göre Eş. 7 kullanılarak hesaplanır.

$$Q_i^{(1)} = \sum_{j=1}^n \bar{x}_{ij} w_j \quad (7)$$

Adım 5: Alternatiflerin görelî önem değerleri Ağırlıklı Çarpım Modeli'ne göre Eş. 8 kullanılarak hesaplanır.

$$Q_i^{(2)} = \prod_{j=1}^n (\bar{x}_{ij})^{w_j} \quad (8)$$

Adım 6: Her alternatif için birleşik optimallik değeri Eş. 9 kullanılarak hesaplanır.

$$Q_i = \lambda Q_i^{(1)} + (1 - \lambda) Q_i^{(2)}, \lambda \in [0, 1] \quad (9)$$

Eş. 9'daki λ değeri, yöntemi oluşturan iki modelin ağırlıklı olarak birleştirilebilmesi için kullanılan bir değerdir. WASPAS yöntemi, $\lambda = 0$ iken Ağırlıklı Çarpım Modeli'ne, $\lambda = 1$ iken Ağırlıklı Toplam Modeli'ne dönüşür (Zavadskas ve diğ., 2012).

3. Uygulama

Türkiye'deki paylaşımlı konaklama hizmetlerine yönelik çalışmalar incelendiğinde İzmir'deki Airbnb kullanıcılarının profilini çıkararak paylaşımlı konaklama kullanma motivasyonlarını ve sunulan hizmetlerden memnuniyetlerini (Akpınar ve Avunduk, 2021) değerlendiren, İstanbul'daki evlerle ilgili yapılan şikayetler üzerinden Airbnb kullanıcılarının yaşadığı hayal kırıklığını (Demirdelen, Dinçer ve İstanbullu Dinçer, 2022) ve yapılan olumlu yorumlar üzerinden memnuniyetlerini (Demirdelen, Dinçer ve İstanbullu Dinçer, 2020) araştıran, yabancı turistlerin Airbnb uygulamasını tercih etme nedenlerini (Konak, 2020) inceleyen çalışmalarla karşılaşmıştır. Paylaşımlı konaklama hizmetlerine yönelik algılanan risklerin incelendiği bir çalışma tespit edilememiştir.

Paylaşımlı konaklama hizmetlerine yönelik risklerin incelenmesi ve Türkiye'deki şehirlerin seçilen risklere göre değerlendirilmesi amacıyla yapılan bu çalışma iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada, Tablo 1'de verilen risk gruplarından yola çıkılarak, kullanıcının konaklayacağı şehre ulaştığı andan itibaren konakladığı evi terk edene kadar geçirdiği süreyi kapsayan risk faktörleri seçilmiştir. Kullanıcılar tarafından yapılan değerlendirmeler

doğrultusunda, bu faktörler SWARA yöntemi kullanılarak önceliklendirilmiştir. İkinci aşamada, WASPAS yöntemi ile Türkiye'deki şehirlerin risk faktörleri bazında değerlendirilmesi veriye dayalı olarak yapılmıştır.

3.1 Risk faktörlerinin ağırlıklandırılması

Paylaşımlı konaklamada, bir evin tamamının ya da bir bölümünün kiralanması söz konusu olabilmektedir. Evin bir bölümü kiralandığı durumda, mevcut kaynağın birbirine yabancı kişilerce eş zamanlı olarak paylaşılması durumu ortaya çıkacaktır. Risk faktörleri belirlenirken, bir evin içerisinde birbirine yabancı olan birden fazla insanın aynı ortamı eş zamanlı paylaştığı varsayılmıştır. Ayrıca, bu durumların bütünüyle kötü ya da olumsuz algılanmaması gerektiğini, hizmetlerden yararlanan kişilerce risk olarak algılanabilecek faktörlerin geniş bir literatür taraması sonucunda çalışma kapsamına alındığını vurgulamak yerinde olacaktır. Bu doğrultuda, belirlenen risk faktörleri (Tablo 2) paylaşılan kişi kaynaklı, evin çevresi kaynaklı ve evin kendisi kaynaklı riskler olmak üzere üç grupta toplanmıştır.

Risk faktörlerinin değerlendirilebilmesi için Zoho anket platformu (*Zoho Survey*, 2022) kullanılarak çevrim içi bir anket tasarlanmıştır. Ankette, faktörlerin ikili karşılaştırması dışında katılımcıların bu risklerle daha önce karşılaşmış olup olmadığını, paylaşım konaklama kullanma durumları ve bazı demografik bilgileri 29.04.2020 tarihli İstanbul Teknik Üniversitesi Sosyal ve Beşeri Bilimler İnsan Araştırmaları Etik Kurulu onayı (No:251) kapsamında talep edilmiştir.

Çevrim içi ankete katılan 276 kişinin cevapları incelendikten sonra bütün faktörlere eşit ağırlık atanan ve ikili karşılaştırmaların eksik bırakıldığı 102 durum çalışmadan çıkarılmış, kalan 174 değerlendirme dikkate alınmıştır. Katılımcıların %37,36'lık bölümü daha önce ev paylaşımı gerçekleştirmiş ve bu katılımcıların %66,67'si paylaşımını yurt içinde yapmıştır. Paylaşım gerçekleştiren kişilerin %56,92'si belirlenmiş risklerden en az biriyle daha önce karşılaşmış olduğunu belirtmiştir. Tablo 2'de verilen yüzdesel dağılıma bakıldığında, en sık karşılaşılan durumların farklı kültürel değerlere sahip olma, evin beklenen konfor ve hijyen seviyesinin altında olması ve kaba ya da olumsuz tavırlarla karşılaşma olduğu görülmektedir.

Tablo 2. Risk faktörleri

Risk Kaynağı	Risk Faktörü	Kaynak	Karşılaşılma Durumu*	Ağırlık	Sıra
Paylaşılan Kişi Kaynaklı Riskler (K)	K1. Kötü alışkanlıklara sahip olması (bağımlılık vb.)	(Green ve McCarthy, 2015)	13,85	0,059	2
	K2. Kaba/olumsuz tavırlar sergilemesi	(Jun, 2020; Lee ve Deale, 2021)	13,85	0,058	4
	K3. Farklı kültürel değerlere sahip olması	(Green ve McCarthy, 2015)	18,46	0,075	1
	K4. Farklı dini inançlara sahip olması	(Malazizi, Alipour ve Olya, 2018)	1,54	0,048	16
	K5. Hırsızlık yapma ihtimali	(Green ve McCarthy, 2015; Lee ve Deale, 2021; Zamani ve diğ., 2019)	1,54	0,056	11
	K6. Kişisel alanın ihlal edilmesi	(Green ve McCarthy, 2015; Zamani ve diğ., 2019)	10,77	0,058	4
	K7. Cinsiyetçi yaklaşımlar sergilemesi	(Green ve McCarthy, 2015)	0,00	0,057	7,5
	K8. Irkçı yaklaşımlar sergilemesi	(Malazizi ve diğ., 2018; Zamani ve diğ., 2019)	3,08	0,054	14,5
	K9. Fiziksel saldırıda bulunma ihtimali	(Green ve McCarthy, 2015; Lee ve Deale, 2021; Yi ve diğ., 2020; Zamani ve diğ., 2019)	1,54	0,054	14,5
	K10. Bulaşıcı bir hastalığı olması	(Lee ve Deale, 2021)	1,54	0,055	13
Ev Kaynaklı Riskler (E)	E1. Evin, beklenen hijyen seviyesinin altında olması	(Jun, 2020; Lee ve Deale, 2021; Tian ve diğ., 2021; Yi ve diğ., 2020)	23,08	0,058	4
	E2. Evin beklenen konfor seviyesinin altında olması	(Lee ve Deale, 2021; Tian ve diğ., 2021; Yi ve diğ., 2020)	23,08	0,056	11
	E3. Evden hastalık bulaşma ihtimali (Böceklenme, rutubet, Covid-19 vb.)	(Lee ve Deale, 2021)	7,69	0,057	7,5
	E4. Evin kolay ulaşılabilir olmaması	(Zamani ve diğ., 2019)	10,77	0,057	7,5
Evin Çevresi Kaynaklı Riskler (Ç)	Ç1. Evin güvensiz bir bölgede yer alması	(Lee ve Deale, 2021; Tian ve diğ., 2021; Zamani ve diğ., 2019)	6,15	0,056	12
	Ç2. Evin deprem, tsunami gibi doğal afetlere karşı riskli bir bölgede yer alması	(Chen, Kim ve Mueller, 2021)	1,54	0,057	7,5

*Birden fazla işaretleme yapılmasına izin verilmiştir.

SWARA yönteminin adımlarını (Eş. 1-3) uygulayabilmek için Python programlama dili kullanılmıştır. Tablo 2'de verilen faktör ağırlıkları ve sıralamaları incelendiğinde, paylaşılan kişi kaynaklı risklerin öne çıktığı görülmektedir. Paylaşım yapılan kişinin farklı kültürel değerlere sahip olması, kötü alışkanlıklarının olması, kaba tavırlar sergilemesi ve kişisel alanın ihlali öncelikli risk faktörleridir. Evin kendisiyle ilgili risklerde konfor seviyesinin

hijyen kadar önemli olmadığı görülmektedir. Katılımcılar, evden hastalık bulaşma ihtimalini kayda değer oranda riskli görmektedir. Bu risk faktörünün üst sıralara taşınmasında, Covid-19 pandemisi devam ederken veri toplanmasının etkili olduğu söylenebilir.

Paylaşımlı konaklama hizmetlerinin farklı kültürlerden kişilerle etkileşimde bulunma fırsatı olarak görüldüğü düşünüldüğünde, farklı kültürel değerlere sahip olmanın en önemli risk olarak görülmesi ilginç bir sonuçtur. Katılımcıların paylaşımlarında en sık karşılaştığı risk olarak bu faktörü işaret etmesi, değerlendirmelerinde yaşadıkları olumsuz tecrübelerin etkili olduğunu göstermektedir. Öte yandan, konfor seviyesi ile ilgili olumsuz tecrübeleri bu risk faktörünün üst sıralara taşınması için yeterli olmamıştır.

En önemsiz görülen risk faktörleri, farklı dini inançlara sahip olma, ırkçı yaklaşımlar ve fiziksel saldırı ile karşılaşma durumlarıdır. Katılımcıların daha önce fiziksel saldırı ile karşılaşmamış olmaları (sadece bir kişi bu durumu tecrübe etmiş), ırkçı yaklaşımlara ve dini inanç farklılığından doğan olumsuz tavırlara maruz kalmamaları bu risklerin önemsiz görülmesine yol açmış olabilir.

Risk faktörleriyle daha önce karşılaşma durumlarının sonuçlar üzerindeki etkisi öne çıksa da katılımcıların kaygı ve beklentilerinin de değerlendirmelerini etkilediği görülmektedir. Örneğin; cinsiyetçi yaklaşımlara çok fazla maruz kalınmaması bu risk faktörünün orta sıralarda yer almasına engel olmamıştır ya da paylaşımlı konaklama hizmetlerinin sağladığı fiyat avantajı, katılımcıların konfor seviyesinden bir miktar fedakarlık yapabilmelerine yol açmıştır.

Katılımcı gruplarına göre önceliklerin nasıl değiştiği Tablo 3'te verilmektedir. Bu hizmetlerden daha önce yararlanmış ve yararlanmamış kişilerin değerlendirmeleri karşılaştırıldığında, konaklama tecrübesi olan kişilerin konforu üst sıralara koyarken ulaşım kolaylığını geri plana attığı görülmüştür. Buna ek olarak, tecrübeyle beraber cinsiyetçi yaklaşımlar önemini kaybederken kişisel alan önem kazanmaktadır. Paylaşımı yurt dışında gerçekleştirmiş kişiler için hırsızlık ihtimali ve evin hijyen beklentilerini karşılamaması önemliyken; yurt içi paylaşım yapan kişiler cinsiyetçi ve kaba yaklaşımlarla karşılaşma, evin güvensiz bir bölgede yer alması ve eve kolay ulaşılmasını daha önemli riskler olarak algılamaktadır.

Tablo 3. Katılımcı gruplarına göre risk faktörlerinin öncelikleri.

Faktör	Genel Sıralama	Konaklama Tecrübesi Olan	Konaklama Tecrübesi Olmayan	Yurt dışı	Yurt içi	Z Kuşağı	Diğer
K1	2	2	2	7	7	2	4,5
K2	4	4	5	14	5,5	4	8
K3	1	1	1	1	1	1	1
K4	16	16	16	16	16	16	16
K5	11	6	10	3	13,5	10	10
K6	4	3	8	6	5,5	6	6
K7	7,5	10	4	12	2	12	3
K8	14,5	14	15	10	15	14	15
K9	14,5	15	12,5	15	12	15	12
K10	13	12	14	11	13,5	7,5	14
E1	4	7	6	2	11	9	7
E2	11	5	12,5	4	3	5	11
E3	7,5	8	9	8	9	11	4,5
E4	7,5	13	3	13	8	13	2
Ç1	12	9	11	9	4	3	13
Ç2	7,5	11	7	5	10	7,5	9

Z kuşağı ile daha önceki nesiller kıyaslandığında evin kendisinden kaynaklı riskler açısından önemli farklılıklar göze çarpmaktadır. Z kuşağı konfora daha çok önem verirken diğer kuşaklar kolay ulaşılabilirliği önceliklendirmektedir. Evin bulunduğu bölgenin güvenliği Z kuşağı için önem kazanan bir diğer risk faktörüdür.

3.2 Şehirlerin risk faktörlerine göre değerlendirilmesi

İkinci aşamada, Türkiye'deki şehirlerin risk değerlendirmesi yapılmıştır. Paylaşım yapılan kişi kaynaklı risk faktörleri, konaklanan şehirden bağımsız olduğu için bu aşamada dikkate alınmamıştır. Benzer şekilde evin hijyen

ve konfor seviyesi ile bulaşıcı hastalık riskleri de evin çevresi ile ilişkili faktörler olmadığından dışarıda bırakılmıştır.

Şehirleri değerlendirmek amacıyla ikinci aşamaya aktarılan faktörler evin ulaşılabilirliği, doğal afet bölgesinde bulunma durumu ve çevresinin güvenliğidir. Bu üç risk faktörünün SWARA ile elde edilen ağırlıkları normalleştirilerek, sırasıyla, 0,3353, 0,3353 ve 0,3294 şeklinde güncellenmiştir. Şehirlerin risk puanlarını hesaplamak amaçlandığından, riski yükselten faktörler fayda, düşüren faktörler maliyet kriteri olarak alınmıştır. Tablo 4’te seçilen bazı şehirler için analizde kullanılan veriler gösterilmektedir.

WASPAS uygulaması tamamen gerçek veriler baz alınarak yapıldığından, aşağıda bu risk faktörlerinin hangi boyutlarda ve hangi zaman aralığı için incelendiği açıklanmaktadır.

- Evin bulunduğu çevrenin güvenliği suç istatistikleriyle ölçülmüştür. Her şehre ait öldürme, yaralama, cinsel suçlar, kişiyi hürriyetten yoksun bırakma (KHYB), ateşli silahlar ve bıçaklarla ilgili suçlar (ASBİS), hırsızlık ve yağma suçlarının güvenliğe yönelik risk faktörüne eşit oranda katkı sağladığı varsayılmıştır. Suç unsuru bazında şehirlerin durumunu gösterebilmek amacıyla toplamı vermek yerine her suç unsurunun oranı ayrı ayrı gösterilmiştir. Bu suçlara ait veriler Türkiye İstatistik Kurumu’ndan alınmış olup 2016-2020 yılları arasında ceza infaz kurumlarında bulunan kişi sayılarını göstermektedir (*TÜİK - Ceza İnfaz Kurumu*, 2022). Suç verilerinin nüfusa oranı (her yüz bin kişide bir olacak şekilde) girdi olarak kullanılmıştır. Bu hesaplamada şehirlerin 2020 yılı resmi nüfus verileri baz alınmıştır (*TÜİK - Nüfus Kayıt Sistemi*, 2022). Bu gruptaki faktörlerin tamamı kişilere zarar verme riski taşıdığından riski yükseltecek fayda kriteri olarak ele alınmıştır.
- Doğal afetler başlığı altında heyelan, çığ, deprem, tsunami ve sel gibi afetler yer almaktadır. Fakat paylaşımlı konaklama alanlarının heyelan ve çığ riski taşıyan bölgelerde olmayacağı varsayılarak doğal afet kapsamında sadece deprem ve sel verileri kullanılmıştır. Doğal afetlere yönelik öngörüler, geçmiş gerçekleşme sayıları ve sıklıkları baz alınarak yapılmaktadır. Bu nedenle, AFAD tarafından yayınlanan 1950-2019 yılları arasındaki sel verileri ve deprem kuşağı derecelendirmeleri kullanılmıştır (*AFAD*, 2020). Sel olaylarının yüksek olması şehrin riskini arttırdığı için fayda kriteri olarak kabul edilmiştir. Deprem derecelendirmesi için kullanılan 1-5 skalasında düşük değer daha riskli deprem bölgesini temsil ettiği için bu değer düşük olması riski artırırken yüksek olması azaltmaktadır. Bu nedenle deprem, risk değerlendirmesinde maliyet kriteri olarak kabul edilmiştir.
- Son olarak şehirlerin sahip olduğu ulaşım modları, evlerin ulaşılabilirliğini ölçmek amacıyla seçilmiştir. Ulaşım modları için özel araçlar kapsam dışı bırakılmış; havalimanı, karayolu, demiryolu ve denizyolu ulaşım alternatifleri dikkate alınmıştır. Havalimanı sayısı ve raylı sistem sayısına ek olarak şehirler arası tren ve şehir içi tren ile şehirler arası ve şehir içi vapur seferleri (*Ulaştırma Sektör Raporu*, 2021) mevcut olma ve olmama durumuna göre 0 ve 1 olarak kodlanmış ve toplam ulaşım modu verisi elde edilmiştir. Her şehre mutlaka otobüs ile ulaşıldığı varsayılmıştır.

Tablo 4. Şehirlere ait veriler.

Şehir	Çevrenin Güvenliği										Doğal Afet		Ulaşım					Toplam
	Öldürme	Yaralama	Cinsel Suçlar	KHYB	ASBİS	Hırsızlık	Yağma	Sel	Deprem	Havalmaları	Tren			Kayılı Sistem	Otobüs	Vapur		
											Ana Hat	Yüksek Hızlı Tren	Bölgesel					
İstanbul	0,0479	138,003	26,445	16,740	0,0479	0,0479	0,0479	0,1677	0,1677	2	1	1	2	1	1	9		
Tekirdağ	41,595	183,720	38,184	20,750	24,635	271,742	58,555	22	2	1	0	0	0	1	0	2		
Edirne	62,817	262,864	55,810	21,261	34,066	310,942	75,380	24	4	0	0	0	0	1	0	1		
Kırklareli	54,445	244,586	51,681	20,451	22,939	289,338	64,117	13	4	0	0	0	0	1	0	1		
Balıkesir	79,683	292,849	51,440	34,429	50,789	289,186	79,520	55	1	1	1	0	0	1	1	4		
Çanakkale	48,325	217,280	39,288	30,065	26,192	239,598	56,626	25	1	1	0	0	0	1	1	3		
İzmir	59,694	250,730	42,681	21,341	44,261	351,594	123,235	63	1	1	1	0	2	1	1	7		
Aydın	64,448	311,439	50,386	31,324	43,745	382,548	111,614	44	1	0	1	0	0	1	0	3		
Denizli	62,475	256,554	46,567	38,469	41,940	336,384	93,424	55	1	1	1	0	0	1	0	4		
Muğla	62,555	290,294	48,518	29,396	26,446	241,776	48,416	38	1	1	0	0	0	1	0	2		
...																		
Hakkari	26,335	47,332	8,897	7,829	33,097	42,350	14,591	40	1	1	0	0	0	1	0	2		
Gaziantep	59,294	199,772	17,880	15,367	79,541	320,292	86,693	61	3	1	0	1	1	1	0	4		
Adıyaman	31,287	93,541	16,441	7,343	22,826	135,522	24,423	96	2	1	1	0	0	1	0	3		
Kilis	73,689	198,610	18,949	11,931	60,355	308,794	103,165	5	4	0	0	0	0	1	0	1		
Şanlıurfa	29,417	89,023	9,693	10,609	32,359	166,810	33,565	90	3	1	0	0	0	1	0	2		
Diyarbakır	52,894	119,395	14,917	14,177	47,428	184,302	78,800	87	2	1	1	0	1	1	0	4		
Mardin	31,832	88,462	14,068	8,942	31,951	136,866	36,362	56	3	1	0	0	0	1	0	2		
Batman	21,358	97,592	10,515	11,172	36,638	211,284	33,681	17	2	1	0	1	0	1	0	3		
Şırnak	21,903	47,582	5,476	8,497	20,581	80,058	12,651	30	2	1	0	0	0	1	0	2		
Siirt	40,572	99,007	20,891	7,872	26,341	173,186	31,791	22	1	1	1	0	0	1	0	3		
Min	-	-	-	-	-	-	-	-	1							1		
Max	83,307	337,967	69,305	49,322	80,125	432,456	123,235	440	-							-		

Tablo 5. Şehirlere ait normalize edilmiş veriler.

Şehir	Çevrenin Güvenliği							Doğal Afet		Ulaşım
	Öldürme	Yaralama	Cinsel Suçlar	KHYB	ASBİS	Hırsızlık	Yağma	Sel	Deprem	
	0,0479	0,0479	0,0479	0,0479	0,0479	0,0479	0,0479	0,1677	0,1677	0,3294
İstanbul	0,507	0,408	0,382	0,339	0,501	0,499	0,767	0,086	1,000	0,111
Tekirdağ	0,499	0,544	0,551	0,421	0,307	0,628	0,475	0,050	0,500	0,500
Edirne	0,754	0,778	0,805	0,431	0,425	0,719	0,612	0,055	0,250	1,000
Kırklareli	0,654	0,724	0,746	0,415	0,286	0,669	0,520	0,030	0,250	1,000
Balıkesir	0,956	0,867	0,742	0,698	0,634	0,669	0,645	0,125	1,000	0,250
Çanakkale	0,580	0,643	0,567	0,610	0,327	0,554	0,459	0,057	1,000	0,333
İzmir	0,717	0,742	0,616	0,433	0,552	0,813	1,000	0,143	1,000	0,143
Aydın	0,774	0,922	0,730	0,635	0,546	0,885	0,906	0,100	1,000	0,333
Denizli	0,750	0,759	0,672	0,780	0,523	0,778	0,758	0,125	1,000	0,250
Muğla	0,751	0,859	0,700	0,596	0,330	0,559	0,393	0,086	1,000	0,500
...										
Hakkari	0,316	0,140	0,128	0,159	0,413	0,098	0,118	0,091	1,000	0,500
Gaziantep	0,712	0,591	0,258	0,312	0,993	0,741	0,703	0,139	0,333	0,250
Adıyaman	0,376	0,277	0,237	0,149	0,285	0,313	0,198	0,218	0,500	0,333
Kilis	0,885	0,588	0,273	0,242	0,753	0,714	0,837	0,011	0,250	1,000
Şanlıurfa	0,353	0,263	0,140	0,215	0,404	0,386	0,272	0,205	0,333	0,500
Diyarbakır	0,635	0,353	0,215	0,287	0,592	0,426	0,639	0,198	0,500	0,250
Mardin	0,382	0,262	0,203	0,181	0,399	0,316	0,295	0,127	0,333	0,500
Batman	0,256	0,289	0,152	0,227	0,457	0,489	0,273	0,039	0,500	0,333
Şırnak	0,263	0,141	0,079	0,172	0,257	0,185	0,103	0,068	0,500	0,500
Siirt	0,487	0,293	0,301	0,160	0,329	0,400	0,258	0,050	1,000	0,333

Eş. 5-8 ile gösterilen adımların uygulanmasıyla şehirlerin risk durumlarını gösteren ağırlıklı toplam ve ağırlıklı çarpım değerleri elde edilmiştir. Tablo 5'te seçilen bazı şehirler için normalize edilmiş değerler gösterilmektedir. Eş. 9 yardımıyla farklı λ değerleri için elde edilen sıralamalar Tablo 6'da verilmektedir.

Şehir sıralamaları incelendiğinde, Düzce, Çorum, Çankırı, Bolu, Kırşehir yüksek riskli şehirler arasında görülmektedir. Bu şehirler suç oranları açısından ortalamanın çok üzerinde konumlanmalarının yanı sıra özellikle Çorum hariç diğer dört şehrin birinci derece deprem kuşağında yer alması ve kısıtlı sayıda ulaşım olanağına sahip olması paylaşımlı konaklama açısından riskli görülmelerine yol açmıştır.

Ankara, katılımcılar için en uygun şehir olarak ön plana çıkmaktadır. Şehirde son 50 yıl içerisinde yaşanan sel sayısının Türkiye ortalamasının yaklaşık iki katı olması Ankara'yı afetler bakımından riskli bir şehir haline getirse de diğer risk faktörleri açısından Türkiye ortalamasının altında kalmaktadır. Ulaşım çeşitliliği bakımından yedi farklı ulaşım modu ile İstanbul'dan sonra ikinci sıradadır. Ulaşım kriterleri bazında incelendiğinde özellikle raylı ulaşım konusunda pek çok şehirler arası tren hattının merkezinde olması, yüksek hızlı tren ile ulaşımın mümkün olması ve şehir içi raylı sistemlerin varlığı Ankara'yı diğer şehirlerden üstün kılmaktadır. Son olarak dördüncü derece deprem kuşağında olması, Ankara'yı paylaşımlı konaklama riskleri açısından uygun bir şehir haline getirmektedir.

Diğer şehirlere kıyasla suç olaylarının sayısı her ne kadar yüksek olsa da yüz bin kişiye düşen suç sayısı düşünüldüğünde İstanbul, risk faktörleri açısından pek çok şehrin gerisinde kalmaktadır. Bazı suç oranları Türkiye ortalamasının altında kalmıştır. İstanbul, çalışma kapsamında göz önünde bulundurulmuş ulaşım çeşitlerinin tamamına sahip olan tek şehirdir. Ülke içerisinde havaalanı olmayan şehirler varken İstanbul'un üç adet sivil havaalanına sahip olması bu duruma örnektir. Fakat Atatürk Havalimanı'ndan yolcu uçuşu gerçekleşmediği için İstanbul'daki havalimanı sayısı iki olarak kabul edilmiştir. Bunun yanında yüksek hızlı tren, ana hat ve bölgesel tren hatlarının merkezinde olması, şehir içi ulaşımında metro, tramvay ve vapur ulaşımının bulunması sebebiyle ulaşım anlamında ön plana çıkmaktadır. Sel olaylarının gerçekleşme miktarı Türkiye ortalamasının oldukça altındadır. Birinci derece deprem kuşağında yer alması dahi İstanbul'u risk sıralamasında üstlere taşımaya yetmemiştir.

Tablo 6. Birleşik optimallik değerleri ($\lambda = 0,5$ değeri baz alınarak ilk 10 ve son 10 şehir için).

Şehir	$Q_i^{(1)}$	$Q_i^{(2)}$	$\lambda = 0,1$		$\lambda = 0,3$		$\lambda = 0,5$		$\lambda = 0,7$		$\lambda = 0,9$	
			Q_i	Sıra	Q_i	Sıra	Q_i	Sıra	Q_i	Sıra	Q_i	Sıra
Düzce	0,721	0,542	0,5598	2	0,5956	2	0,6315	1	0,6673	1	0,7032	1
Çorum	0,655	0,596	0,6019	1	0,6137	1	0,6254	2	0,6371	2	0,6488	4
Çankırı	0,653	0,528	0,5403	3	0,5654	3	0,5904	3	0,6155	4	0,6405	5
Bolu	0,670	0,506	0,5227	5	0,5554	4	0,5880	4	0,6207	3	0,6534	2
Kırşehir	0,654	0,494	0,5104	7	0,5422	6	0,5740	5	0,6058	5	0,6376	6
Bartın	0,673	0,442	0,4653	17	0,5114	10	0,5575	6	0,6036	6	0,6497	3
Iğdır	0,586	0,527	0,5327	4	0,5446	5	0,5565	7	0,5684	8	0,5803	9
Karaman	0,642	0,430	0,4511	23	0,4935	14	0,5358	8	0,5781	7	0,6204	7
Rize	0,584	0,482	0,4921	11	0,5126	9	0,5331	9	0,5536	10	0,5741	11
K.maraş	0,545	0,513	0,5159	6	0,5224	7	0,5290	10	0,5355	13	0,5421	17
...												
Manisa	0,374	0,280	0,2896	75	0,3083	72	0,3271	72	0,3458	69	0,3646	70
Mardin	0,340	0,306	0,3094	69	0,3161	70	0,3228	73	0,3295	76	0,3362	77
Kütahya	0,353	0,289	0,2953	72	0,3080	73	0,3207	74	0,3334	74	0,3461	74
Eskişehir	0,347	0,288	0,2937	73	0,3056	76	0,3175	75	0,3293	77	0,3412	75
İstanbul	0,382	0,250	0,2630	77	0,2894	77	0,3158	76	0,3422	72	0,3685	69
Uşak	0,385	0,246	0,2596	78	0,2875	78	0,3153	77	0,3432	71	0,3710	68
Adıyaman	0,318	0,303	0,3042	71	0,3073	74	0,3104	78	0,3135	78	0,3165	78
Şırnak	0,317	0,243	0,2507	80	0,2655	79	0,2804	79	0,2952	79	0,3100	79
Batman	0,303	0,236	0,2427	81	0,2561	81	0,2694	80	0,2827	80	0,2961	80
Ankara	0,280	0,254	0,2565	79	0,2618	80	0,2671	81	0,2725	81	0,2778	81

Ankara'yı takip eden Batman ve Şırnak illeri risk faktörleri bazında benzer özellikler göstermektedir. Suç oranlarının ve yaşanan sel olaylarının görece düşüklüğü bu şehirleri sıralamada yukarı taşımıştır.

4. Tartışma ve Sonuçlar

Paylaşımlı konaklama, sunduğu fiyat avantajı ve farklı insanlarla etkileşim kurabilme fırsatları sayesinde (Pizam, 2014) yıllar içinde çok tercih edilen bir konaklama alternatifine dönüşmüştür. Bu hizmetlerden bir evi tamamen kiralama ya da başka kişilerle paylaşma şeklinde yararlanılabilmesi, paylaşma yönelik güven ve risk bariyerlerini öne çıkarmaktadır. Klasik turizmciликteki, kişilerin tanımlı standart hizmetler alma beklentisinin yerini paylaşım durumunda ev sahibinin kimliği, hizmetin niteliği, ekipman ve olanakların standardizasyonu, güvenlik gibi faktörler konusunda belirsizlik ve değişkenlik almaktadır (Yuan ve diğ., 2021). Bu belirsizlik ve değişkenlik, paylaşım yapan kişiler açısından algılanan risk faktörlerini ortaya çıkarır.

Bu çalışma kapsamında, paylaşımlı konaklama hizmetlerine yönelik riskler SWARA yöntemi ile önceliklendirilmiş, Türkiye'deki şehirlerin risk durumları karar modeli kapsamında yer alan evin çevresi ile ilişkili riskler bazında WASPAS yöntemi ile değerlendirilmiştir. Paylaşım yapılan kişi kaynaklı, evin çevresi kaynaklı ve evin kendisi kaynaklı riskler şeklinde üç grupta toplanan 16 risk dikkate alınmıştır. 29.04.2020 tarihli İstanbul Teknik Üniversitesi Sosyal ve Beşeri Bilimler İnsan Araştırmaları Etik Kurulu onayı (No:251) kapsamında hazırlanan çevrim içi ankete katılan kişilerin değerlendirilmesine göre farklı kültürel değerlere ve bağımlılık gibi kötü alışkanlıklara sahip olma, kişisel alanın ihlali ve evin beklenen hijyen seviyesinin altında olması en önemli faktörlerdir. Türkiye'deki şehirlerin risk durumlarının değerlendirilebilmesi için paylaşım yapılan kişi ve evin kendisi kaynaklı riskler karar modelinden çıkarılmış, sadece evin çevresiyle ilişkili riskler dikkate alınmıştır. Güvenlik riskleri şehirlerin suç oranlarıyla, doğal afet riskleri sel ve deprem verileriyle, evin ulaşılabilirliği ise ulaşım modlarının sayısı ve varlığıyla ölçülmüştür. Buna göre riski en yüksek şehirler arasında Düzce, Bolu,

Çorum gibi şehirler yer alırken Ankara ve İstanbul gibi metropoller daha düşük riskli görülmüştür. Bu sonuçlarda, büyük şehirlere ulaşımın kolaylığı ve suç sayıları değil, nüfusa göre suç oranlarının dikkate alınmış olması etkilidir.

Bu çalışma, paylaşımlı konaklama hizmetlerini toplumsal ve sosyal açıdan inceleyerek önemli tespitlerde bulunmaktadır. Bulgular, algılanan risklerin yönetilebilmesi için alanda faaliyet gösteren firmalara bir yol haritası sunacaktır. Alınacak önlemler neticesinde çevrim içi alınan hizmetlerden daha güvenli bir fiziksel paylaşım ortamında yararlanılması sağlanabilecektir. Bununla birlikte, Türkiye'deki şehirlerin konumlarına bağlı riskler bazında değerlendirilmesi ile elde edilen sonuçlar, yüksek riskli görülen şehirlere yönelik gerekli önlemlerin alınmasına destek olacaktır. Paylaşımlı konaklama hizmetlerinin sürdürülebilirliğinin çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlarına katkısı göz önünde bulundurulduğunda (Laukkanen ve Tura, 2020), algılanan risklerin yönetilebilmesiyle Türkiye'deki hizmetlerin kalitesinin ve bu hizmetlerden yararlanma oranının yükselmesi toplumsal bir katkıya dönüşecektir. Paylaşımlı konaklama hizmetlerine yönelik yasal düzenlemeler sırasında, kişi kaynaklı ve coğrafi farklılıklara ilişkin risk faktörleri dikkate alınabilir.

Yöntemlere ait en önemli sınırlayıcı etken, WASPAS'ın girdisi olan karar matrisindeki herhangi bir verinin sıfır olması durumudur. Bu durum yaşandığında, ilgili alternatife ait Ağırlıklı Çarpım Modeli sonucu sıfır elde edilmektedir. Önceden belirlenmiş skalalar kullanılarak yapılan değerlendirmeler söz konusu olduğunda bu problemin önüne geçilebilir. Fakat veriye dayalı uygulamalarda bir alternatif için herhangi bir faktöre ait bir değer bulunmaması, yani bu faktör karşılığının sıfır olması sorun yaratmaktadır. Bu çalışmada, evlerin ulaşılabilirliğini ölçmek amacıyla kullanılan ulaşım modlarında her şehre mutlaka otobüs ile gidilebildiği varsayılarak bu sorunun önüne geçilmiştir.

Literatür taramasıyla belirlenen üç risk grubuna ait 16 risk faktörü sayıca fazla olduğu için ağırlıkları birbirine çok yakındır. Bu durum, özellikle orta sıralarda yer alan faktörlerin önceliklerine karar vermeyi zorlaştırmaktadır. Paylaşılan kişi kaynaklı faktörlerin, karar vericiler tarafından önemli görülmemeleri karar modelinden çıkarılıp çalışma tekrarlanabilir. Bununla birlikte, paylaşımlı konaklama hizmetlerinden yararlanan ya da bu hizmetlere dair bilgi sahibi olan kullanıcılar açısından ele alınan risk faktörleri güncellenerek aynı metodoloji ev sahibi perspektifinden uygulanabilir. Uygulanan iki aşamalı metodoloji, paylaşım ekonomisi kapsamındaki araç paylaşımı, ofis paylaşımı ya da ikinci el kıyafet satışı gibi birçok farklı alandaki risklerin incelenmesi amacıyla kullanılabilir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Barış Özgür Duyu, bilimsel yayın araştırması, analizlerin yapılması, bulguların değerlendirilmesi ve makalenin hazırlanması; Çiğdem Kadaifçi araştırma sürecinin izlenmesi ve kontrolü, bilimsel yayın araştırması, makalenin hazırlanması kısımlarına katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Ulaştırma Sektör Raporu. (2021). *12. Ulaştırma ve Haberleşme Şurası Sektör Raporları*. T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. Erişim adresi: <https://sgb.uab.gov.tr/uploads/pages/suralar/12-ulasirma-ve-haberlesme-surasi-sektor-raporlari.pdf>

Acquier, A., Daudigeos, T., & Pinkse, J. (2017). Promises and paradoxes of the sharing economy: An organizing framework. *Technological Forecasting and Social Change*, 125, 1-10. doi: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.07.006>

AFAD. (2020). *Afet Yönetimi Kapsamında 2019 Yılına Bakış ve Doğa Kaynaklı Olay İstatistikleri*. T.C. İçişleri Bakanlığı. Erişim adresi: https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/e_Kutuphane/Kurumsal-Raporlar/Afet_Istatistikleri_2020_web.pdf

Airbnb. (2021). *Airbnb Newsroom*. <https://news.airbnb.com/about-us/>

Akpınar, A. ve Avunduk, H. (2021). Seyahat ve turizmde paylaşım ekonomisi: Airbnb Türkiye örneği. *International Journal of Contemporary Tourism Research*, 5(Özel Sayı), 135-149. doi: <https://doi.org/10.30625/ijctr.894029>

Aznar, P., Saveras, J. M., Segarra, G., & Claveria, J. (2018). Airbnb competition and hotels' response: The importance of online reputation. *Athens Journal of Tourism*, 5(1), 7-19. Retrieved from <https://vtechworks.lib.vt.edu/handle/10919/85356>

- Botsman, R. (2013). *The Sharing Economy Lacks A Shared Definition*. Fast Company. Retrieved from <https://www.fastcompany.com/3022028/the-sharing-economy-lacks-a-shared-definition>
- Chakraborty, S., & Zavadskas, E. K. (2014). Applications of WASPAS method in manufacturing decision making. *Informatica*, 25(1), Art. 1. Retrieved from <https://content.iospress.com/articles/informatica/inf25-1-01>
- Chen, Y.-H., Kim, J., & Mueller, N. (2021). Estimating the economic impact of natural hazards on shared accommodation in coastal tourism destinations. *Journal of Destination Marketing & Management*, 21, 100634. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jdmm.2021.100634>
- Demirdelen, D., Dinçer, M. ve İstanbullu Dinçer, F. (2022). Airbnb Kullanıcılarının “Hayal Kırıklığı” Üzerine Bir Araştırma. *Anatolia: Turizm Araştırmaları Dergisi*, 33(1), 7-17. doi: <https://doi.org/10.17123/atad.773240>
- Demirdelen, D., Dinçer, M. Z. ve İstanbullu Dinçer, F. (2020). Airbnb Aracılığıyla Konaklama Yapan Misafirlerin Memnuniyet Düzeylerini Etkileyen Faktörlerin Belirlenmesine Yönelik Netnografik Bir Araştırma. *International Journal of Contemporary Tourism Research*, 4(1), 1-14. doi: <https://doi.org/10.30625/ijctr.623218>
- Frenken, K., & Schor, J. (2017). Putting the sharing economy into perspective. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 23, 3-10. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eist.2017.01.003>
- Gerwe, O., & Silva, R. (2020). Clarifying the sharing economy: Conceptualization, typology, antecedents, and effects. *Academy of Management Perspectives*, 34(1), 65-96. Retrieved from <https://bura.brunel.ac.uk/bitstream/2438/17428/1/Fulltext.pdf>
- Green, S., & McCarthy, L. (2015). Is sharing the solution?: Exploring the opportunities and challenges of privately rented shared accommodation for single people in housing need. *People, Place and Policy*, 9(3), 159-178. doi: <https://doi.org/10.3351/ppp.0009.0003.0001>
- Jun, S.-H. (2020). The effects of perceived risk, brand credibility and past experience on purchase intention in the Airbnb context. *Sustainability*, 12(12), 5212. doi: <https://doi.org/10.3390/su12125212>
- Karadayı-Usta, S. ve Kadaifçi, Ç. (2022). Sürdürülebilir moda için bütünlük bir yaklaşım önerisi: İkinci el kıyafet alışverişinde etkili olan kriterlerin anlaşılması ve analizi. *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University*, 37(2), 873-887. doi: <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.945327>
- Keršulienė, V., Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2010). Selection of rational dispute resolution method by applying new step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA). *Journal of business economics and management*, 11(2), Art. 2. doi: <https://doi.org/10.3846/jbem.2010.12>
- Konak, S. (2020). İstanbul’u Ziyaret Eden Yabancı Turistlerin Airbnb Uygulamasını Tercih Etme Nedenleri. *International Journal of Contemporary Tourism Research*, 4(1), 79-90. doi: <https://doi.org/10.30625/ijctr.701561>
- Laukkanen, M., & Tura, N. (2020). The potential of sharing economy business models for sustainable value creation. *Journal of Cleaner production*, 253, 120004. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120004>
- Lee, S. H., & Deale, C. (2021). Consumers’ perceptions of risks associated with the use of Airbnb before and during the COVID-19 pandemic. *International Hospitality Review*. doi: <https://doi.org/10.1108/IHR-09-2020-0056>
- Malazizi, N., Alipour, H., & Olya, H. (2018). Risk perceptions of Airbnb hosts: Evidence from a Mediterranean island. *Sustainability*, 10(5), 1349. doi: <https://doi.org/10.3390/su10051349>
- Mao, Z. (Eddie), Jones, M. F., Li, M., Wei, W., & Lyu, J. (2020). Sleeping in a stranger’s home: A trust formation model for Airbnb. *Journal of Hospitality and Tourism Management*, 42, 67-76. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhtm.2019.11.012>
- Mayer, R. C., Davis, J. H., & Schoorman, F. D. (1995). An integrative model of organizational trust. *Academy of management review*, 20(3), 709-734. doi: <https://doi.org/10.5465/amr.1995.9508080335>
- McKnight, D. H., & Chervany, N. L. (2001). What trust means in e-commerce customer relationships: An interdisciplinary conceptual typology. *International journal of electronic commerce*, 6(2), 35-59. doi: <https://doi.org/10.1080/10864415.2001.11044235>
- McKnight, D. H., Choudhury, V., & Kacmar, C. (2002). Developing and validating trust measures for e-commerce: An integrative typology. *Information systems research*, 13(3), 334-359. doi: <https://doi.org/10.1287/isre.13.3.334.81>
- Mhlanga, O. (2019). Peer-to-peer-travel: Is Airbnb a friend or foe to hotels? *International Journal of Culture, Tourism and Hospitality Research*, 13(4), 443-457. doi: <https://doi.org/10.1108/IJCTHR-05-2019-0087>

- Muñoz, P., & Cohen, B. (2017). Mapping out the sharing economy: A configurational approach to sharing business modeling. *Technological forecasting and social change*, 125, 21-37. doi: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.03.035>
- Oskam, J., & Boswijk, A. (2016). Airbnb: The future of networked hospitality businesses. *Journal of Tourism Futures*, 2(1), 22-42. doi: <https://doi.org/10.1108/JTF-11-2015-0048>
- Owyang, J. (2016). Honeycomb 3.0: The Collaborative Economy Market Expansion. *Jeremiah Owyang*. Retrieved from <https://web-strategist.com/blog/2016/03/10/honeycomb-3-0-the-collaborative-economy-market-expansion-sxsw/>
- Pizam, A. (2014). Peer-to-peer travel: Blessing or blight. *International Journal of Hospitality Management*, 38, 118-119. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2014.02.013>
- Stanujkic, D., Karabasevic, D., & Zavadskas, E. K. (2015). A framework for the selection of a packaging design based on the SWARA method. *Engineering Economics*, 26(2), 181-187. doi: <https://doi.org/10.5755/j01.ee.26.2.8820>
- Ter Huurne, M., Ronteltap, A., Corten, R., & Buskens, V. (2017). Antecedents of trust in the sharing economy: A systematic review. *Journal of Consumer Behaviour*, 16(6), 485-498. doi: <https://doi.org/10.1002/cb.1667>
- Tian, Y., Zhang, H., Jiang, Y., & Yang, Y. (2021). Understanding trust and perceived risk in sharing accommodation: An extended elaboration likelihood model and moderated by risk attitude. *Journal of Hospitality Marketing & Management*, 1-21. doi: <https://doi.org/10.1080/19368623.2022.1986190>
- TÜİK - Ceza İnfaz Kurumu. (2022). Ceza İnfaz Kurumu İstatistikleri. Erişim adresi: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Ceza-Infaz-Kurumu-Istatistikleri-2020-37202>
- TÜİK - Nüfus Kayıt Sistemi. (2022). Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları. Erişim adresi: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2020-37210>
- Varma, A., Jukic, N., Pestek, A., Shultz, C. J., & Nestorov, S. (2016). Airbnb: Exciting innovation or passing fad? *Tourism Management Perspectives*, 20, 228-237. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tmp.2016.09.002>
- Yang, S.-B., Lee, K., Lee, H., & Koo, C. (2019). In Airbnb we trust: Understanding consumers' trust-attachment building mechanisms in the sharing economy. *International Journal of Hospitality Management*, 83, 198-209. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2018.10.016>
- Yi, J., Yuan, G., & Yoo, C. (2020). The effect of the perceived risk on the adoption of the sharing economy in the tourism industry: The case of Airbnb. *Information Processing & Management*, 57(1), 102108. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2019.102108>
- Yuan, T., Honglei, Z., Xiao, X., Ge, W., & Xianting, C. (2021). Measuring perceived risk in sharing economy: A classical test theory and item response theory approach. *International Journal of Hospitality Management*, 96, 102980. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2021.102980>
- Zamani, E. D., Choudrie, J., Katechos, G., & Yin, Y. (2019). Trust in the sharing economy: The AirBnB case. *Industrial Management & Data Systems*, 119(9), 1947-1968. doi: <https://doi.org/10.1108/IMDS-04-2019-0207>
- Zavadskas, E. K., Turskis, Z., Antucheviciene, J., & Zakarevicius, A. (2012). Optimization of weighted aggregated sum product assessment. *Elektronika ir elektrotechnika*, 122(6), Art. 6. doi: <https://doi.org/10.5755/j01.eee.122.6.1810>
- Zoho Survey. (2022). Zoho. Retrieved from <https://www.zoho.com/survey/index.html>
- Zolfani, S. H., Yazdani, M., & Zavadskas, E. K. (2018). An extended stepwise weight assessment ratio analysis (SWARA) method for improving criteria prioritization process. *Soft Computing*, 22(22), Art. 22. doi: <https://doi.org/10.1007/s00500-018-3092-2>



Journal of Turkish Operations Management

Evaluation of the airline website quality with the intuitionistic fuzzy TOPSIS method

Eda Çınaroğlu^{1*}, Fulya Zaralı²

¹Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Aviation Management, Erciyes University, Kayseri, Turkey
e-mail: ecinaroglu@erciyes.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-2904-3376>

²Develi Huseyin Sahin Vocational School, Kayseri University, Kayseri, Turkey
e-mail: fzarali@kayseri.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-7796-1040>

*Sorumlu Yazar

Article Info

Article History:

Received: 19.03.2022
Revised: 07.07.2022
Accepted: 17.07.2022

Keywords:

Airline website
Website quality
Multi-criteria decision making problems
Intuitionistic fuzzy TOPSIS method

Abstract

The importance of the concept of e-commerce, which has become an indispensable part of today's society due to the rapid development in information technology, has been confirmed once again during the Covid-19 pandemic period. Within the scope of e-commerce, the value of websites that provide customer interactions has also increased. Fast and effective communication is carried out through websites by all airline companies that provide services on an international scale. Since it is the first point of interaction with customers, it is of great importance that these channels are designed effectively and that they have the quality and performance level to meet customer expectations. In this study, a solution proposal containing Intuitionistic Fuzzy TOPSIS (IF TOPSIS) method has been developed to measure the quality performance of airline companies' websites. The most important criteria for the quality of airline companies' websites have been determined as security and information quality. It has also concluded that the airline company with the highest website quality is "Ryanair". To test the robustness of the proposed approach, the same problem is solved using IF-EDAS and IF-WASPAS methods. The results are compared. This research is an attempt to develop a research framework that will aid in determining and prioritizing airline website evaluation criteria and selecting the best site among alternatives in an IF environment.

1. Introduction

Rapid advances in information technology, increase and diversification in customer expectations, development in the phenomenon of quality, commoditization and near-zero profitability are just a few of the factors driving global business competition. The driving force behind the competition is the customer. In this context, it has become necessary to continuously improve service quality in order to meet customer demand on time and in a cost-effective manner.

The e-business structure has emerged as a determining factor in service quality due to the rapid advancement of information technologies, particularly the Covid 19 pandemic process. Customer satisfaction is directly related to the quality of websites, which are the interfaces through which the user interacts with the e-business structure.

The internet is regarded as a platform for the generation of new revenue streams. Because the internet is now so widely available, international businesses have begun to use their websites to communicate and transact with customers all over the world (Chakraborty et al., 2005). To avoid using agents, most airlines have established their own websites and they are increasingly focused on online communication and transactions (Xie and Barnes, 2008). Airlines also use websites to exchange information with current and potential customers, raise brand

awareness and provide certain services online. In recent years, websites have evolved into an important business communication and promotion tool. The websites of airlines provide services on a global scale allowing for quick and effective communication. Customer Relationship Management (CRM) applications are now available on websites, making it easier to maintain long-term customer loyalty. Furthermore, providing additional services such as car rental and hotel reservations on airline websites generates significant revenue (Harison and Boostra, 2008).

Because these channels are the first point of contact for customers, it is critical that they are well-designed and have the quality and performance to meet customer expectations. When a website has a successful design and adheres to basic quality standards such as timeliness and reliability customer satisfaction increases. Customer satisfaction allows existing customers to become permanent and speeds up the acquisition of new customers by providing positive feedback to their physical and virtual environments (Bilsel et al., 2006).

Airlines must understand the quality of their websites if they are to be more successful in their processes. This is a strategy for increasing market share and competing with other companies in the industry. However, the majority of them are unaware of how successful their sites are or how much of a gap should be filled between their current status and an ideal e-commerce site. At this point, it is critical to define the ideal e-commerce website and identify the shortcomings of the companies' existing websites (Lee and Kozar, 2006).

The evaluation of a website's quality is a multi-criteria decision-making (MCDM) problem. The most appropriate and closest solution that meets the specified requirements and criteria must be found in MCDM problems. TOPSIS is an MCDM approach that evaluates both positive and negative solutions in order to find the best fit for the requirements. Decision makers may find it difficult to determine the significance of criteria in these and similar selection and ranking problems, as well as to clearly evaluate alternatives based on the criteria. The IF sets developed by Atanassov (1986) is an appropriate method for dealing with this challenge. IF sets have been used to solve a wide range of decision-making problems, including uncertainty and have proven to be very effective in doing so (Memari et al., 2019). When combined with IF sets, the TOPSIS approach has a high chance of success when evaluating the quality of a company's website.

Based on fleet size and seat capacity, this study assesses the website quality of the world's ten biggest airline companies. Every decision maker perceives e-service quality differently and decision makers may not be familiar with all features of all criteria. As a result of this situation decisions are made with uncertainty. The IF TOPSIS method is proposed in this study because IF sets are one of the most effective methods for making decisions in uncertain environments. The proposed method is intended to evaluate the website quality of airline companies effectively. Furthermore, the proposed method aims to help researchers theoretically better understand the website evaluation problem, to assist managers in making decisions and to support airline companies in improving the performance of their websites. This is hoped to contribute to the literature in a variety of ways. The majority of airline website quality research is based on content analysis or customer surveys (Chong and Law, 2018). There have been few studies that use MCDM methods in evaluation with fuzzy sets. Furthermore, no literature exists using IF set-based MCDM methods in airline website evaluation. This study aims to fill that gap as well. It also has an original quality due to the combination of the IF-TOPSIS, IF-EDAS and IF-WASPAS methods in the evaluation of website quality.

This article is categorized into five main sections. The following section generates a literature review on the quality performance of airline websites. The third section contains in-depth information about the research methodology. The analysis of the data collected will be presented in the fourth section along with the results discussed in relation to the literature review. The final section discusses the research's strengths and weaknesses, as well as the findings and future recommendations.

2. Literature review

Businesses now must assess the quality of their websites and identify weak website capabilities. The following are some of the studies conducted for this purpose using various MCDM methods.

Gong et al. (2021) proposed a new integrated approach based on linguistic hesitant fuzzy sets (LHFSs) and the TODIM (Portuguese abbreviation for interactive and multi-criteria decision making) method for evaluating and selecting the best e-learning website. Gavcar and Organ (2020) chose the best travel agency using AHP-based GIA and WASPAS methods. In their study, Ostovare and Shahraki (2019) used the PROMETHEE and GAIA

methods to evaluate five-star hotel websites. Liang et al. (2019) presented a Pythagorean fuzzy VIKOR approach based on TODIM for evaluating bank websites. Ozbek and Engur (2018) used the EDAS method to evaluate logistics company websites. Buyukozkan et al. (2018) evaluated hospital websites using the Intuitionistic fuzzy Choquet method. Buyukozkan and Guleryuz (2016) used the fuzzy TOPSIS method to evaluate logistics company websites and Kang et al. (2016) used it to evaluate e-commerce websites. The PROMETHEE method was used by Akincilar and Dagdeviren (2014) to evaluate hotel websites. Lin (2010) evaluated the course websites using the fuzzy AHP method. Dundar and colleagues (2007) used the fuzzy TOPSIS method to evaluate virtual store websites.

The majority of airline website evaluation studies include online questionnaires and passenger surveys (Shchiglik and Barnes, 2004; Hidalgo et al., 2007; Xie and Barnes, 2008; Apostolou and Economides, 2008; Alwahaishi et al., 2009). The following are some studies that used MCDM methods to evaluate airline website quality.

Using a sample of five Asian flag carriers (Cathay Pacific, Japan Airlines, Korea Airlines, Malaysia Airlines and Singapore Airlines), Jati (2009) evaluated the quality of airline websites. The analytical hierarchy process (AHP) method was used in the study. In evaluation, accessibility error, broken link, design optimization, frequency of update, load time, markup validation, number of items, page rank, response time, size and traffic criteria were used. According to the results Malaysia Airlines had the best website with the highest score in comparison.

Tsai et al. (2011) used the Decision Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL) method, the Analytic Network Process (ANP) method and the modified Visekriterijumska optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR) method to analyze the websites of five Taiwanese airlines. The study was based on information quality criteria (currency, relevance), service quality criteria (credibility, reliability, responsiveness) and system quality criteria (navigability, personalization, security). China Airlines and Eva Air had the best websites, while Mandarin Airlines had the worst according to the results.

Dominic and Jati (2011) used the linear weightage model (LWM), analytical hierarchy process (AHP) and fuzzy analytical hierarchy process (FAHP) to evaluate the website quality of Asian airlines (Cathay Pacific, Japan Airlines, Korea Airlines, Malaysia Airlines and Singapore Airlines). Accessibility errors, broken links, design optimization, frequency of update, load time, markup validation, number of items, page size, page rank, response time and traffic were among the study's evaluation criteria. According to the findings, the majority of Asian websites performed poorly in terms of performance and quality criteria with Cathay Pacific and Malaysia Airlines performing the best.

Dominic and Khan (2014) used the analytical hierarchy process (AHP) and the fuzzy analytical hierarchy process (FAHP) to assess and compare the website quality of four Malaysian airlines (Air Asia, Malaysia Airlines, Singapore Airlines and Thai Airways). The following criteria were used to evaluate the websites: availability, broken links, design optimization, load time, mark-up validation, number of items, page rank, page score, page size, response time and traffic. As a result, Singapore Airlines' website was ranked first among competitors.

Vatansver and Akgul (2018) evaluated the website performance of 11 Turkish airlines (Anadolujet Airlines, Borajet Airlines, Corendon Airlines, Freebird Airlines, Izair Airlines, Onur Airlines, Pegasus Airlines, Sky Airlines, SunExpress, Tailwind Airlines and Turkish Airlines) using seven criteria (broken links, design optimization, load time, mark up, page rank, response time and traffic). Entropy and gray relational analysis methods were used in the study. The study confirmed that performance and quality criteria for airline websites had been neglected.

Several studies have been conducted on the evaluation of airline websites using fuzzy sets. However, no literature exists using IF set-based MCDM methods in airline website evaluation. This study's method seeks to contribute to the literature by developing a more effective and reliable set of criteria for dealing with uncertainty. The research is unique in that it is the first to use intuitionistic fuzzy methods to evaluate the quality of airline websites. It also has an original quality due to the combination of the IF-TOPSIS, IF-EDAS and IF-WASPAS methods in evaluation.

3. Methodology

3.1 IF set theory

The fuzzy set theory of Zadeh (1965) is an effective method of dealing with uncertainty in human decision-making (Rouyendegh, 2020). It has been used successfully in a wide range of fields, including engineering, management and economics. Atanassov (1986) established the IF set theory by incorporating improvements to the fuzzy set theory (FST). While the degree of membership in FST is defined in the range $[0,1]$, the degree of non-membership in IF set theory is defined in addition to the degree of membership (Yildirim, 2019). A variety of criteria must be considered in order to find the best solution for MCDM challenges. However, because decision makers' (DMs') feedback can be ambiguous at times, acquiring and evaluating DMs' judgments can be difficult. As a result, IF sets are used to reduce uncertainty and better express DM preferences. In studies, IF clusters were discovered to be a powerful strategy for dealing with ambiguity in decision dilemmas (Buyukozkan and Guleryuz, 2016).

3.2 IF-TOPSIS method

The definitions for the IF-TOPSIS approach are found in this section. To begin, the criteria C and alternative A sets are defined. ($A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ and $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$) The DM group, which is not identical, contains a variety of DM. Because DMs have different levels of experience and knowledge, they have different levels of relevance. λ is the DMs' weight vector. ($\lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_l\}$ $\lambda_k \geq 0, k = 1, 2, \dots, l$ $\sum_{k=1}^l \lambda_k = 1$.)

$R^{(k)} = (r_{ij}^{(k)})_{m \times n}$ k . is the decision matrix (DMX) of the DM and $r_{ij}^{(k)} = (\mu_{ij}^{(k)}, \nu_{ij}^{(k)}, \pi_{ij}^{(k)})_{m \times n}$ is the IF value obtained from the j . criteria of i . alternative given by the DMs'. Using these concepts, the steps of the IF-TOPSIS technique are detailed below (Boran et al., 2009).

Step 1: Determine the DMs' weights. Assume that the decision group consists of l DM. Within the sphere of IF numbers, the DM's significance is viewed as linguistic terms.

Let $D_k = [\mu_k, \nu_k, \pi_k]$ be an IF number to rate k th DM. The following equation can be used to calculate the weight of the k th DM:

$$\lambda_k = \frac{(\mu_k + \pi_k \left(\frac{\mu_k}{\mu_k + \nu_k}\right))}{\sum_{k=1}^l (\mu_k + \pi_k \left(\frac{\mu_k}{\mu_k + \nu_k}\right))}$$

and $\sum_{k=1}^l \lambda_k = 1$ (1)

Step 2. Create a single IF DMX based on the DMs' perspectives. To construct a unified IF DMX in the group DMP, all individual decision perspectives must be incorporated in a group view. As a result, the IFWA operator proposed by Xu (2007) is used.

$$r_{ij} = IFWA_{\lambda}(r_{ij}^{(1)}, r_{ij}^{(2)}, \dots, r_{ij}^{(l)}) = r_{ij}^{(1)} \lambda_1 \oplus r_{ij}^{(2)} \lambda_2 \oplus \dots \oplus r_{ij}^{(l)} \lambda_l$$

$$= \left[1 - \prod_{k=1}^l (1 - \mu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^l (\nu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^l (1 - \mu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k} - \prod_{k=1}^l (\nu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k} \right] \quad (2)$$

Here $r_{ij} = (\mu_{Ai}(x_j), \nu_{Ai}(x_j), \pi_{Ai}(x_j))$ ($i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$).

The following is the definition of the combined IF DMX:

$$R = \begin{bmatrix} (\mu_{A1}(x_1), \nu_{A1}(x_1), \pi_{A1}(x_1)) & (\mu_{A1}(x_2), \nu_{A1}(x_2), \pi_{A1}(x_2)) & \dots & (\mu_{A1}(x_n), \nu_{A1}(x_n), \pi_{A1}(x_n)) \\ (\mu_{A2}(x_1), \nu_{A2}(x_1), \pi_{A2}(x_1)) & (\mu_{A2}(x_2), \nu_{A2}(x_2), \pi_{A2}(x_2)) & \dots & (\mu_{A2}(x_n), \nu_{A2}(x_n), \pi_{A2}(x_n)) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (\mu_{Am}(x_1), \nu_{Am}(x_1), \pi_{Am}(x_1)) & (\mu_{Am}(x_2), \nu_{Am}(x_2), \pi_{Am}(x_2)) & \dots & (\mu_{Am}(x_n), \nu_{Am}(x_n), \pi_{Am}(x_n)) \end{bmatrix}$$

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ r_{31} & r_{32} & \dots & r_{3m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

Step 3. Determine the criteria's weights. It's possible that not all criteria are equally important. W has a variety of intensity levels to choose from. To produce W , all unique DM viewpoints must be integrated due to the importance of each criterion.

Let $W_j^{(k)} = [\mu_j^{(k)}, \nu_j^{(k)}, \pi_j^{(k)}]$ be an IF number assigned to criterion X_j by the k th DM. The weights of the criterion are then determined using the IFWA operator:

$$W_j = IFWA_{\lambda}(W_j^{(1)}, W_j^{(2)}, \dots, W_j^{(l)}) = \lambda_1 W_j^{(1)} \oplus \lambda_2 W_j^{(2)} \oplus \dots \oplus \lambda_l W_j^{(l)}$$

$$= \left[1 - \prod_{k=1}^l (1 - \mu_j^{(k)})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^l (\nu_j^{(k)})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^l (1 - \pi_j^{(k)})^{\lambda_k} - \prod_{k=1}^l (\nu_j^{(k)})^{\lambda_k} \right] \tag{3}$$

$W = [W_1, W_2, W_3, \dots, W_j]$ here $W_j = (\mu_j, \nu_j, \pi_j) (j = 1, 2, \dots, n)$

Step 4. Create a weighted combined IF DMX. The combined weighted IF DMX is generated using the following equation after the criterion weights (W) and the combined IF DMX have been determined:

$$R \otimes W = \{(x, \mu_{Ai}(x), \mu_w(x) + \nu_{Ai}(x), \nu_w(x) - \nu_{Ai}(x), \nu_w(x)) | x \in X\} \tag{4}$$

And

$$\pi_{AiW}(x) = 1 - \nu_{Ai}(x) - \nu_w(x) - \mu_{Ai}(x) \cdot \mu_w(x) + \nu_{Ai}(x) \cdot \nu_w(x) \tag{5}$$

The weighted combined IF DMX are found as follows:

$$R = \begin{bmatrix} (\mu_{A1W}(x_1), \nu_{A1W}(x_1), \pi_{A1W}(x_1)) & (\mu_{A1W}(x_2), \nu_{A1W}(x_2), \pi_{A1W}(x_2)) & \dots & (\mu_{A1W}(x_n), \nu_{A1W}(x_n), \pi_{A1W}(x_n)) \\ (\mu_{A2W}(x_1), \nu_{A2W}(x_1), \pi_{A2W}(x_1)) & (\mu_{A2W}(x_2), \nu_{A2W}(x_2), \pi_{A2W}(x_2)) & \dots & (\mu_{A2W}(x_n), \nu_{A2W}(x_n), \pi_{A2W}(x_n)) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ (\mu_{AmW}(x_1), \nu_{AmW}(x_1), \pi_{AmW}(x_1)) & (\mu_{AmW}(x_2), \nu_{AmW}(x_2), \pi_{AmW}(x_2)) & \dots & (\mu_{AmW}(x_n), \nu_{AmW}(x_n), \pi_{AmW}(x_n)) \end{bmatrix}$$

$$R' = \begin{bmatrix} r'_{11} & r'_{12} & \dots & r'_{1m} \\ r'_{21} & r'_{22} & \dots & r'_{2m} \\ r'_{31} & r'_{32} & \dots & r'_{3m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r'_{n1} & r'_{n2} & \dots & r'_{nm} \end{bmatrix}$$

$r'_{ij} = \{\mu'_{ij}, \nu'_{ij}, \pi'_{ij}\} = \{\mu_{AiW}(x_j), \nu_{AiW}(x_j), \pi_{AiW}(x_j)\}$ is an element of the combined weighted IF DMX.

Step 5: Determine whether a negative ideal solution (IF NIS) exists and whether a positive ideal solution (IF PIS) exists. J_1 and J_2 are cost and benefit criterion, respectively. A^* is an IF PIS and A^- is an IF NIS. Then, A^* and A^- are obtained as:

$$A^* = \{\mu_{A^*W}(x_j), \nu_{A^*W}(x_j)\} \text{ and } A^- = \{\mu_{A^-W}(x_j), \nu_{A^-W}(x_j)\} \tag{6}$$

Where

$$\mu_{A^*W}(x_j) = ((\max_i \mu_{AiW}(x_j) | j \in J_1), (\min_i \mu_{AiW}(x_j) | j \in J_2)) \tag{7}$$

$$\nu_{A^*W}(x_j) = ((\min_i \nu_{AiW}(x_j) | j \in J_1), (\max_i \nu_{AiW}(x_j) | j \in J_2)) \tag{8}$$

$$\mu_{A^-W}(x_j) = ((\min_i \mu_{AiW}(x_j) | j \in J_1), (\max_i \mu_{AiW}(x_j) | j \in J_2)) \tag{9}$$

$$\nu_{A^-W}(x_j) = ((\max_i \nu_{AiW}(x_j) | j \in J_1), (\min_i \nu_{AiW}(x_j) | j \in J_2)) \tag{10}$$

Step 6: Determine the separation criteria. To distinguish between alternatives in the IF set, Euclidean distance, Hamming distance and their normalized distance measurements can be utilized. Following the selection of the distance measure, the separation measurements are calculated. S_i^+ and S_i^- of each alternative from IF PIS and NIS are determined. In this paper, the Hamming distance is used.

$$S_i^+ = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n [|\mu'_{ij} - \mu_j^{*+}| + |\nu'_{ij} - \nu_j^{*+}| + |\pi'_{ij} - \pi_j^{*+}|] \quad i = 1, 2, \dots, m \tag{11}$$

$$S_i^- = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n [|\mu'_{ij} - \mu_j^{-}| + |\nu'_{ij} - \nu_j^{-}| + |\pi'_{ij} - \pi_j^{-}|] \quad i = 1, 2, \dots, m \tag{12}$$

Step 7. Determine the intuitionistic ideal solution's relative closeness coefficient. With respect to IF PIS, the relative closeness coefficient of an alternative A_i is defined as follows:

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}, 0 \leq C_i^* \leq 1, i = 1, 2, \dots, m \tag{13}$$

Step 8. Sort the options in order of preference. Following the determination of each alternative's relative closeness coefficient, the alternatives are sorted in descending order of C_i^* 's.

4. Application

Customer satisfaction in the airline industry can be achieved by providing quality service to current and prospective customers. Because most airlines' websites are their first point of contact, service quality is critical in terms of customer satisfaction. Customer satisfaction ensures that existing customers remain loyal and speeds up the acquisition of new customers by providing positive feedback to their physical and virtual environments. The performance of the websites of the world's 10 biggest airline companies (American Airlines-AA, Delta Air

Lines-DA, Southwest Airlines-SA, United Airlines-UA, Ryanair-RA, China Southern Airlines-CSA, China Eastern Airlines-CEA, Easyjet-EJ, Turkish Airlines-TA and Air China-AC) is evaluated in this study. Figure 1 depicts the websites of these companies. A decision-making team of four experts who have graduated from the aviation management department and have a career in aviation is formed within the scope of the study. With the authors and decision-making team a literature search is conducted and six main criteria and seventeen sub-criteria that can define the performance of airline companies' websites are identified. The criteria determined and their explanations are shown in Table 1.

1. American Airlines	https://www.aa.com
2. Delta Air Lines	https://www.delta.com
3. Southwest Airlines	https://www.southwest.com
4. United Airlines	https://www.united.com
5. Ryanair	https://www.ryanair.com
6. China Southern Airlines	https://www.csair.com
7. China Eastern Airlines	https://us.ceair.com
8. EasyJet	https://www.easyjet.com
9. Turkish Airlines	https://www.turkishairlines.com
10. Air China	http://www.airchina.com

Figure 1. Airline companies and online addresses

Table 1. Criteria and explanations

Criteria	Explanations	References
Information quality	Information accuracy(C1): Consistency	Apostolou and Economides, 2008; Lin, 2010; Tsai et al., 2011; Chou and Chen, 2012
	Up-to-dateness of information(C2): Topicality	Lin, 2010; Tsai et al., 2011; Ozbek, 2018; Ozbek, 2020
	The wealth of information(C3): Wide scope	Dundar et al., 2007; Apostolou and Economides, 2008; Alwahaishi et al., 2009; Chou and Chen, 2012; Buyukozkan and Guleryuz, 2016; Ozbek, 2020
Visual and physical structure	Ease of use(C4): Functionality	Xie and Barnes, 2008; Ozbek, 2018; Liang et al., 2019; Ostavare and Shahraki, 2019; Ozbek, 2020
	Design(C5): Visual appeal	Dundar et al., 2007; Xie and Barnes, 2008; Jati, 2009; Dominic and Khan, 2014; Buyukozkan and Guleryuz, 2016; Ozbek, 2018
	Speed(C6): Website speed	Lin, 2010; Dominic and Jati, 2011; Buyukozkan et al., 2018
Responding	Customer relations(C7): Availability of direct interactive forms for customer requests and complaints	Akıncılar and Dagdeviren, 2014; Buyukozkan and Guleryuz, 2016
	Interactivity(C8): Online dating	Akıncılar and Dagdeviren, 2014; Buyukozkan and Guleryuz, 2016
	Technical performance(C9): Accessibility	Hidalgo et al., 2007; Lin, 2010; Dominic and Jati, 2011; Buyukozkan and Guleryuz, 2016
Reliability	Specialization(C10): Presence of an expert authority	Buyukozkan and Guleryuz, 2016
	Standardization(C11): Compliance with standards	Buyukozkan and Guleryuz, 2016
	Reputation(C12): Awareness	Buyukozkan and Guleryuz, 2016; Yalcin and Yagli, 2020
Confidentiality/	Confidentiality(C13): Keeping customer data	Liang et al., 2019;

Security	confidential	Ostavare and Shahraki , 2019; Buyukozkan et al., 2018
	Security(C14): Ensuring the security of financial data	Tsai et al., 2011; Ostavare and Shahraki, 2019; Yalcin and Yagli, 2020; Gong et al., 2021
Empaty	Personalization(C15): Personalized interest / offer, storage of past customer information	Tsai et al., 2011; Akincilar and Dagdeviren, 2014; Gong et al., 2021
	Link(C16): Links with institutions and websites	Buyukozkan and Guleryuz, 2016; Ostavare and Shahraki, 2019
	Customer care(C17): Care / guidance	Alwahaishi et al., 2009; Chou and Chen, 2012; Buyukozkan and Guleryuz, 2016

The structure of the IF TOPSIS model created for the best web site selection is shown in Figure 2.

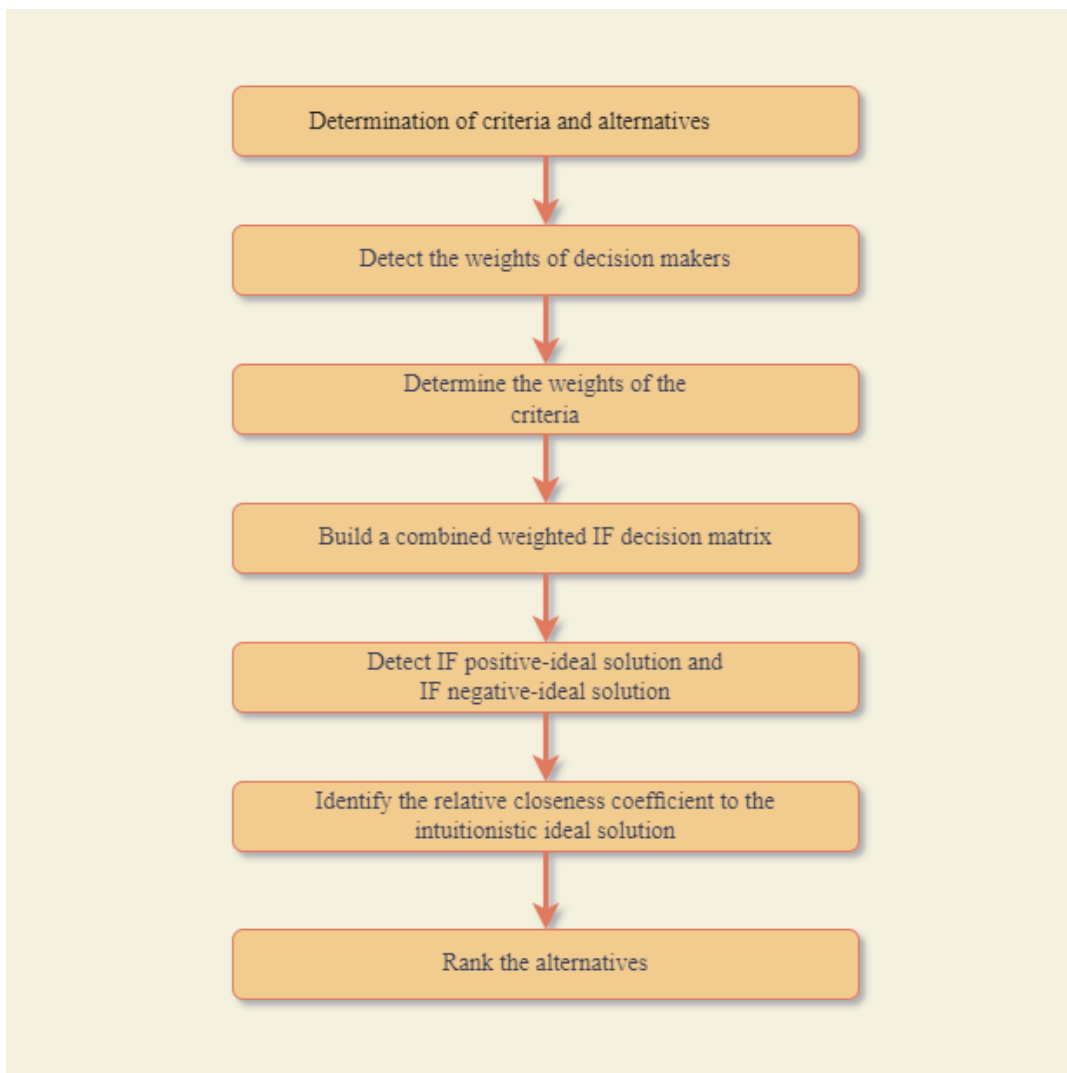


Figure 2. The structure of the IF TOPSIS model

The application steps of the model are explained below.

Step 1. Calculating the weights of DM. The significance of DMs is treated as a linguistic variable. To assess the weight of decision makers, linguistic concepts are stated with IF numbers, as shown in Table 2.

Table 2. Linguistic terms used to determine the importance levels of the expert team

Linguistic terms	IF numbers
VI (Very Important)	0,80-0,10
I (Important)	0,50-0,30
M (Medium)	0,50-0,50
U (Unimportant)	0,30-0,50
VU (Very Unimportant)	0,20-0,70

According to their field experience, the DMs' importance levels are identified as "Ex1: very important" and "Ex2=Ex3=Ex4:important," and the weight values are calculated and reported in Table 3.

$$\lambda_{Ex1} = \frac{(0,80 + 0,10 \cdot \frac{0,80}{0,90})}{(0,80 + 0,10 \cdot \frac{0,80}{0,90}) + (0,50 + 0,30 \cdot \frac{0,50}{0,80}) + (0,50 + 0,30 \cdot \frac{0,50}{0,80}) + (0,50 + 0,30 \cdot \frac{0,50}{0,80})} = 0,301$$

$$\lambda_{Ex2} = \lambda_{Ex3} = \lambda_{Ex4} = \frac{(0,50 + 0,30 \cdot \frac{0,50}{0,80})}{(0,80 + 0,10 \cdot \frac{0,80}{0,90}) + (0,50 + 0,30 \cdot \frac{0,50}{0,80}) + (0,50 + 0,30 \cdot \frac{0,50}{0,80}) + (0,50 + 0,30 \cdot \frac{0,50}{0,80})} = 0,233$$

Table 3. Weight values of the DM's

	Ex1	Ex2	Ex3	Ex4
Linguistic terms	VI	I	I	I
Weight value	0,301	0,233	0,233	0,233

Step 2: Create an aggregated IF DMX based on DM's options. The combined DMX is created by combining the DMs' evaluations of the various options.

Table 4. Linguistic terms (LT) and IF numbers

LT	IF numbers
VG (Very good)	0,75-0,10-0,15
G (Good)	0,60-0,25-0,15
M (Medium)	0,50-0,50-0,00
B (Bad)	0,25-0,60-0,15
VB (Very bad)	0,10-0,75-0,15

Four DM's use the linguistic concepts in Table 4 to evaluate alternatives according to the criteria. Table 5 shows the results of each DM's evaluation of alternatives based on the criteria.

Table 5. Evaluation of DM's

AA	Criteria	Ex1	Ex2	Ex3	Ex4	DA	Criteria	Ex1	Ex2	Ex3	Ex4
	C1	VG	VG	G	VG		C1	VG	VG	VG	VG
C2	VG	VG	VG	VG	C2	VG	VG	G	VG		
C3	G	G	G	VG	C3	VG	M	M	VG		
C4	G	M	M	VG	C4	B	VG	G	M		
C5	G	M	G	G	C5	G	M	VG	B		
C6	M	VG	VG	M	C6	M	VG	G	M		
C7	G	G	M	VG	C7	G	VG	B	G		

	C8	M	M	G	M		C8	M	G	G	M
	C9	M	G	M	VG		C9	VB	M	M	VG
	C10	G	VG	G	G		C10	M	B	M	G
	C11	G	G	M	VG		C11	G	M	VG	VG
	C12	VG	G	VG	VG		C12	VG	G	G	VG
	C13	G	M	M	VG		C13	G	M	G	VG
	C14	M	G	M	VG		C14	M	G	M	VG
	C15	M	M	G	VG		C15	M	M	VG	VG
	C16	VG	B	G	VG		C16	M	G	M	VG
	C17	G	G	VG	G		C17	G	M	VG	M
SA	Criteria	Ex1	Ex2	Ex3	Ex4	UA	Criteria	Ex1	Ex2	Ex3	Ex4
	C1	VG	G	VG	VG		C1	VG	VG	VG	VG
	C2	VG	VG	M	VG		C2	VG	VG	M	VG
	C3	VG	M	B	VG		C3	M	M	M	VG
	C4	VG	VG	G	B		C4	M	VG	G	G
	C5	M	G	M	M		C5	M	G	VG	VG
	C6	VG	VG	VG	VG		C6	M	G	B	M
	C7	VG	G	M	M		C7	M	VG	G	M
	C8	G	B	VG	B		C8	B	G	M	B
	C9	VG	VB	VG	VG		C9	M	VB	M	B
	C10	M	B	G	B		C10	G	VB	G	M
	C11	G	G	M	VG		C11	G	G	G	VG
	C12	VG	G	VG	VG		C12	VG	G	VG	VG
	C13	M	G	B	VG		C13	G	M	VG	VG
	C14	M	G	G	VG		C14	G	G	G	VG
	C15	G	M	G	VG		C15	G	M	M	VG
	C16	VG	B	VG	VG		C16	VG	G	VG	VG
	C17	G	M	M	B		C17	G	G	G	M
RA	Criteria	Ex1	Ex2	Ex3	Ex4	CSA	Criteria	Ex1	Ex2	Ex3	Ex4
	C1	VG	VB	VG	VG		C1	VG	G	VG	VG
	C2	VG	VG	VG	VG		C2	VG	VG	G	VG
	C3	VG	G	G	VG		C3	VG	G	M	VG
	C4	VG	VG	M	M		C4	G	VG	G	G
	C5	G	G	G	B		C5	M	M	G	G
	C6	VG	VG	M	VG		C6	VG	G	VG	G
	C7	VG	G	VG	VG		C7	G	G	B	M
	C8	VG	G	G	VG		C8	B	B	M	B
	C9	VG	G	M	G		C9	M	G	B	G
	C10	G	M	G	G		C10	M	M	G	M
	C11	G	G	B	VG		C11	G	B	VG	VG
	C12	VG	G	VG	VG		C12	G	VB	M	VG

	C13	VG	B	G	VG		C13	M	B	VG	VG
	C14	VG	G	M	VG		C14	M	G	G	VG
	C15	G	G	VG	VG		C15	G	M	G	VG
	C16	VG	B	G	VG		C16	VB	B	G	VG
	C17	G	G	VG	VG		C17	M	M	M	M
CEA	Criteria	Ex1	Ex2	Ex3	Ex4	EJ	Criteria	Ex1	Ex2	Ex3	Ex4
	C1	VG	G	G	VG		C1	VG	G	M	VG
	C2	VG	VG	M	VG		C2	VG	VG	G	VG
	C3	G	M	G	VG		C3	G	M	G	VG
	C4	M	G	VG	VG		C4	G	VG	VG	VG
	C5	M	M	VG	G		C5	G	M	G	G
	C6	M	G	M	M		C6	VG	G	G	M
	C7	G	G	VG	B		C7	G	VG	M	G
	C8	B	B	G	B		C8	B	G	G	VG
	C9	M	B	B	M		C9	M	G	G	G
	C10	M	M	M	G		C10	G	VB	VG	G
	C11	G	B	VG	VG		C11	G	G	M	VG
	C12	G	VB	G	VG		C12	VG	G	VG	VG
	C13	M	G	M	VG		C13	M	B	B	VG
	C14	M	B	G	VG		C14	M	B	G	VG
	C15	G	M	M	G		C15	G	M	VG	VG
	C16	G	M	VG	VG		C16	VG	G	M	VG
C17	M	M	G	M	C17	G	G	VG	G		
TA	Criteria	Ex1	Ex2	Ex3	Ex4	AC	Criteria	Ex1	Ex2	Ex3	Ex4
	C1	VG	VG	VG	VG		C1	VG	G	M	VG
	C2	VG	VG	VG	VG		C2	VG	VG	G	VG
	C3	VG	M	VG	G		C3	G	G	M	VG
	C4	G	VG	G	G		C4	G	G	VG	B
	C5	G	G	VG	G		C5	M	G	B	B
	C6	VG	G	M	M		C6	VG	G	G	M
	C7	G	VG	VG	VG		C7	G	VG	M	M
	C8	VG	G	VG	VG		C8	VG	B	M	B
	C9	VG	M	M	G		C9	G	M	B	B
	C10	G	G	M	G		C10	G	VB	VG	M
	C11	G	G	VG	M		C11	G	B	G	VG
	C12	VG	G	M	G		C12	VG	VB	B	M
	C13	G	M	G	G		C13	G	B	M	VG
	C14	M	VG	G	M		C14	M	M	VG	VG
	C15	G	M	VG	VG		C15	G	G	B	VG
	C16	M	B	B	M		C16	M	M	G	VG
C17	G	G	VG	G	C17	G	G	M	B		

The opinions of all DMs should be merged into group thinking without any loss of information during the group DMP. The unified DMX is obtained using the IFWA operator. The information provided by the four decision makers is combined with the IFWA operator to create the unified DMX. Table 6 shows the combined DMX.

Table 6. The combined DMX

	C1			C2			C3		
AA	(0,729	0,124	0,147)	(0,757	0,100	0,144)	(0,642	0,202	0,156)
DA	(0,757	0,100	0,144)	(0,729	0,124	0,147)	(0,785	0,211	0,004)
SA	(0,729	0,124	0,147)	(0,715	0,145	0,140)	(0,631	0,221	0,148)
UA	(0,757	0,100	0,144)	(0,715	0,145	0,140)	(0,575	0,344	0,081)
RA	(0,757	0,100	0,144)	(0,757	0,100	0,144)	(0,698	0,153	0,149)
CSA	(0,729	0,124	0,147)	(0,729	0,124	0,147)	(0,681	0,180	0,139)
CEA	(0,698	0,153	0,149)	(0,715	0,145	0,140)	(0,623	0,231	0,146)
EJ	(0,681	0,180	0,139)	(0,729	0,124	0,147)	(0,623	0,231	0,146)
TA	(0,757	0,100	0,144)	(0,757	0,100	0,144)	(0,681	0,180	0,139)
AC	(0,681	0,180	0,139)	(0,729	0,124	0,147)	(0,623	0,231	0,146)
	C4			C5			C6		
AA	(0,533	0,057	0,410)	(0,579	0,285	0,136)	(0,638	0,236	0,126)
DA	(0,544	0,329	0,127)	(0,563	0,283	0,154)	(0,596	0,292	0,112)
SA	(0,650	0,188	0,162)	(0,525	0,425	0,100)	(0,757	0,099	0,144)
UA	(0,617	0,249	0,134)	(0,657	0,201	0,142)	(0,479	0,444	0,077)
RA	(0,664	0,211	0,125)	(0,537	0,298	0,165)	(0,715	0,145	0,140)
CSA	(0,642	0,202	0,156)	(0,549	0,362	0,089)	(0,698	0,153	0,149)
CEA	(0,657	0,201	0,142)	(0,596	0,292	0,112)	(0,525	0,425	0,100)
EJ	(0,712	0,128	0,160)	(0,579	0,285	0,136)	(0,644	0,223	0,133)
TA	(0,642	0,202	0,156)	(0,642	0,202	0,156)	(0,626	0,262	0,112)
AC	(0,585	0,224	0,191)	(0,427	0,463	0,110)	(0,644	0,223	0,133)
	C7			C8			C9		
AA	(0,623	0,231	0,146)	(0,525	0,425	0,100)	(0,596	0,292	0,112)
DA	(0,585	0,224	0,191)	(0,549	0,362	0,089)	(0,492	0,388	0,120)
SA	(0,626	0,262	0,112)	(0,520	0,295	0,185)	(0,673	0,160	0,167)
UA	(0,596	0,292	0,112)	(0,411	0,499	0,090)	(0,371	0,573	0,056)
RA	(0,729	0,124	0,147)	(0,698	0,153	0,149)	0,644	0,223	0,133)
CSA	(0,513	0,350	0,137)	(0,318	0,612	0,070)	(0,505	0,377	0,118)
CEA	(0,585	0,224	0,191)	(0,352	0,521	0,127)	(0,397	0,544	0,059)
EJ	(0,623	0,231	0,146)	(0,567	0,312	0,121)	(0,460	0,308	0,241)
TA	(0,712	0,128	0,160)	(0,729	0,124	0,147)	(0,626	0,262	0,112)
AC	(0,533	0,057	0,410)	(0,524	0,335	0,141)	(0,436	0,429	0,135)
	C10			C11			C12		
AA	(0,518	0,314	0,168)	(0,623	0,231	0,146)	(0,729	0,124	0,147)
DA	(0,479	0,444	0,077)	(0,662	0,186	0,152)	(0,698	0,153	0,149)
SA	(0,427	0,463	0,110)	(0,623	0,231	0,146)	(0,729	0,124	0,147)
UA	(0,492	0,369	0,139)	(0,642	0,202	0,156)	(0,729	0,124	0,147)
RA	(0,579	0,285	0,136)	(0,585	0,224	0,191)	(0,729	0,124	0,140)
CSA	(0,525	0,425	0,100)	(0,629	0,194	0,177)	(0,545	0,298	0,247)
CEA	(0,525	0,425	0,100)	(0,629	0,194	0,177)	(0,568	0,253	0,179)

EJ	(0,568	0,253	0,179)	(0,623	0,231	0,146)	(0,729	0,124	0,147)
TA	(0,579	0,285	0,136)	(0,623	0,231	0,146)	(0,644	0,223	0,133)
AC	(0,545	0,298	0,157)	(0,585	0,224	0,191)	(0,504	0,352	0,144)
<hr/>									
	C13			C14			C15		
AA	(0,533	0,057	0,410)	(0,596	0,292	0,112)	(0,596	0,292	0,112)
DA	(0,623	0,231	0,146)	(0,596	0,292	0,112)	(0,638	0,236	0,126)
SA	(0,557	0,305	0,138)	(0,617	0,249	0,134)	(0,623	0,231	0,146)
UA	(0,662	0,186	0,152)	(0,642	0,202	0,156)	(0,538	0,057	0,410)
RA	(0,650	0,188	0,162)	(0,681	0,180	0,139)	(0,679	0,159	0,162)
CSA	(0,603	0,246	0,151)	(0,617	0,249	0,134)	(0,623	0,231	0,146)
CEA	(0,596	0,292	0,112)	(0,557	0,305	0,138)	(0,556	0,336	0,108)
EJ	(0,487	0,374	0,139)	(0,487	0,374	0,139)	(0,662	0,186	0,152)
TA	(0,579	0,285	0,136)	(0,596	0,292	0,112)	(0,662	0,186	0,152)
AC	(0,563	0,283	0,154)	(0,638	0,236	0,126)	(0,585	0,224	0,191)
<hr/>									
	C16			C17					
AA	(0,650	0,188	0,162)	(0,642	0,202	0,156)			
DA	(0,596	0,292	0,112)	(0,533	0,057	0,410)			
SA	(0,686	0,152	0,162)	(0,487	0,412	0,101)			
UA	(0,729	0,124	0,147)	(0,579	0,285	0,136)			
RA	(0,650	0,188	0,162)	(0,679	0,159	0,162)			
CSA	(0,470	0,345	0,185)	(0,500	0,500	0,000)			
CEA	(0,662	0,186	0,152)	(0,525	0,425	0,100)			
EJ	(0,681	0,180	0,139)	(0,642	0,202	0,156)			
TA	(0,397	0,544	0,059)	(0,642	0,202	0,156)			
AC	(0,596	0,292	0,112)	(0,513	0,350	0,137)			

Step 3: Determine the criteria's weights. The weights of each criterion are not equal in the choice issue. The significance of the criteria varies depending on the decision maker. As a result, each decision maker's IF values for the criteria should be pooled. Table 7 lists the linguistic phrases used by decision makers to assess the value of the criteria.

Table 7. LT and IF numbers

Linguistic Terms	IF numbers
VI (Very Important)	0,75-0,10-0,15
I (Important)	0,60-0,25-0,15
M (Medium)	0,50-0,50-0,00
U (Unimportant)	0,25-0,60-0,15
VU (Very Unimportant)	0,10-0,75-0,15

Table 8 shows the importance levels assigned to the criterion by each DM. In Table 7 linguistic words have been converted to IF numbers.

Table 8. Evaluations of the DMs for the criteria

Criteria	Ex1	Ex2	Ex3	Ex4
C1	VI	VI	VI	VI
C2	VI	VI	I	VI

C3	I	U	I	I
C4	I	VI	VI	VI
C5	I	VU	VI	I
C6	VI	U	VI	VI
C7	M	I	VI	VI
C8	I	I	I	I
C9	I	I	I	VI
C10	I	VU	I	I
C11	I	VU	I	I
C12	I	U	VI	VI
C13	VI	I	I	VI
C14	VI	VI	VI	VI
C15	I	I	VI	VI
C16	I	U	U	VI
C17	I	I	VI	VI

The IFWA operator and Equation 3 calculations are used to derive the weight values of the criteria. Table 9 shows the results achieved.

Table 9. The obtained weight values

W	Obtained weight values		
W1	(0,900	0,100	0,000)
W2	(0,876	0,117	0,007)
W3	(0,688	0,258	0,054)
W4	(0,868	0,123	0,009)
W5	(0,728	0,242	0,030)
W6	(0,846	0,152	0,002)
W7	(0,764	0,223	0,013)
W8	(0,575	0,373	0,052)
W9	(0,763	0,206	0,031)
W10	(0,585	0,364	0,051)
W11	(0,604	0,343	0,053)
W12	(0,749	0,239	0,012)
W13	(0,847	0,138	0,015)
W14	(0,900	0,100	0,000)
W15	(0,813	0,175	0,012)
W16	(0,689	0,281	0,030)
W17	(0,837	0,145	0,018)

Step 4: Create the combined weighted DMX. Equations 4 and 5 are used to produce a weighted combined DMX after the weights of the criterion and the combined DMX have been created. Table 10 shows the weighted combined DMX that was obtained.

Table 10. Weighted combined DMX

	C1	C2	C3
AA	(0,656 0,212 0,132)	(0,663 0,205 0,132)	(0,442 0,408 0,150)
DA	(0,681 0,190 0,129)	(0,639 0,226 0,135)	(0,540 0,415 0,045)
SA	(0,656 0,212 0,132)	(0,626 0,245 0,129)	(0,434 0,422 0,144)
UA	(0,681 0,190 0,129)	(0,626 0,245 0,129)	(0,396 0,513 0,091)
RA	(0,681 0,190 0,129)	(0,663 0,205 0,132)	(0,480 0,372 0,148)

CSA	(0,656	0,212	0,132)	(0,639	0,226	0,135)	(0,469	0,392	0,140)
CEA	(0,628	0,238	0,134)	(0,626	0,245	0,129)	(0,429	0,429	0,142)
EJ	(0,613	0,262	0,125)	(0,639	0,226	0,135)	(0,429	0,429	0,142)
TA	(0,681	0,190	0,129)	(0,663	0,205	0,132)	(0,469	0,392	0,140)
AC	(0,613	0,262	0,125)	(0,639	0,226	0,135)	(0,429	0,429	0,142)
	C4			C5			C6		
AA	(0,463	0,173	0,364)	(0,422	0,458	0,120)	(0,540	0,352	0,108)
DA	(0,472	0,412	0,116)	(0,410	0,457	0,134)	(0,504	0,400	0,096)
SA	(0,564	0,288	0,148)	(0,382	0,564	0,054)	(0,640	0,236	0,124)
UA	(0,536	0,341	0,123)	(0,478	0,394	0,127)	(0,405	0,529	0,066)
RA	(0,576	0,308	0,116)	(0,391	0,468	0,141)	(0,605	0,275	0,120)
CSA	(0,557	0,300	0,143)	(0,400	0,516	0,084)	(0,591	0,282	0,128)
CEA	(0,570	0,299	0,130)	(0,434	0,463	0,103)	(0,444	0,512	0,043)
EJ	(0,618	0,235	0,147)	(0,422	0,458	0,120)	(0,545	0,341	0,114)
TA	(0,557	0,300	0,143)	(0,467	0,395	0,138)	(0,530	0,374	0,096)
AC	(0,508	0,319	0,173)	(0,311	0,593	0,096)	(0,545	0,341	0,114)
	C7			C8			C9		
AA	(0,476	0,402	0,122)	(0,302	0,639	0,059)	(0,455	0,438	0,107)
DA	(0,447	0,397	0,156)	(0,316	0,600	0,084)	(0,375	0,514	0,111)
SA	(0,478	0,427	0,095)	(0,299	0,558	0,143)	(0,513	0,333	0,153)
UA	(0,455	0,450	0,095)	(0,236	0,686	0,078)	(0,283	0,661	0,056)
RA	(0,557	0,319	0,124)	(0,401	0,469	0,130)	(0,491	0,383	0,126)
CSA	(0,392	0,495	0,113)	(0,183	0,757	0,060)	(0,385	0,505	0,109)
CEA	(0,447	0,397	0,156)	(0,202	0,700	0,098)	(0,303	0,638	0,059)
EJ	(0,476	0,402	0,122)	(0,326	0,569	0,105)	(0,351	0,451	0,198)
TA	(0,544	0,322	0,134)	(0,419	0,451	0,130)	(0,478	0,414	0,108)
AC	(0,407	0,267	0,325)	(0,301	0,583	0,116)	(0,333	0,547	0,121)
	C10			C11			C12		
AA	(0,303	0,564	0,133)	(0,376	0,495	0,129)	(0,546	0,333	0,121)
DA	(0,280	0,646	0,073)	(0,400	0,465	0,135)	(0,523	0,355	0,122)
SA	(0,250	0,658	0,092)	(0,376	0,495	0,129)	(0,546	0,333	0,121)
UA	(0,288	0,599	0,113)	(0,388	0,476	0,137)	(0,546	0,333	0,121)
RA	(0,339	0,545	0,116)	(0,353	0,490	0,156)	(0,546	0,333	0,121)
CSA	(0,307	0,634	0,059)	(0,380	0,470	0,150)	(0,408	0,466	0,126)
CEA	(0,307	0,634	0,059)	(0,380	0,470	0,150)	(0,425	0,432	0,143)
EJ	(0,332	0,525	0,143)	(0,376	0,495	0,129)	(0,546	0,333	0,121)
TA	(0,339	0,545	0,116)	(0,376	0,495	0,129)	(0,482	0,409	0,109)
AC	(0,319	0,554	0,128)	(0,353	0,490	0,156)	(0,377	0,507	0,116)
	C13			C14			C15		
AA	(0,451	0,187	0,361)	(0,536	0,363	0,101)	(0,485	0,416	0,100)
DA	(0,528	0,337	0,135)	(0,536	0,363	0,101)	(0,519	0,370	0,112)
SA	(0,472	0,401	0,127)	(0,555	0,324	0,121)	(0,506	0,366	0,128)
UA	(0,561	0,298	0,141)	(0,578	0,282	0,140)	(0,437	0,222	0,341)
RA	(0,551	0,300	0,149)	(0,613	0,262	0,125)	(0,552	0,306	0,142)
CSA	(0,511	0,350	0,139)	(0,555	0,324	0,121)	(0,506	0,366	0,128)
CEA	(0,505	0,390	0,105)	(0,501	0,375	0,124)	(0,452	0,452	0,096)

EJ	(0,412	0,460	0,127)	(0,438	0,437	0,125)	(0,538	0,328	0,133)
TA	(0,490	0,384	0,126)	(0,536	0,363	0,101)	(0,538	0,328	0,133)
AC	(0,477	0,382	0,141)	(0,574	0,312	0,113)	(0,476	0,360	0,165)
<hr/>									
	C16			C17					
AA	(0,448	0,416	0,136)	(0,537	0,318	0,145)			
DA	(0,411	0,491	0,098)	(0,446	0,194	0,360)			
SA	(0,473	0,390	0,137)	(0,408	0,497	0,095)			
UA	(0,502	0,370	0,128)	(0,485	0,389	0,127)			
RA	(0,448	0,416	0,136)	(0,568	0,281	0,151)			
CSA	(0,324	0,529	0,147)	(0,419	0,573	0,009)			
CEA	(0,456	0,415	0,129)	(0,439	0,508	0,052)			
EJ	(0,469	0,410	0,120)	(0,537	0,318	0,145)			
TA	(0,274	0,672	0,054)	(0,537	0,318	0,145)			
AC	(0,411	0,491	0,098)	(0,429	0,444	0,126)			

Step 5. Determine the IF PIS and the IF NIS.

All criteria addressed in the problem are utility criteria. IF PIS value A* and IF NIS value A- for each alternative are calculated using Equation 6. These values are given in Table 11.

Table 11. IF PIS and IF NIS values

A*			A-		
(0,681	0,190	0,129)	(0,613	0,262	0,125)
(0,663	0,205	0,132)	(0,626	0,245	0,129)
(0,540	0,415	0,045)	(0,396	0,513	0,091)
(0,618	0,235	0,147)	(0,463	0,173	0,364)
(0,478	0,394	0,127)	(0,311	0,593	0,096)
(0,640	0,236	0,124)	(0,405	0,529	0,066)
(0,557	0,319	0,124)	(0,392	0,495	0,113)
(0,419	0,451	0,130)	(0,183	0,757	0,060)
(0,513	0,333	0,153)	(0,283	0,661	0,056)
(0,339	0,545	0,116)	(0,250	0,658	0,092)
(0,400	0,465	0,135)	(0,353	0,490	0,156)
(0,546	0,333	0,121)	(0,377	0,507	0,116)
(0,561	0,298	0,141)	(0,412	0,460	0,127)
(0,613	0,262	0,125)	(0,438	0,437	0,125)
(0,552	0,306	0,142)	(0,437	0,222	0,341)
(0,502	0,370	0,128)	(0,274	0,672	0,054)
(0,568	0,281	0,151)	(0,408	0,497	0,095)

Step 6: Determine the positive and negative separation measures.

Table 12 shows the separation measures between IF PIS and IF NIS for each choice.

Step 7. Determining the values of the closeness coefficients for each alternative

The proximity coefficient values of the alternatives are determined and provided in Table 12 using the IF PIS and IF NIS.

Step 8: Choosing the best option

In the final step, the alternatives are ranked based on their proximity coefficient values. Raynair is the first option on the list. Delta Air Lines is ranked second. Turkish Airlines is ranked third. Southwest Airlines is ranked fourth. EasyJet is ranked fifth. American Airlines is ranked sixth. United Airlines is ranked seventh. Air

China is ranked eight and China Southern Airlines is ranked ninth. China Eastern Airlines is ranked tenth. Raynair's website with the highest proximity coefficient is chosen as the best, while China Eastern Airlines' website with the lowest proximity coefficient is chosen as the worst of the alternatives.

Table 12. Closeness and proximity coefficients of alternatives

	Si*	Si-	Ci
AA	1,492	2,285	0,605
DA	0,531	2,313	0,813
SA	1,235	2,207	0,641
UA	1,684	1,641	0,494
RA	0,481	2,915	0,858
CSA	1,925	1,698	0,469
CEA	2,131	1,548	0,421
EJ	1,233	2,117	0,632
TA	1,055	2,341	0,689
AC	1,904	1,727	0,476

Comparative Analysis

The proposed strategy for rating airline websites has been subjected to a comparative study. The IF-EDAS and IF-WASPAS methods are used to solve the decision problem again and the ranking results are shown in Table 13. The algorithms used by the IF-EDAS and IF-WASPAS approaches are different. As a result, different techniques treat the same data in different ways. The best alternative in the EDAS approach is determined by the distance from the mean solution, whereas the best alternative in the WASPAS technique is determined by the weighted sum model and the weighted product model (Ecer, F.,2020). As shown in Table 13, there is no significant difference between the suggested approach and the compared methods in terms of the best alternative. In all three methods while Raynair is the best alternative, China Eastern Airlines has the lowest score.

Table 13. Comparative Analysis

	AA	DA	SA	UA	RA	CSA	CEA	EJ	TA	AC
Suggested Method	6	2	4	7	1	9	10	5	3	8
IF-EDAS	3	6	4	7	1	8	10	5	2	9
IF-WASPAS	2	6	4	7	1	9	10	5	3	8

5. Discussion and conclusions

The importance of the concept of e-commerce, which has become an indispensable part of today's society due to the rapid development of information technology, was confirmed once again during the Covid-19 pandemic period. In the context of e-commerce, the value of websites that provide customer interactions has also increased. Researchers are interested in determining website quality criteria and measuring website quality based on these criteria.

Website quality evaluation is a process that requires decision makers to consider multiple criteria simultaneously. As a result, the problem of evaluating airline websites is classified as a multi-criteria group decision problem. Decision makers seek to select the best alternative from a set of alternatives based on their decision situations. However, in some circumstances, none of the options can meet all of the established criteria at the highest level. On the basis of the stated needs and criteria, it is important to be able to generate the closest ideal solution to this selection problem. The TOPSIS method is a decision-making method that takes into account both the positive and negative solutions in order to determine the best alternative based on criteria for this and similar selection and ranking problems. IF sets are one of the methods that take linguistic evaluations of

experts in the field into account, particularly when there is no solid basis or numerical data to evaluate the results of alternatives (Onat at.,2016). The IF-TOPSIS method is the approach in the TOPSIS method that uses IF numbers to perform analyses. The method is based on evaluating alternatives and criteria using IF numbers rather than exact numbers to overcome uncertainty, particularly in decision environments where uncertainty prevails (Yildirim, 2019). It is preferred in this study due to these benefits.

This study proposes an applicable model for measuring the quality performance of airline company websites. The proposed model evaluates the quality performance of the websites of the world's 10 biggest airline companies using six main criteria and seventeen sub-criteria. While the most important criteria for the quality of airline company websites are "confidentiality/security" and "information quality," the most important sub-criteria are "security" and "information accuracy." "Interactivity" is the criterion with the lowest level of significance. The weights of each alternative and criterion are given in linguistic terms and expressed in IF numbers during the evaluation process. In addition, the IFWA operator is used to gather opinions from decision-makers. The closeness coefficient values of the alternatives are obtained after calculating the IF positive and IF negative ideal solutions based on the hamming distance and it is concluded that the airline company with the highest website quality is "Raynair."

The IF set-based TOPSIS method is used in this study to present a solution to the airline website evaluation problem that takes into account multiple experts, numerous criteria and alternatives. Its goal is to develop a research framework to aid in determining and prioritizing airline website evaluation criteria, as well as selecting the best site among alternatives in an IF environment. Secondary objectives include solving the same problem using the IF-EDAS and IF-WASPAS methods and comparing the results to test the robustness of the proposed approach. Airlines looking to create higher-quality websites can use this research as a model. It is hoped that it will contribute to the literature and provide researchers with a theoretical understanding of the problem of website evaluation. Furthermore, no study has been found in the literature that uses IF set-based MCDM methods to evaluate airline website quality. In this context, the approach can be considered to be original.

This research evaluates the website quality of the world's 10 biggest airline companies based on fleet size and seat capacity. To evaluate airline company websites, 17 sub-criteria are developed based on various studies in the literature. These are the limitations of the study.

Changes in the criteria used in the analysis, as well as their significance will cause the ranking results to change. In this perspective, future research can evaluate airline company websites using a different variety of criteria. More criteria in the assessment can be added to the analysis to expand it. The study can be repeated with a longitudinal research perspective over numerous years and the development process of airline companies can be evaluated in terms of website quality. Various fuzzy or intuitionistic fuzzy MCDM approaches may be tried in the following studies. The obtained ranking results can be compared to the current study's findings. Correlation levels between ranking results can be investigated and combined ranking results can be generated.

Contribution of Researchers

Conceptualization: EÇ,FZ
Methodology: EÇ,FZ
Validation: EÇ,FZ
Investigation: EÇ,FZ
Resources: EÇ,FZ
Data Curation: EÇ,FZ
Writing - Original Draft: EÇ,FZ
Writing - Review & Editing: EÇ,FZ
Visualization: EÇ,FZ
Supervision: EÇ,FZ
Project administration: EÇ,FZ

EÇ: Eda Çınaroğlu
FZ: Fulya Zaralı

Conflicts of Interest

The authors declared that there is no conflict of interest.

References

- Akincilar, A., & Dagdeviren, M.(2014). A hybrid multi-criteria decision making model to evaluate hotel websites. *International Journal of Hospitality Management*, 36, 263-271. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2013.10.002>
- Alwahaishi, S., Snašel, V., & Nehari-Talet, A. (2009). Website evaluation an empirical study of arabian gulf airlines. *International Journal of Information*, 1(3), 212-222. Erişim adresi: https://scholar.google.com/scholar?q=Website+evaluation+an+empirical+study+of+arabian+gulf+airlines&as_occt=title&hl=en&as_sdt=0%2C31
- Apostolou, G., & Economides, A. A. (2008). Airlines websites evaluation around the world. *World Summit on Knowledge Society*, 611-617. Erişim adresi:https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-87783-7_78
- Atanassov, K. (1986). Intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems*. 20(1), 87-96. doi:[https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(86\)80034-3](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(86)80034-3)
- Bilsel, R. U., Büyüközkan, G., & Ruan, D. (2006). A fuzzy preference-ranking model for a quality evaluation of hospital web sites. *International journal of intelligent systems*, 21(11), 1181-1197. doi:<https://doi.org/10.1002/int.20177>
- Boran, E., Genc, S., Kurt M., & Akay D. (2009). A multi-criteria intuitionistic Fuzzy group decision making for supplier selection with TOPSIS method. *Expert Systems with Applications*, 36, 11363-11368. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.03.039>
- Buyukozkan, G., Goç, F., & Feyzioglu, O. (2018). Healthcare Website Evaluation Using Intuitionistic Fuzzy Choquet Approach. *J. of Mult.-Valued Logic & Soft Computing*, 30,215–237. doi:<https://doi.org/10.1007/s00500-018-3563-5>
- Buyukozkan, G., & Guleryuz, S.(2016).Multi criteria evaluation of logistics firms' web site performance. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31(4), 889-902. doi:<https://doi.org/10.17341/gazimmfd.278444>.
- Chakraborty, D., Jaiswal, S. K., Misra, A., & Nanavati, A. A. (2005, July). Middleware architecture for evaluation and selection of 3rd party web services for service providers. In *IEEE International Conference on Web Services (ICWS'05)*. Washington DC: IEEE Computer Society, 647-654. Erişim adresi:<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1530857>
- Chong, S., & Law, R. (2019). Review of studies on airline website evaluation. *Journal of Travel & Tourism Marketing*, 36(1), 60-75. doi:<https://doi.org/10.1080/10548408.2018.1494084>
- Chou, C. W., & Chen, YP. (2012). A hybrid fuzzy MCDM approach for evaluating website quality of professional accounting firms. *Expert Systems with Applications*,39(3), 2783-2793. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.08.138>
- Dominic, P. D. D., & Jati, H. (2011). A comparison of Asian airlines websites quality: using a non-parametric test. *International Journal of Business Innovation and Research*, 5(5), 599-623. doi:<https://doi.org/10.1504/IJBIR.2011.042451>
- Dominic, P. D. D., & Khan, H. (2014). Performance measure of airline websites using analytical hierarchy process & fuzzy analytical hierarchy process. In *2014 IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering (ICCSCE 2014)*, 530-535. doi:[10.1109/ICCSCE.2014.7072775](https://doi.org/10.1109/ICCSCE.2014.7072775)
- Dundar, S., Fatih, E., & Ozdemir, S. (2007). Fuzzy Topsis Yontemi ile Sanal Magazaların Web Sitelerinin Degerlendirilmesi. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 21(1), 287-305. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/30143>
- Ecer, F. 2020.Çok Kriterli Karar Verme. Seçkin Yayınevi, Ankara.

- Gavcar, C. T., & Organ, A. (2020). Evaluation of Travel Agencies Who Sell Online With AHP-Gray Relative Analysis and AHP-WASPAS Methods. *Business & Management Studies: An International Journal*, 8(1), 731. doi: <http://dx.doi.org/10.15295/bmij.v8i1.1405>
- Gong, JW., Liu, HC., You, XY., & Yin, L.(2021). An integrated MCDM approach with linguistic hesitant fuzzy sets for E-learning website evaluation and selection. *Applied Soft Computing*, 102, 107-118. doi:<https://doi.org/10.1016/j.asoc.2021.107118>
- Harison, E., & Boonstra, A. (2008). Reaching new altitudes in e-commerce: assessing the performance of airline websites. *Journal of Air Transport Management*, 14(2), 92-98. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2008.02.002>
- Hidalgo, L., Cabrerizo, F.J., López Gijón, J., & Herrera-Viedma, E. (2007). Applying Fuzzy linguistic Tools to Evaluate the Quality of Airline Web Sites. In Proceedings of the II Congreso Español de Informática (CEDI 2007). *II Simposio sobre Lógica Fuzzy and Soft Computing (LFSC 2007)*, 113-119.
- Jati, H. (2009). Performance Evaluation on Quality of Asian Airlines Websites—an AHP Approach. In *Proceedings of the 4th International Conference on E-Commerce with Focus on Developing Countries*, 3-4.
- Kang, D., Jang, W., & Park, Y. (2016). Evaluation of e-commerce websites using fuzzy hierarchical TOPSIS based on ES-QUAL. *Applied Soft Computing*, 42, 53-65. doi:<https://doi.org/10.1016/j.asoc.2016.01.017>
- Lee, Y., & Kozar, K. A. (2006). Investigating the effect of website quality on e-business success: An analytic hierarchy process (AHP) approach. *Decision Support Systems*, 42(3), 1383-1401. doi:<https://doi.org/10.1016/j.dss.2005.11.005>
- Liang, D., Zhang, Y., Xu, Z., & Jamaldeen, A.(2019). Pythagorean fuzzy VIKOR approaches based on TODIM for evaluating internet banking website quality of Ghanaian banking industry. *Applied Soft Computing*, 78, 583-594. doi:<https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.03.006>
- Lin, H. (2010). An application of fuzzy AHP for evaluating course website quality. *Computers & Education*, 54(4), 877-888. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2009.09.017>
- Memari, A., Dargi, A., Jokar, M. R. A., Ahmad, R., & Rahim, A. R. A. (2019). Sustainable supplier selection: A multi-criteria intuitionistic fuzzy TOPSIS method. *Journal of Manufacturing Systems*, 50, 9-24. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.11.002>
- Onat, N. C., Gumus, S., Kucukvar, M., & Tatari, O. (2016). Application of the TOPSIS and intuitionistic fuzzy set approaches for ranking the life cycle sustainability performance of alternative vehicle technologies. *Sustainable Production and Consumption*, 6, 12-25. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.11.002>
- Ostovare, M., & Shahraki, MR. (2019). Evaluation of hotel websites using the multicriteria analysis of PROMETHEE and GAIA: Evidence from the five-star hotels of Mashhad. *Tourism Management Perspectives*, 30, 107-116. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tmp.2019.02.013>
- Ozbek, A. (2020). Assessment of the Quality of Websites with AHP-MULTIMOORA. *International Journal of Engineering Research and Development*, 12(2), 479-491. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1203098>
- Ozbek, A., & Engur, M. (2018). Evaluation of Logistics Company Websites by EDAS Method. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi*,21(2),417-429. Erişim adresi:<https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/582261>
- Rouyendegh B.R., Yıldızbası, A., & Ustunyer, P. (2020). Intuitionistic Fuzzy TOPSIS method for green supplier selection problem. *Soft Computing*, 24(3), 2215-2228. Erişim adresi:<https://link.springer.com/article/10.1007/s00500-019-04054-8>

- Shchiglik, C., & Barnes, S. J. (2004). Evaluating website quality in the airline industry. *Journal of Computer Information Systems*, 44(3), 17-25. doi: <https://doi.org/10.1080/08874417.2004.11647578>
- Tsai, W. H., Chou, W. C., & Leu, J. D. (2011). An effectiveness evaluation model for the web-based marketing of the airline industry. *Expert Systems with Applications*, 38(12), 15499-15516. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.06.009>
- Vatansever, K., & Akgul, Y. (2018). Performance evaluation of websites using entropy and grey relational analysis methods: The case of airline companies. *Decision Science Letters*, 7(2), 119-130. Erişim adresi: https://www.growingscience.com/dsl/Vol7/dsl_2017_24.pdf
- Xie, Z. C., & Barnes, S. J. (2008). Web site quality in the UK airline industry: A longitudinal examination. *Journal of Computer Information Systems*, 49(2), 50-57. Erişim adresi: <https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.1080/08874417.2009.11646048?needAccess=true&role=button>
- Xu, Z. (2007). Intuitionistic fuzzy aggregation operators. *Fuzzy Systems*, IEEE Transactions on, 15, 1179-1187. doi: [10.1109/TFUZZ.2006.890678](https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2006.890678)
- Yalcin, N., & Yagli, B. (2020). Multi Criteria Analysis of website quality assessment based on ISO 25010 quality model of technology stores: The case of Turkey. *International Journal of Economic and Administrative Studies*, 57-76. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/976580>
- Yildirim, B. F. (2019). Evaluation of Credit Card Platforms Using Intuitionistic Fuzzy TOPSIS Method. *Journal of BRSA Banking and Financial Markets*, 13(1), 37-58. Erişim adresi: https://www.bddk.org.tr/Content/docs/bddkDergiEn/dergi_0025_04.pdf
- Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338-353. doi: [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

Personel atama problemi: Bir kamu kurumu uygulaması

Cemil Şimşek^{1*}, Berna Dengiz², Esra Karasakal³, Yusuf Tansel İç⁴

¹Türkiye Cumhuriyeti İçişleri Bakanlığı, Ankara, Türkiye

e-mail: cemil.cd@gmail.com, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-4592-005X>

²Endüstri Mühendisliği Bölümü, Başkent Üniversitesi, Ankara, Türkiye

e-mail: bdengiz@baskent.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-2806-3308>

³Endüstri Mühendisliği Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye

e-mail: koktener@metu.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0003-4095-1858>

⁴Endüstri Mühendisliği Bölümü, Başkent Üniversitesi, Ankara, Türkiye

e-mail: yustanic@baskent.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0001-9274-7467>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Özet

Makale Geçmişi:

Geliş: 09.06.2022

Revize: 27.07.2022

Kabul: 23.08.2022

Anahtar Kelimeler

Personel atama problemi, yıllık ortalama personel hizmet puanı, personel atama problemlerinde rotasyon

Personel atama problemi genel olarak m tane personelin n adet görev eşleştirilmesi olarak tanımlanabilir. Atama problemi 1950'li yıllardan günümüze kadar birçok alanda karşımıza çıkmaktadır. Atama maliyetleri, personel tercihleri, hizmet puanları, personel ve görev nitelikleri gibi kurumdan kuruma değişen atama kriterlerine göre personel atamaları yapılmaktadır. Bu çalışmada; Türkiye'de güvenlik hizmeti veren bir kamu kurumunun atama sistemini dikkate alan atama problemi tanımlanmıştır. Çalışma; sosyal gelişmişlik, mesafe, okul/egitim durumu vb. birçok sebeple personelce tercih edilmeyen görev kadrolarına hakkaniyetli bir şekilde personelin atanması için, yeni ve dengeli bir atama modelini hedeflemiştir. Küçük ve tercih edilmeyen yerleşim yerlerindeki görevlerde çalışan personelin gelişmiş ve çok tercih edilen yerleşim yerlerindeki görevlere, gelişmiş ve çok tercih edilen yerleşim yerlerindeki görevlerde çalışan personelin ise küçük ve tercih edilmeyen yerleşim yerlerindeki görevlere atanması için bölgeler arası rotasyonu sağlayan, bir atama modeli önerilmiştir. Literatürdeki çalışmalarda kullanılan "birikimli hizmet puanı" yerine "ortalama hizmet puanları" ile "görev yeri puanları" birlikte kullanılmıştır. Hizmet puanı ve görev puanlarında oluşan denge ile kritik olup tercih edilmeyen görevlere tecrübeli personelin atanması sağlanacaktır. Ayrıca bu model ile karar vericiye toplam atama maliyetinde ve personelin öncelikli tercihlerine atanması konusunda alternatif seçenekler sunulmaktadır. Önerilen matematiksel model ile kurumun atama problemi çözülmüş ve hesaplamalı analiz sonuçları sunulmuştur.

Personnel assignment problem: A public institution application

Article Info

Abstract

Article History:

Received: 09.06.2022

Revised: 27.07.2022

Accepted: 23.08.2022

Keywords:

Personnel assignment problem, annual average personnel service score, rotation in personnel assignment problems

Personnel assignment problems can be defined as matching personnel to positions. The assignment problem has been encountered in many areas since the 1950s. Personnel assignments are made according to assignment criteria that vary from institution to institution, such as assignment costs, personnel preferences, service scores, personnel, and job qualifications. In this study, the assignment problem, which takes into account the assignment system of a public institution providing security services in Turkey, is defined. The study aimed at a new and balanced assignment model to provide equitable assignments by taking into account preferability criteria such as; social development, distance from centers, vocational institutions, etc., of a settlement. An assignment model is proposed that provides inter-regional rotation for the assignment of personnel working in small and non-preferred settlements to positions. Also, highly preferred settlements and personnel working in posts are developed and highly preferred settlements to tasks in small and non-preferred settlements. In the model, instead of the "cumulative personnel service score" used in the literature, "average personnel service scores" and "settlements scores" are used together. Balancing service time and scores will be ensured that experienced personnel should be assigned to critical and non-preferred tasks. In addition, with this model, alternative options are offered to the decision-makers in terms of total assignment cost and assignment of personnel to their priority preferences. The assignment problem of the institution was solved with the proposed mathematical model. Finally, the results of the computational analysis were presented.

1. Giriş

Atama Problemi (AP), m tane işçinin n tane işe görevlendirilmesi şeklinde tanımlanabilir. Klasik atama problemi kaynak ve talep miktarının 1'e eşit olduğu ulaştırma problemlerinin özel halidir (Kara, 2010). Atama problemi 1950 yılında Thorndike tarafından personel çizelgelemenin bir alt bileşeni olarak sınıflandırılmış ve sonrasında Votaw ve Orden (1952) tarafından personel atama problemi adı altında incelenmesine rağmen, asıl olarak atama problemi için geliştirilen ve Kuhn (1955) tarafından ortaya konan Macar Algoritması metodu ile yaygın hale gelmiştir. Klasik atama problemlerinden çıkılarak geliştirilen, yaklaşık yetmiş yıllık süreçte farklı alanlarda, farklı atama problem türleri ortaya çıkmıştır. İlk yıllarda daha çok Kuhn (1955), Parikh ve Wets (1964) ve Land (1963) tarafından tek amaçlı problemler üzerine çalışmalar yapılmıştır. Ancak gerçek hayat problemleri birden fazla amaç gerektirdiği için Pierskalla (1968), Charnes, Cooper, Niehaus ve Stedry (1969), Gärdenfors (1973), Lee ve Schniederjans (1983), Lewis, Lewis ve White (2006), Toroslu ve Arslanoğlu (2009), Lin ve diğ. (2012), Boujaja ve Dridi, (2017) tarafından çok amaçlı ve farklı çözüm yöntemleri içeren çalışmalar yapılmıştır.

Pentico (2007) ve Öncan (2007) tarafından atama modellerinin sınıflandırılması yapılmıştır. İşçi niteliğine göre atama problemleri; işçi başına en fazla bir görev düşen atama modelleri, işçi başına birden fazla görev düşen atama modelleri ve çok düzeyli atama modelleri olmak üzere üç ana başlık altına toplanabilir (Pentico, 2007; Öncan, 2007). Her atanacak işçinin sadece bir göreve ve her göreve sadece bir işçinin atanacağı modellere klasik atama modelleri denir. n tane göreve atanacak m tane işçilerden bazı görevlere sadece nitelikli olanların atanabileceği atama modellerine nitelikli atama modelleri olarak tanımlayabiliriz. $k > m$ ve $k > n$ olmak üzere; n tane görevin sadece k kadar işçi ile yapılmasını sağlayan atama modelleri literatürde $k - dereceli$ atama problemi olarak geçmektedir. En büyük maliyeti en küçükleyen, en büyük zamanı en küçükleyen atama problemlerine dar boğazlı atama problemleri sınıfına girmektedir. Maksimum ve minimum atama değerleri veya maliyetleri arasındaki farklılığı en küçükleyen atama modellerine dengeli atama problemi denir. Genelleştirilmiş atama problemleri (GAP) ve çok kaynaklı genelleştirme problemleri ise bir işçiye birden fazla görev verilmesine imkân veren atama problemleri sınıfına girmektedir. Atama problemlerinin bu sınıflandırılmasına göre, bu çalışmada ele alınan problem GAP sınıfına girmektedir.

Birçok kurumda belirli periyotlarla, personelin bir kısmı atama veya yer değiştirme işlemine tabi tutulmaktadır. Atama kriterleri, görevin niteliğine göre kurumdan kuruma farklılık göstermekle beraber, personel atamaları; boş kadro durumu, kadro uyumu, hizmet puanı, tercih durumu ve atama maliyeti gibi kriterlere göre yapılmaktadır. Kamu kurumları tarafından yürütülen hizmetlerin sürekli olması, benzer görevlerin ülkenin tamamına yayılması, kamu çalışanlarının sözleşmeli, geçici işçi gibi statüler yerine daha çok kadrolu personel statülerinden oluşması nedeniyle personel arasında adaleti sağlamak üzere, her personele çalıştığı görev yerine göre bir hizmet puanı verilmektedir. Bu çalışmada, çalışma süresi ile orantılı olarak artan hizmet puanı "birikimli hizmet puanı" olarak tanımlanmıştır. Kurumlar, atama tercihi yapan personeli birikimli hizmet puanlarına göre ihtiyaç duyulan yerlere atamaktadır. Geriye kalan boş görev yerlerine ise yeni personel alınmaktadır. Birikimli hizmet puanı kullanımında, göreve yeni başlayan veya mesleğinin ilk yıllarında bulunan personelin hizmet puanı düşük olacağından yapılan atamalarda bu tür personel, çok tercih edilmeyen görev yerlerine atanmaktadır. Personel hizmet puanını arttırınca, daha büyük ve çok tercih edilen yerlere atanma şansı bulmaktadır. Küçük ve tercih edilmeyen görev yerlerinde, ikamet eden vatandaş sayısı az olduğundan kamu görevlerinin bir kısmı yeni personel ile veya vekâleten yürütülmesinde büyük aksaklık yaşanmamakla birlikte vekâleten yapılan işlerde verim düşüklüğüne neden olmaktadır. Ancak küçük ve tercih edilmeyen bölgelerde yer almalarına rağmen, yapılmadığı zaman ülkeler için iç ve dış tehdit oluşturan görevlerin vekâleten veya tecrübesiz personel tarafından yürütülmesi risk teşkil etmektedir. Ülkelerin bekası için, kritik görevlerin yeteri kadar tecrübeli personel tarafından yürütülmesi gerekmektedir. Birikimli hizmet puanı ile yapılan atamalarda, küçük ve tercih edilmeyen kritik görevlere puanı düşük tecrübesiz personel atanacağından ülkenin bekasını koruyan bu tip görevlere genellikle elle yapılan işlemlere göre atama yapılmaktadır.

Kritik görev yerlerinde yeni personel ile birlikte tecrübeli personel çalıştırmaya imkân sağlamak amacıyla; İlkuçar, (2012)'in çalışması gibi literatürdeki çalışmalarda kullanılan birikimli hizmet puanı yerine bu çalışmada tasarlanan atama modelinde mevcut mevzuata uygun olarak ortalama hizmet puanı ve görev yeri puanları kullanılmıştır. Birikimli hizmet puanının görev süresine(yıl) bölünmesi ile ortalama hizmet puanları hesaplanmıştır. Birikimli hizmet puanı nedeniyle avantajlı durumda olan eski personel ile dezavantajlı olan yeni personelin görev puanları ortalama hizmet puanı ile dengelenmiştir. Ayrıca önerilen amaç fonksiyonunda ortalama hizmet puanının görev yeri puanı ile çarpımının en iyilenmesi ile çok tercih edilen görev yerlerinde çalışan personelin sonraki atamalarda az tercih edilen görev yerlerine, az tercih edilen görev yerlerinde çalışan personelin ise çok tercih edilen görev yerlerine ataması hedeflenmiştir. Personelin asgari beklentilerine cevap vererek, çalışma motivasyonunu arttırmak maksadıyla; İlkuçar, (2012) 'ın çalışması gibi birçok kurumun atama sisteminde kişisel atama tercihleri ön plandadır. Ancak bazı kritik görevlerin aksamadan yerine getirilebilmesi için, bazı durumlarda tercih edilmeyen görevlerde de personel çalıştırılması zorunluluğu bulunmaktadır. Bu durumda personelin kişisel tercihleri dikkate

alınsa da, kritik görevlerin boş kalmasını engelleyen, atama modellerine ihtiyaç duyulmaktadır. İhtiyaçların sınırsız ancak kaynakların kıt olduğu dünyamızda, özellikle kamu kaynaklarının etkili, ekonomik ve verimli kullanılmasını sağlamak amacıyla, kurumlar tarafından yapılan atama ve yer değiştirme işlemlerinde maliyetlerin dikkate alınmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada, birikimli hizmet puanı esas alınarak sadece tercih yapmış personelin atamasını yapan modeller yerine, ülkemizde bir kamu kurumunun personel atama problemine çözüm sağlamak amacıyla ortalama hizmet puanı ile görev yeri puanlarının en küçüklenmesi sağlanarak kritik kadro görevlerinde tecrübeli personelin çalışmasına imkân veren bir model önerilmektedir. Personel tercihlerini dikkate alan ancak ihtiyaç durumunda tercih dışı görevlere de atama yapan, toplam atama maliyetlerini dikkate alan bir atama modeli bu çalışmada geliştirilerek önerilmiştir. Ayrıca geliştirilen modelde rütbe ve kadro uyumunu sağlayan hiyerarşik durum, her göreve ait zorunlu çalışma süresi ile eski görev bölgelerine atamayı engelleyen rotasyon kısıtları kullanılarak, dengeli bir atama döngüsü amaçlanmıştır. Çalışmanın geri kalan kısmı şu şekilde düzenlenmiştir. İkinci bölümde personel atama problemleri ile ilgili literatürde yapılan çalışmalar özetlenmiştir. Üçüncü bölümde kurumun atama sistemi açıklanarak probleme özel matematiksel model önerilmiştir. Dördüncü bölümde ise geliştirilen personel atama modelinin çözümü ile elde edilen sonuçları tartışılmış, beşinci bölümde sonuç ve modelin kullanılması ile geliştirilmesine yönelik alanlardan bahsedilmiştir.

2. Literatür Araştırması

Bu bölümde, literatür kapsamında incelenen personel atama problemi çalışmaları hakkında özet bilgiler verilmiştir. Önceki bölümde de ifade edildiği gibi atama problemi ilk kez 1952 yılında ortaya atılmış, Kuhn'ın atama problemi için geliştirdiği Macar Algoritması çözüm metodunun 1955 yılında yayımlanması ile yaygın hale gelmiştir. Atama problemlerinin çözümü için farklı çözüm teknikleri geliştirilmiştir. İlk yıllarda daha çok tek amaçlı ve maliyet problemleri üzerine çalışmalar yapılmıştır (Kuhn,1955; Land, 1963; Parikh ve Wets, 1964). Ancak gerçek hayat problemleri tek amaçlı olmadığından tek amaçlı modeller yerini çok amaçlı modellere bırakmıştır (Pierskalla, 1968; Charnes ve diğ., 1969; Gärdenfors, 1973). Toroslu (2003) personel atama problemi çözümünü *NP-Tam problem* olarak tanımlamıştır.

Personel atama problemleri çalışmalarına birçok alanda rastlanılmakla birlikte daha çok; üretim yönetimi, sağlık yönetimi, proje yönetimi, bakım/onarım yönetimi, otel yönetimi, hakem/jüri atanması, eğitim sistemi, spor yönetimi ve askeri yönetim gibi alanlarda daha geniş çalışmalar bulunmaktadır (Öncan, 2007; Bouajaja ve Dridi 2017). Güvenlik hizmeti yürüten bir kurumun atama problemi ele alındığından literatür taraması daha çok güvenlik birimleri çalışmaları üzerine yoğunlaşmıştır.

Askeri alanda personel atama çalışmaları genellikle ABD ordusu için yapılmıştır. ABD Deniz Kuvvetleri'de 1968 yılında kısa adı "*BUPERS*" olan personel ataması için ilk karar destek sistemi geliştirilmiş, 1974 yılında Malone, Thorpe, Tate, ve Pehl kısa adı "*CADA*" olan bilgisayar destekli personel dağıtım ve atama sistemi geliştirmiş, 1977 yılında Glover, Karney, ve Klingman matematiksel atama algoritması geliştirmiş ancak hiç biri uzun vadede kullanılmamıştır (Liang ve Thompson, 1986). ABD Hava ve Kara Kuvvetleri için de benzer teknikler geliştirilmiş ancak uygulamaya geçirilememiştir (Liang ve Thompson, 1986). Trippi, Ash ve Ravenis (1974) en küçük atama maliyetli, geniş ölçekli bir askeri personel atama problemi ele almış, problemin çözümü için *Ford-Fulkerson* şebeke akış yaklaşımına dayanan bir matematiksel model ve algoritma önerilmiştir. Klingman ve Philips (1984) geniş ölçekli askeri atama problemini uygunluk değeri kriteri ve toplam personel sayısını en büyükleme öncelikli hedef programlama modeli ile çözmüştür. Liang ve Thompson (1986) tercih sırası ve mesafe aralıklarına 0 ile 14 arasında puan vererek Deniz Kuvvetlerindeki personel atama problemini modellemiştir. Krass (1987) Deniz Kuvvetlerindeki personel atama problemlerinin çözümü için, ilk aşamada *Macar Algoritması* ile temel başlangıç çözümü bularak ikinci aşamada, ilk çözümü iyileştiren bir algoritma geliştirmiştir. Lin ve diğ. (2012) tarafından iki amaçlı bir personel atama problemi için parçacık sürüsü optimizasyonu algoritması önerilmiştir. Garrett, Vannucci, Silva, Dasgupta, ve Simien (2005) tarafından yapılan çalışmada, en çok kullanılan çok amaçlı iki genetik algoritmanın (*NSGA-II* ve *SPEA2*) performansları karşılaştırılmıştır. Yine Garrett, Vannucci, Dasgupta ve Silva (2005) tarafından *Gale-Shapley* durağan evlilik eşleşme algoritması ile genetik algoritma karşılaştırılmıştır. Lewis ve diğ. (2006) tarafından yapılan denizci atama problemleri çalışmasında şebeke akış modeli önerilmiştir. Deniz birliğine atanma maliyeti, kıyıya atanma maliyeti, eğitimden görev yerine atanma maliyeti, eğitim almadan göreve atanma maliyeti, eğitim maliyeti, geminin atama ihtiyacını giderme maliyeti ve eğitim sınıfı açma maliyetlerinin en küçüklenmesinde oluşan maliyet temelli amaç fonksiyonu kullanılmıştır. Modele klasik atama kısıtlarına ilave olarak eğitim sınıflarına ve gemiye atanma ile ilgili kısıtlar eklenmiştir. Dasgupta ve diğ., (2008) tarafından yapılan çalışmada denizci atama problemlerinin çok amaçlı olduğu, tam eşleme olmadığı ve tam ikili ağ olarak ifade edilemediğine dikkat çekilmiş ve denizci atama problemleri çok amaçlı olduğundan, çok amaçlı problem tek amaç haline getirdikten sonra *Macar Algoritması* ile çözülmüştür. Dasgupta ve diğ., (2009) tarafından hangi işin hangi zaman aralığında yapılacağı temeline dayanan görev temelli denizci atama problemi çalışması

yapılmıştır. Ghaemi, Shekofteh, Khakmardan, Poostchi ve Farimani (2014) tarafından denizci atama problemi çözümünde hibrit parçacık sürüsü optimizasyonu kullanılmıştır. Portilla ve Alfredo (2010) çalışmasında atamacı adam davranışını taklit eden iki algoritmadan açgözlü on-line ve rassal on-line modellerini çalışılmıştır. Dasgupta ve diğ., (2010) tarafından çok amaçlı genetik algoritma iki farklı problem üzerinde uygulanmıştır. Gupta, Mehlatat ve Mittal (2013) çok kriterli (*zaman, maliyet ve kalite*) atama problemi çalışmasında bulanık yaklaşım kullanmıştır. Klasik atama kısıtlarına ilave olarak birden çok işçi ataması ve sırt çantası tipi kaynak kısıtları kullanılmıştır. . Khanna, Dholakiya, Prakash ve Gupta (2021) tarafından Macar Algoritmasını kullanarak mürettebat atama problemi çözülmüştür. Pavlik, Ludden ve Sewel (2021) tarafından salgın hastalığın (COVID-19) yayılmasını azaltmak için iki model ile uçakta oturma atama problemi çalışılmıştır.

Ülkemizde personel atama problemleri ve güvenlik birimleri atama problemlerine ilişkin sınırlı çalışmaya rastlanmaktadır. Çimen (2001) tezinde Türk Silahlı Kuvvetlerinde personel ataması için çok amaçlı bir karar destek modelini önermiştir. Kurumun memnuniyeti (*Personel-kadro eşleme derecesi*), kariyer gelişim derecesi (*Atama sonucu beklenen değer*) ve personelin tercihlerine atanma derecesi (*Atanma memnuniyeti*) olmak üzere üç amaçlı modeli, öncelikli programlama yöntemini kullanarak çözmüştür. Tercih sıralarına puan verilirken mevcut tercihler yanında geçmiş tercihlerde ilave edilerek personel memnuniyetinin artması hedeflenmiştir. Korkmaz (2007,2008), Gökşen ve Çetinyokuş (2008) Analitik Hiyerarşi Prosesi ve iki taraflı eşleşme algoritması (*İki tarafın tercihlerine önem veren eşleme*) kullanarak silahlı kuvvetler personel ataması problemleri için bir karar destek sistemi önermiştir. Çalışmada; cinsiyet, dil seviyesi, eğitim seviyesi, branşı, ceza durumu, sağlık durumu, evlilik durumu ve tercih kriterleri ana atama kriterleri olarak seçilmiştir. Toroslu (2003) personelin farklı seviyelerde kategorize edildiği hiyerarşik personel atama problemini tanımlayarak çözümü için birkaç sezgisel ve yaklaşık algoritma önermiştir. Güzel, Erdal ve Acar (2015) tarafından kolluk kuvvetlerinin emniyet ve asayişini sağlamak için kullandıkları hizmet araçlarının etkinliği konusunda bir çalışma yapılmıştır. Çok amaçlı (*servis etkinliği, maliyet, zaman ve teknik kapasite*) olarak kurgulanan modelde motorlu araçların kalitesini artırmak amacıyla yapılan atama için AHP kullanılarak dört ana kriter ve on beş alt kriter tanımlanmıştır. Toroslu ve Arslanoğlu (2009) hiyerarşik personel atama problemini çok amaçlı optimizasyon problemi olarak ele almıştır. Problemin farklı versiyonlarını çözmek için genetik algoritma önerilmiştir. İlkuçar (2012) tezinde öncelikli tercih şartıyla, kıdem ve hizmet puanı kriterleri göz önünde bulundurularak genetik algoritma kullanarak hekim atama problemini ele almıştır. Bu çalışmada kurumun memnuniyetini maksimum yapan bir amaç fonksiyonu tanımlanmıştır. Çalışmaya göre aynı yerleri tercih eden iki hekimden hizmet puanı yüksek olan öncelikli olarak adlandırılmaktadır. İlgili çalışmada tercih dışı atamaya izin verilmemiştir. Aksakal ve Dağdeviren (2015) tarafından çok kriterli karar verme tekniği olan Analitik Hiyerarşi Prosesi kullanılarak personelin işgücü ve yetenekleri hakkında yapılan değerlendirme sonuçları hedef programlama için bir kısıta dönüştürülmüş, işgücü atama problemi üzerindeki etkisi tartışılmıştır. Gökkaya ve Kellegöz (2017) tarafından personel atama problemleri için üç aşamadan oluşan bir Karar Destek Modeli (KDM) önerilmiştir. Bu çalışmada ilk olarak tayin kriterleri belirlenmekte ve AHP yoluyla bunların ağırlıkları tespit edilmekte; ardından TOPSIS kullanılarak atama puanları hesaplanmakta ve toplam atama puanını en büyük yapacak şekilde Macar Algoritması uygulanmasıyla atamalar gerçekleştirilmektedir. Bulut (2019) tezinde işe gelmeyen personel yerine başka personelin atanması veya işlerin diğer işçilere dağıtılması için bir matematiksel model önerip karar destek sistemi geliştirmiştir. Tutumlu, Aygün ve Saraç (2020) tarafından personelin genel yeteneklerine ilave olarak sağlık durumlarını dikkate alan atama problemi ele alınmıştır. Erter (2021) uygunluk kısıtlı çok kaynaklı genelleştirilmiş atama problemi çalışmasında, işlerin dengeli bir şekilde personele dağıtılması ile atanacak toplam personel sayısını en küçükleyerek büyük boyutlu problemler için tavlama benzetimi algoritması önermiştir.

Atama problemi ele alınan kurumun ihtiyaçları özelinde de çok sınırlı sayıda bilimsel çalışma yapılmıştır. Erciyes (2004) çalışmasında, jandarma astsubayların görev yerlerine dağıtımında kullanılmak üzere, atamayı etkileyen sekiz ana kriteri kullanarak Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi ile bir karar destek sistemi oluşturmuştur. Yapılan çalışma sadece bir ilde valilik emrine atanan personelin dağıtımında uygulanmıştır. Personelin tercihlerine puan verilerek diğer atama kriterleri ile birlikte değerlendirilmiştir. Çiçek (2016) çalışmasında Jandarma Genel Komutanlığı için personel tercihlerini ön planda tutan, yeni bir atama süreci ve atama karar destek sistemi önermiştir. Tercih sayısını artırarak ve atama gören personele iki aşamalı tercih hakkı vererek daha çok personelin tercihlerinden birine atanmasını hedefleyen bir atama sistemi önerilmiştir. Yapılan çalışma ile personelin tercihlerinden herhangi birine atanması hedeflenmiştir. Personelin tercihlerine atanmalarını sağlamak için tercih sayısı artırılmıştır. Tercihlerine giremeyen personele ilave tercih yapma hakkı verilerek personelin herhangi bir tercihi atanması olasılığı yükseltilmiştir. Ancak personelin öncelikli tercihlerine atanması ile son sıralardaki tercihlerine atanması atama memnuniyeti açısından eşit değildir. Bu nedenle çalışmamızda, personeli tercihlerinden herhangi birine atamak yerine, öncelikli tercihlerine atanmasını kolaylaştıran tercih toplamları kısıtları kullanılmıştır.

Bu çalışmada, kritik öneme sahip olduğu için tecrübeli personel tarafından yapılması gereken ancak tercih edilmeyen görevlere tecrübeli personelin atanması için tercih dışı atamaya izin verilmektedir. Görev yerinin yoğunluğu, yerleşim yerinin nüfusu, eğitim ve sağlık imkânları, gelişmişlik durumu gibi kriterler dikkate alınarak,

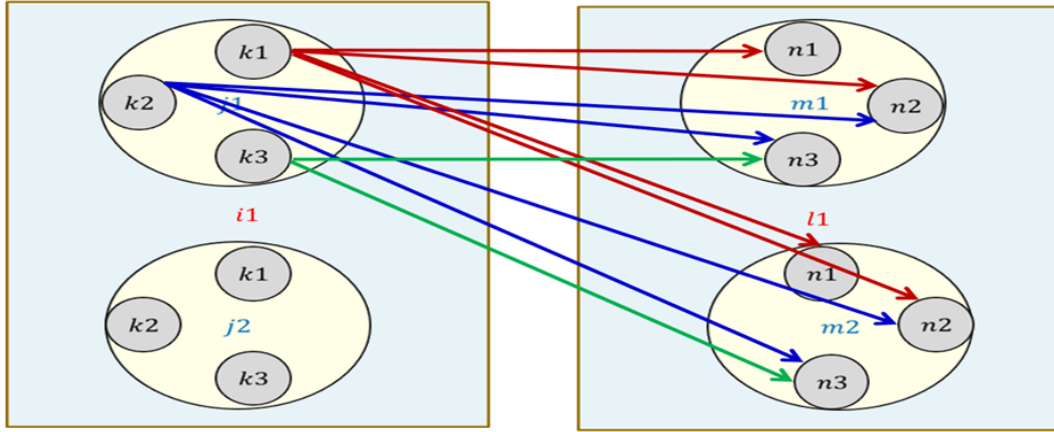
personelin çalıştığı süreye göre verilen ortalama hizmet puanları, görev yerleri puanları amaç fonksiyonunda birlikte kullanılmıştır. Önerilen model literatürdeki hizmet puanlarını kullanan atama modellerinden farkı bir yapıdadır. Modelde personelin ortalama hizmet puanları ve görev yerleri puanları amaç fonksiyonunda birlikte kullanılmaktadır. Her atama döneminde, personelin birikmiş hizmet puanı yerine, ortalama hizmet puanlarının kullanılması ile dengeli atama yapmayı sağlayan başka bir çalışmaya literatürde rastlanmamıştır. Ayrıca, yürürlükteki personel atama yönetmeliği esaslarına uyularak, görev süresini dolduran personeli kadro ve rütbe uyumu ile daha önce görev yaptığı hizmet bölgelerini de dikkate alarak zorunlu rotasyonla atanmasını sağlayan kısıtlar modele eklenerek kurumun atama probleminde analitik çözümler sunulmuştur.

3. Problem Tanımı ve Önerilen Model

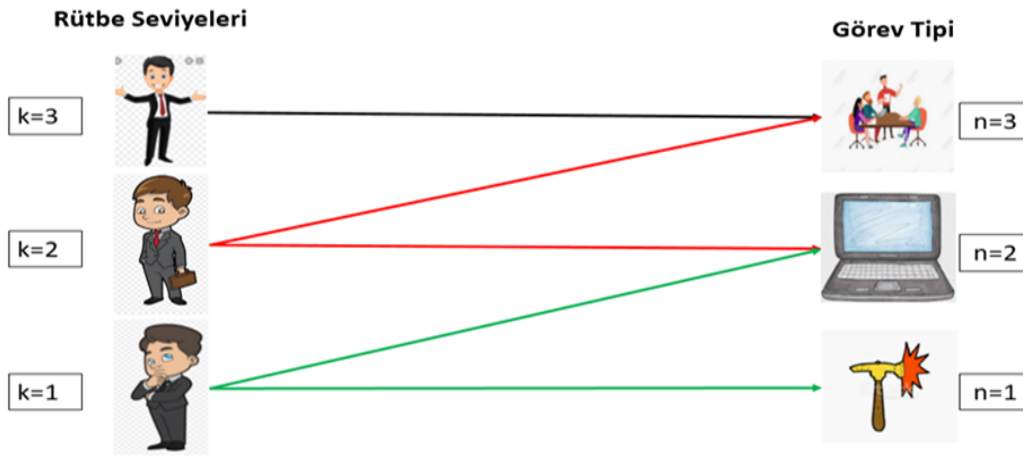
3.1 Problemin Tanımı

Bu çalışmada her yıl binlerce kişinin atamasının yapıldığı güvenlik hizmeti sunan bir kamu kurumunun atama problemi ele alınmıştır. Söz konusu kurumda personel atamaları; hizmet ihtiyacı doğrultusunda, kadro ihtiyaçları, görev yerine göre değişen asgari görev süresi, terfi (*rütbe*) durumu, personelin farklı görev bölgelerinde çalıştırılmasını (*zorunlu rotasyon*) amaçlayan görev evreleri, hizmet puanı, atanma istekleri (*personel tercihleri*), branş ve sağlık durumları, gibi temel atama kriterleri dikkate alınarak yapılmaktadır (Personel Atama Yönetmeliği, 2021). Kurumun atama sisteminde, beş farklı atama bölgesi tanımlanmıştır. Görev yerleri arasındaki nüfus yoğunluğu, hastane sayısı, okul sayısı, barınma durumu, gelişmişlik düzeyi, emniyet durumu, coğrafi zorluklar vb. farklar nedeniyle her personelin her atama bölgesinde çalıştırılması hedeflenmiştir. Her görev yerinin (*il, ilçe, kasaba vb.*) azami veya zorunlu çalışma süreleri mevcuttur. Görevlerin yoğun ve şartların ağır olduğu dört ve beşinci atama bölgelerinin personel ihtiyacı öncelikli olarak karşılandığından bu bölgelere görev yeri sürelerine göre bir sıra dâhilinde zorunlu atamalar yapılmaktadır. Bulunduğu yerdeki hizmet süresini dolduran personel farklı hizmet noktalarına atanmak zorundadır. Mecbur kalınmadıkça dört ve beşinci bölgeler arasında atamaya izin verilmemektedir. Kuruma ait bilimsel destek birimi tarafından tespit edilen görev yerleri puanına göre her personel için doğu puanı ve batı puanı olarak iki ayrı hizmet puanı hesaplanmaktadır. Yüksek puanlı ve merkezi yerleşim yerlerinde görev yapan personelin sonraki atama döneminde düşük puanlı görev yerlerine, küçük yerleşim birimlerinde ve düşük puanlı görevlerde çalışan personelin ise sonraki atama döneminde yüksek puanlı görev yerlerine ataması prensibine dayanan bir atama sistemi mevcut durumda kullanılmaktadır. Bu çalışmada ele alınan kurumda personel atamaları için analitik bir model bulunmamakta olup görevli personel tarafından ilgili hesaplamalar elle yapılmaktadır. Bu çalışmada, kurumun mali hizmetlere ilişkin işlemlerini yürüten maliye branşı personelinin atama problemi ele alınmıştır. Model, kurumun atama mevzuatı (Personel Atama Yönetmeliği, 2021) dikkate alınarak ihtiyaçlar ve kurallar gözetilerek kurulmuştur. Buna göre ilgili problemin özellikleri aşağıda verilmektedir;

1. Beş hizmet bölgesinde, her görev yerinde üç farklı görev tipinin bulunduğu 120 adet maliye birimi (*Şube, kısım vb.*) bulunmaktadır. Her personelin her bölgede çalıştırılması hedeflendiğinden görev süresini dolduran personel bölgeler arası zorunlu değişim (*rotasyon*) ile atama işlemine tabi tutulmaktadır.
 2. Doğu illerini kapsayan dördüncü ve beşinci hizmet bölgelerinin kritik görevler içermesi nedeniyle görevlerin aksamadan yürütülebilmesi önemli olup bu bölgeler zorunlu hizmet bölgeleri olarak tanımlanmıştır. Zorunlu hizmet bölgeleri ilan edilen bölgelerde tercihe bakılmaksızın çalışma süresi kadar görev yapma zorunluluğu vardır.
 3. Doğu bölgelerinde görev süresini dolduran personel batı bölgeleri olarak bilinen birinci, ikinci ve üçüncü bölgelerde yer alan görevlerden birine atanır. Batı bölgelerinde yer alan her görevin en az iki yıl olmak üzere en fazla çalışabileceği görev süresi kurumun atama mevzuatında (Personel Atama Yönetmeliği, 2021) belirtilmiş olup süresini dolduran personel farklı görev bölgelerine atanmak zorundadır.
 4. En alt kademedeki çalışanından en üst yöneticiye kadar hiyerarşiyi sağlayan rütbeler mevcut olup ele alınan problem üç farklı rütbe varsayımı altında kurgulanmıştır.
 5. Kurumun mevzuatına göre mali yıl içinde yapılacak atama ve yer değiştirmeler için yıllık bütçe ödeneğinin dikkate alınacağı belirtilmiştir.
 6. Personele tercih hakkı verilse de bazı kritik görev yerleri çok tercih edilmediğinden personel tercih dışı bir görev yerine de atanabilir olacaktır.
- i. bölge j. görev yerinde çalışan k. personelin l. bölge, m. görev yerinin n. görevine atanması* problemini açıklayan serim gösterimi Şekil 1’de; her personelin bulunduğu rütbeye veya bir üst rütbe görev yerlerine atanmasını sağlayan, iki üst rütbe ile bir alt rütbe seviyesine atanmasını engelleyen rütbe seviyeleri ile görev tipi uyumunun gösterimi ise Şekil 2’de verilmektedir.



Şekil 1. Problemin serim gösterimi



Şekil 2. Rütbe seviyelerine göre atama yapılacak görev tipleri

3.2 Geliştirilen Matematiksel Model

Kümeler:

I : Personelin atama öncesi görev bölgeleridir.

J : I bölgeleri içinde yer alan atama öncesi görev yerleri (il, ilçe, kasaba vb.)

K : Personel

L : Personelin atama görebileceği görev bölgeleridir.

M : Personelin atama görebileceği görev yerleri veya illeridir.

N : Personelin atanabileceği görev veya kadro tipleridir.

Parametreler:

BHP : Toplam birikimli hizmet puanıdır. Personelin görev süresi boyunca çalıştığı görevlerden aldığı puanların toplamıdır. Birçok kurumun atama sisteminde ve literatürdeki atama problemlerinde atamalar en yüksek puandan başlayarak yapılmaktadır. Buna karşın söz konusu kurumda, görev yeri puanı yüksek olan görevlerde çalışan personelin puanı yüksek, görev yeri küçük ve tercih edilmeyen görevlerde çalışmış personelin ortalama hizmet puanları düşük olduğundan atama önceliği hizmet puanı düşük olan personeldir.

THS : Toplam hizmet yılı süresi (Yıl)

S_{ijk} : i. bölgenin j. görev yerinde çalışan k. personele ait Ortalama Hizmet Puanıdır $\left(S_{ijk} = \frac{BHP}{THS} \right)$.

Personele ait hizmet puanları kişisel bilgi niteliğinde olduğundan modelde kullanılan ortalama hizmet puanları rassal olarak türetilmiştir.

F_{lmn} : l. bölgenin m. görev yerinin n. görevine ait 200 – 1000 arasında değişen görev yeri puanlarıdır.

Görev yerlerinin genel gelişmişlik düzeyi, barınma imkânları, iklim ve coğrafi koşullar, eğitim imkânları, güvenlik ve asayiş, sosyal ve kültürel imkânlar, sağlık imkânları, günlük yaşam, özlük haklarındaki farklılıklar, ulaştırma ve haberleşme imkânları ile kuruma ait imkânların kriterleri göz önüne bulundurularak tespit edilmiş puanlardır.

G_{ijk} : Personelin hizmet bölgelerinde çalışma durumunu kronolojik olarak gösteren değerdir.

Bu değer personelin en son çalıştığı bölgede I , bir önceki çalışma bölgesinde $(I - 1)$, daha önce çalıştığı bölgelerde sırasıyla $(I - 1)$, $(I - 2)$, \dots , $(I - (I - 1))$ değerini almaktadır. Görev yapmadığı bölgeler için ise G_{ijk} $(I - (I - 1))$ değerini alır. Personelin en son çalıştığı yerlere atanması önlenerek hizmet bölgeleri arasında rotasyonu sağlamak için kullanılmıştır.

B_{ijk} : Rotasyon nedeniyle atamaya izin verilen bölge sayısıdır.

Örnek modelin çözümünde $B_{ijk} = 3$ alınarak personelin son görev yaptığı bölgeler dışındaki 3 bölgeye atanmasına izin verilmiştir.

W_{ijk} : i. personelin j. görev yerinde çalışan k. personelin çalışma süresini gösteren parametre değerleridir. Bulunduğu görev yerinde görev süresini doldurmayan personel sadece aynı göreve veya bulunduğu görev yerindeki farklı bir göreve atanabilir. Personelin il dışına atanabilmesi için asgari sürenin doldurulması gerekir.

TW_{ijk} : i. bölgenin j. görev yerinde çalışan k. personelin çalışması gereken asgari çalışma süresidir. Her görev yeri için doldurulması gereken asgari gün sayısı kurumun atama mevzuatında belirtilmiştir.

T_{ijklmn} : i. bölgenin j. görev yerinde çalışan k. personelin l. bölgenin m. yerin n. görevini tercih etme sırasını gösteren parametredir.

P_i : Personel tarafından yapılan tercihlerin tercih sırası toplamıdır.

M_{ijklmn} : i. bölgenin j. görev yerinde çalışan k. personelin l. bölgenin m. yerin n. görevine olan mesafesidir.

Her personelin atanabileceği görev yerleri arasındaki, maliyetlerin temel parametresi olan mesafelerdir. Mesafeler Türkiye Cumhuriyeti Kara Yolları Genel Müdürlüğü sitesinden alınmıştır.

C_i : Toplam atama maliyetidir.

Karar Değişkenleri

X_{ijklmn} : i. bölgenin j. görev yerinde çalışan k. personelin l. bölgenin m. yerin n. görevine atanması 1, 0 dd.

Y_{ijk} : i. bölgenin (4. ve 5. bölgeler için) j. görev yerinde çalışan k. personelin atama görmemesi 1, 0 dd.

Z_{ijk} : i. bölgenin (1., 2. ve 3. bölgeler için) j. görev yerinde çalışan k. personelin atama görmemesi 1, 0 dd..

Önerilen Amaç Fonksiyonu

$$\text{Min} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N S_{ijk} F_{lmn} X_{ijklmn} \quad (1)$$

Temel Atama Kısıtları

$$\sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N X_{ijklmn} = 1 \quad \forall i, j, k \text{ için} \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K X_{ijklmn} \leq 1 \quad \forall l, m, n \text{ için} \quad (3)$$

Rotasyon Kısıtları

$$\sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N G_{ijk} X_{ijklmn} \leq B_{ijk} \quad \forall i, j, k \quad \text{için} \tag{4}$$

Rütbe Kısıtları

$$\sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^3 X_{ijklmn} = 0 \tag{5}$$

$\forall i = 1, 2, \dots, I$ için $j = 1, 2, \dots, J$

$\forall j = 1, 2, \dots, J$ için $k = 1, 2$

$$\sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^1 X_{ijklmn} = 0 \tag{6}$$

$\forall i = 1, 2, 3, 4, 5$ için $j = 1, 2, \dots, J$

$\forall j = 1, 2, \dots, J$ için $k = 2$

$$\sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^2 X_{ijklmn} = 0 \tag{7}$$

$\forall i = 1, 2, 3, 4, 5$ için $j = 1, 2, \dots, J$

$\forall j = 1, 2, \dots, J$ için $k = 3$

Görev Süresi Kısıtları (1., 2.ve 3. Bölge)

$$\sum_{l=4}^5 \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N W_{ijk} X_{ijklmn} \leq TW_{ijk} z_{ijk} \quad \forall i, j, k \quad \text{için} \tag{8}$$

$$\sum_{l=4}^5 \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N X_{ijklmn} = z_{ijk} \tag{9}$$

$i = l$ ve $j = m$ olmak üzere

$\forall i = 4, 5$ için $j = 1, 2, \dots, J$

$\forall j = 1, 2, \dots, J$ için $k = 1, 2, 3$

$$\sum_{l=1}^3 \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N W_{ijk} X_{ijklmn} \geq TW_{ijk} (1 - z_{ijk}) \quad \forall i, j, k \quad \text{için} \tag{10}$$

$$\sum_{l=1}^3 \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N X_{ijklmn} = (1 - z_{ijk}) \tag{11}$$

$i \neq l$ ve $j \neq m$ olmak üzere

$\forall i = 4, 5$ için $j = 1, 2, \dots, J$

$\forall j = 1, 2, \dots, J$ için $k = 1, 2, 3$

Görev Süresi Kısıtları (4. ve 5. Bölge)

$$\sum_{l=1}^3 \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N W_{ijk} X_{ijklmn} \leq TW_{ijk} y_{ijk} \quad \forall i, j, k \quad \text{için} \tag{12}$$

$$\sum_{l=1}^3 \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N X_{ijklmn} = y_{ijk} \tag{13}$$

$i = l, j = m$ ve $k = n$ olmak üzere

$\forall i = 4, 5$ için $j = 1, 2, \dots, J$

$\forall j = 1, 2, \dots, J$ için $k = 1, 2, 3$

$$\sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N W_{ijk} X_{ijklmn} \geq TW_{ijk} (1 - y_{ijk}) \quad \forall i, j, k \quad \text{için} \tag{14}$$

$$\sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N X_{ijklmn} = (1 - y_{ijk}) \tag{15}$$

$i \neq l, j \neq m$ ve $k \neq n$ olmak üzere

$\forall i = 1, 2, 3, 4, 5$ için $j = 1, 2, \dots, J$

$\forall j = 1, 2, \dots, J$ için $k = 1, 2, 3$

Tercih Sırası Kısıtları

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N T_{ijklmn} X_{ijklmn} \leq P_i \quad (16)$$

Toplam Atama Maliyeti Kısıtları

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N M_{ijklmn} X_{ijklmn} \leq C_i \quad (17)$$

Atama probleminin çözümü için tasarlanan doğrusal programlama modelinde, (1) numaralı eşitlik ile yüksek hizmet puanlı personelin küçük puanlı görev yerlerine, düşük hizmet puanlı personelin ise yüksek puanlı görev yerlerine atanmasını sağlamak için ortalama hizmet puanları ile görev puanları en küçüklenmektedir. Görev yerinin yoğunluğu, yerleşim yerinin nüfusu, eğitim ve sağlık imkânları, gelişmişlik durumu gibi birden fazla kriterin dikkate alınması ile personele çalıştığı süreye göre verilen hizmet puanı, adaleti sağlamada tercih ve atama maliyetlerine nazaran personel atamalarında daha belirleyici konumdadır. Bu maksatla personel ve görev puanları amaç fonksiyonunda kullanılmış, buna karşın personel memnuniyetini sağlayan tercihler ile kuruma fayda sağlayan atama maliyetleri kısıt olarak modellenmiştir. (2) ve (3) kısıtları, her personelin bir kadro görev yerine atanması ile her kadro görevine en fazla bir personelin atanması kısıtlarından oluşan temel atama kısıtlarıdır.

Rotasyon Kısıtları

Ülkenin en ücre köşesine kadar her noktada, kamu hizmetlerinin devamlı olarak yerine getirilmesi gerekir. Tercih edilmeyen bölgelerde personeli çalıştırmak amacıyla bazı idareler personeli zorunlu atamaya (rotasyon) tabi tutarlar. Personelin asgari sayıda hizmet bölgesi değiştirmesini ve personelin her hizmet bölgesinde çalışmasını zorlayan kısıtlar (4) modele eklenmiştir. Bu kısıtlar atama görececek personelin en son çalıştığı görev bölgelerine atanmasını önleyerek hizmet bölgeleri arasında rotasyonu sağlamaktadır. Örneğin; 1. Hizmet bölgesinde çalışanın tüm G_{1jk} değerleri 5 olduğundan $5 * X_{1jk1mn} \leq 3$ eşitsizliğinin sağlanması için X_{1jk1mn} değerleri sıfır olur. Bu durumda personel son görev yaptığı eşdeğer görev bölgeleri dışında bir bölgeye atanarak rotasyon sağlanmış olacaktır.

Rütbeyle Göre (Hiyerarşi) Atama Kısıtları:

Bir organizasyon, işletme veya kurumdaki bireylerin statü, görev, özlük hakları gibi belirli faktörlere bağlı olarak sınıflandırılması ve bu sınıflara bağlı yapısına hiyerarşi denir. Atama probleminin ele alındığı kamu kurumunda en üst yöneticiden en ast çalışana kadar birçok rütbe ve sınıf mevcut olup atamalarda hiyerarşik yapı dikkate alınmaktadır. Tasarlanan modelde kurumun sadece mali işlemlerini yürüten maliye birimleri atamaları ele alındığından, maliye personelinin çalıştırdığı kadrolar dikkate alınarak üç farklı rütbenin olduğu varsayımı yapılmıştır. Kamu kaynaklarının etkili, ekonomik ve verimli kullanılmasında kilit rol alan maliye personelinin kadro yapısı yapılan iş ve personelin tecrübesine göre düzenlenmiştir.

Mesleğin başında olan personelin daha fazla iş yoğunluğu bulunan ancak daha az riskli olduğu değerlendirilen nakit mutemetliği gibi görevlerde, nakit mutemetliğinde yetişmiş olan meslek hayatının ortalarında bulunan bir personelin ise mevzuat bilgisi ve biraz daha riskli olan özlük hakları gerçekleştirme görevlerinde, ilk iki kariyer basamağında çalıştıktan sonra tecrübelenen personelin ise tek işlemde daha büyük ödemelerin gerçekleştirildiği riski büyük diğer ödemeleri gerçekleştirme görevlerinde çalıştırılması hedeflenmiştir. Rütbe ve görev tipleri üç seviye olarak belirlenmiştir. k ve n indisleri; en alt rütbede bulunan personel için 1, orta rütbeli personel için 2 ve üst seviyeli rütbeli için 3 olarak seçilmiştir. Kısıtlar her personelin bulunduğu rütbeyle veya bir üst rütbe görev yerlerine atanmasını sağlayan, iki üst rütbe ile bir alt rütbe seviyesine atanmasını engelleyecek şekilde düzenlenmiştir. En alt rütbe seviyesinde bulunan personelin en üst rütbe seviyesine atanması (5), orta rütbe seviyesinde bulunan personelin en alt rütbe seviyesine atanması (6) ve en üst rütbe seviyesinde bulunan personelin tüm alt rütbe seviyelerine atanması (7) kısıtları ile engellenmiştir.

Görev Süresi Kısıtları

Tüm personeli dengeli bir şekilde her bölgede çalıştırmak ve çok tercih edilmeyen bölgelerde bulunan kritik görevlere tecrübeli personelin çalışmasını sağlamak amacıyla her görev yerine ait görev süresi tespit edilmiştir. Personel kritik bölgelerdeki görevlerde tespit edilen süre kadar çalışmak zorundadır. Görev süresi kısıtları doğu ve batı bölgeleri görev süresi kısıtlarından oluşmaktadır.

Doğu Hizmet Bölgeleri Görev Süresi Kısıtları: Kurumun atama mevzuatında her görev yerinin çalışma süresi belirlenmiş, özellikle dört ve beşinci hizmet bölgelerinde görev yapan personel çalışma süresini doldurmadan

farklı bir bölgeye atamaya tabi tutulmaz, ancak bulunduğu görev yerinde rütbe ve puanına göre farklı kadroya atanabilmektedir. Görev süresini tamamlamayan personelin çalıştığı görevde veya aynı yerde başka göreve atanmasını sağlayan (8) (9) kısıtları ile görev süresini dolduran personelin birinci, ikinci veya üçüncü hizmet bölgelerinden birine atanmasını sağlayan (10) (11) kısıtlarından oluşmaktadır. (8) ve (9) kısıtlarında W_{ijk} değeri TW_{ijk} değerinden küçük olduğunda eşitliğin sağlanması için X_{ijklmn} 1 değerini alır. X_{ijklmn} değerinin 1 olması durumunda z_{ijk} 1 değerini alacağından personel başka yere atanmadan bulunduğu yerdeki kadroya veya aynı yerdeki diğer kadrolara atanması sağlanır. z_{ijk} değişkeni 0 veya 1 değerini aldığından tersi durumda (10) (11) kısıt grubundaki uygun yere atama gerçekleşmiş olur. (10) ve (11) kısıtlarında ise W_{ijk} değeri TW_{ijk} değerinden büyük olduğunda eşitliğin sağlanması için X_{ijklmn} değeri 0 değerini alır. X_{ijklmn} değerinin 0 değerini alması durumunda z_{ijk} değeri 0 değerini alacağından personel bulunduğu görev yerinden başka görev yerlerine atanır. z_{ijk} değişkeni 0 veya 1 değerini aldığından tersi durumda (8) ve (9) kısıt grubundaki uygun yere atama gerçekleşmiş olur.

Batı Hizmet Bölgeleri Görev Süresi Kısıtları: Birinci, ikinci ve üçüncü hizmet bölgelerinde çalışan personelden görev süresini doldurmayan personelin (12) ve (13) kısıtları ile çalıştığı görev yerine, görev süresini dolduran personelin ise öncelikli olarak sıralı hizmet bölgeleri (dördüncü ve beşinci bölge) olmak üzere diğer hizmet bölgelerine atanmasını sağlayan (14) ve (15) kısıtlarından oluşur. Batı hizmet bölgeleri görev kısıtları da doğu hizmet bölgeleri görev süresi kısıt grubu mantığıyla çalışmaktadır.

Toplam Tercih Kısıtları

Tercih toplamlarının belirlenen eşik değer altında olması hedeflenerek mümkün oldukça personelin tercihinde atanmasını, ancak tercih dışı atamaya da izin vermesini sağlayan kısıt (16) modele eklenmiştir. Tercih sıralamalarının toplamını belirlenmiş bir P_i eşik değeri ile sınırlayarak personelin tercihlerine atanma durumunu arttıran veya azaltan kısıtlardır. Birçok atama sisteminde tercihler önemli atama kriterleri arasında değerlendirilmiştir. Ele alınan atama sisteminde personel tercihleri alınmakla birlikte tercihinde göre atama zorunluluğu bulunmamaktadır. Tespit edilen P_i eşik değerlerinden, karar verici tarafından en küçükünün seçilmesi ile personelin mümkün oldukça en küçük tercihinde atanması sağlanır. P_i eşik değerinin artırılması ile tercih dışı atamalar artarken, eşik değerinin azaltılması ile tercih dışı atamalar azalır. Söz konusu kurumda her personele toplam 150 tercih hakkı verilmektedir. Tercih dışı atamaya da izin verilen atama sisteminde, personelin öncelikli tercih yerlerine atanması motivasyonu arttıracaktır. Bu kısıt yardımıyla karar vericiye farklı alternatifler sunmak maksadıyla tüm personelin ilk 15, ilk 20, ilk 30, ilk 40 vb. tercihinde atanmasını sağlamak için farklı P_i eşik değerleri tespit edilmiştir.

Toplam Maliyet/Bütçe Kısıtları

Toplam maliyetin belli bir C_i eşik değerinin altında olması sağlanarak atama maliyetini kontrol altına alan (17) kısıtlardır. Bulduğu yerleşim yeri dışındaki görevlere atanmış personele, 2575 Sayılı Harcırah Kanununa göre sürekli görev yolluğu ödenmektedir. Sürekli görev yolluğu personelin medeni durumu ve çocuk sayısına göre değişiklik göstermekle beraber en önemli kriter görev yerleri arasındaki mesafeden oluşmaktadır. Medeni durum ve çocuk sayısının olmadığı varsayımı altında mesafeler dikkate alınarak atanma maliyetleri hesaplanmıştır. Görev yerleri arasındaki mesafeler Türkiye Cumhuriyeti Kara Yolları Genel Müdürlüğü'nün internet sayfasından alınmıştır. Atama yapılacak personelin hizmet puanlarına göre atanması öncelikli olup atama maliyetlerinin de karar vericilerin belirleyeceği bir C_i eşik değeri altında olmasını sağlamak için modele maliyet kısıtları eklenmiştir. Uzman tarafından tespit edilen C_i eşik değerlerinden karar verici tarafından en küçükünün seçilmesi ile mümkün oldukça en az maliyetle atama yapılır. C_i eşik değerinin artırılması ile atama maliyetleri artarken puanları en küçükleyen amaç fonksiyonu daha iyi değerlere yaklaşır. Atama problemi ele alınan kurumda, her personel emekli olana kadar ortalama 6-7 görev yeri değiştirdiğinden her yıl binlerce personel isteğe bağlı veya zorunlu olarak atamaya tabi tutulmaktadır. Yapılan her atama için, kurum bütçesinden pay ayrılacağından, atamalarda atama maliyetlerinin belli bir oranda dikkate alınması gerekmektedir.

4. Uygulama Sonuçları

Önerilen personel atama modeli, kurumda görev yapan personel için, temel atama kısıtları, rütbe kısıtları, rotasyon kısıtları, görev süresi kısıtları, toplam atama maliyeti kısıtları ve tercih sırası kısıtları altında ortalama hizmet puanları ile görev yerleri puanlarının en küçüklenmesiyle Cplex programı yardımıyla çözülmüştür. Modelin çözümü sonucunda, en düşük ortalama hizmet puanına sahip personel yüksek puanlı görev yerlerine, buna karşın en yüksek ortalama hizmet puanına sahip personel ise düşük puanlı görev yerlerine atanmıştır. Görev süreleri kısıtları nedeniyle görev süresini dolduran personel başka atama bölgesine, görev süresini doldurmayan personel ise aynı göreve veya aynı görev yerinde başka bir göreve atanmıştır. Aynı zamanda rütbelere arasındaki hiyerarşik kısıtlara göre atamalar gerçekleşmiştir. Tasarlana rotasyon kısıtları ile personelin en son çalıştığı görev bölgelerine atanması önlenerek hizmet bölgeleri arasında rotasyon işlemi sağlanmıştır. Örnek atama sonuçları Tablo 1-3'te

verilmiştir. Tablo 1’de 24 ve 25. sırada yer alan personel görev süresini doldurmadığı için aynı kadroya atanmıştır. Tablo 3’te görev süresi dolmayan 11. ve 16. sırada yer alan personel dışında herkesin ataması batı (birinci, ikinci ve üçüncü) bölgelere yapılmıştır. Ortalama hizmet puanı düşük olan personelin Ankara, Antalya ve Konya gibi büyük şehirlere atandığı görülmektedir.

Ayrıca tercih sırası toplamları ve toplam maliyet kısıtları kullanılarak karar vericiye farklı alternatifler sunan çözümler bulunmuştur. Görev yerinin yoğunluğu, yerleşim yerinin nüfusu, eğitim ve sağlık imkânları, gelişmişlik durumu gibi birden fazla kriterin dikkate alınması ile personele çalıştığı süreye göre verilen hizmet puanı, adaleti sağlama noktasında tercih ve atama maliyetlerine nazaran personel atamalarında daha belirleyici konumdadır. Bu maksatla personel ve görev puanları amaç fonksiyonunda kullanılmış, buna karşın personel memnuniyetini sağlayan tercihler ile kuruma fayda sağlayan atama maliyetleri kısıt olarak modellenmiştir.

Tablo 1. Örnek atama sonuçları (En büyük puan sıralı)

SIRA	HİZMET PUANI	ATAMA ÖNCESİ		ATAMA SONUCU	ATAMA SONRASI		GÖREV PUANI
		BÖLGE	GÖREV YERİ		BÖLGE	GÖREV YERİ	
1	990	1	İstanbul 3	<variable name="X_1_23_355_2_3" index="24824" value="1"/>	5	Diyarbakır Lice	218
2	990	1	Bursa 2	<variable name="X_1_15_255_5_2" index="15832" value="1"/>	5	Şırnak Beytüşşebap	238
3	990	1	Konya	<variable name="X_1_29_153_4_1" index="30414" value="1"/>	3	Artvin	393
4	940	1	Ankara 1	<variable name="X_1_3_353_4_3" index="3056" value="1"/>	3	Artvin	393
5	950	1	Bursa 1	<variable name="X_1_14_253_6_2" index="14581" value="1"/>	3	Bayburt	398
6	930	1	Ankara 8	<variable name="X_1_10_254_2_2" index="10354" value="1"/>	4	Ağrı Patnos	431
7	910	1	İzmir 2	<variable name="X_1_25_255_3_2" index="26626" value="1"/>	5	Diyarbakır Silvan	412
8	900	1	İstanbul 3	<variable name="X_1_23_253_1_2" index="24286" value="1"/>	3	Adıyaman	449
9	900	1	Konya	<variable name="X_1_29_354_20_3" index="31289" value="1"/>	4	Tunceli 1	428
10	900	1	Kayseri	<variable name="X_1_27_154_7_1" index="28368" value="1"/>	4	Bitlis Tatvan	450
11	900	1	Manisa	<variable name="X_1_30_253_28_2" index="31927" value="1"/>	3	Osmaniye	456
12	890	1	Ankara 5	<variable name="X_1_7_153_25_1" index="6717" value="1"/>	3	Manisa Kırkağaç	473
13	880	1	İzmir 2	<variable name="X_1_25_154_6_1" index="26205" value="1"/>	4	Bitlis	470
14	860	1	Ankara 4	<variable name="X_1_6_253_9_2" index="5950" value="1"/>	3	Bilecik Söğüt	477
15	850	1	Ankara 3	<variable name="X_1_5_253_18_2" index="4897" value="1"/>	3	İzmir Foça Yeni	488
16	840	1	Aydın 1	<variable name="X_1_12_154_19_1" index="12204" value="1"/>	4	Siirt	472
17	830	1	Adana 1	<variable name="X_1_1_253_32_2" index="619" value="1"/>	3	Şanlıurfa	494
18	830	1	Samsun	<variable name="X_1_31_354_5_3" index="33404" value="1"/>	4	Bingöl	437
19	830	1	Eskişehir	<variable name="X_1_20_154_15_1" index="20832" value="1"/>	4	İğdir	495
20	820	1	Aydın 1	<variable name="X_1_12_253_31_2" index="12496" value="1"/>	3	Sivas	509
21	820	1	İstanbul 1	<variable name="X_1_21_354_7_3" index="22610" value="1"/>	4	Bitlis Tatvan	450
22	820	1	İstanbul 2	<variable name="X_1_22_253_11_2" index="23236" value="1"/>	3	Çankırı	510
23	820	1	İzmir 1	<variable name="X_1_24_154_4_1" index="25119" value="1"/>	4	Batman	509
24	450	1	Adana 1	<variable name="X_1_1_151_1_1" index="0" value="1"/>	1	Adana 1	694
25	460	1	Adana 2	<variable name="X_1_2_151_2_1" index="1083" value="1"/>	1	Adana 2	694

Tablo 2. Örnek atama sonuçları (En küçük puan sıralı - 1. Bölge)

SIRA	HİZMET PUANI	ATAMA ÖNCESİ		ATAMA SONUCU	ATAMA SONRASI		GÖREV PUANI
		BÖLGE	GÖREV YERİ		BÖLGE	GÖREV YERİ	
1	220	1	Denizli	<variable name="X_1_19_352_14_3" index="20294" value="1"/>	2	Malatya	672
2	220	1	Ankara 4	<variable name="X_1_6_152_3_1" index="5499" value="1"/>	2	Balıkesir	663
3	220	1	Çanakkale 3	<variable name="X_1_18_254_14_2" index="19030" value="1"/>	4	Erzurum 2	693
4	250	1	Kocaeli	<variable name="X_1_28_254_13_2" index="29827" value="1"/>	4	Erzurum 1	693
5	280	1	Ankara 7	<variable name="X_1_9_354_11_3" index="9662" value="1"/>	4	Elazığ	622
6	290	1	Çanakkale 1	<variable name="X_1_16_354_9_3" index="17216" value="1"/>	4	Diyarbakır 2	618
7	300	1	Aydın 2	<variable name="X_1_13_252_4_2" index="13423" value="1"/>	2	Bolu	653
8	320	1	İzmir 1	<variable name="X_1_24_352_20_3" index="25712" value="1"/>	2	Tekirdağ	660
9	320	1	Ankara 5	<variable name="X_1_6_352_15_3" index="6257" value="1"/>	2	Mersin	661
10	350	1	İstanbul 2	<variable name="X_1_22_352_4_3" index="23504" value="1"/>	2	Bolu	653
11	350	1	Ankara 2	<variable name="X_1_4_352_24_3" index="4124" value="1"/>	2	Zonguldak 2	646
12	360	1	Adana 2	<variable name="X_1_2_354_8_3" index="2093" value="1"/>	4	Diyarbakır 1	618
13	380	1	Kocaeli	<variable name="X_1_28_152_24_1" index="29322" value="1"/>	2	Zonguldak 2	646
14	390	1	Ankara 8	<variable name="X_1_10_352_9_3" index="10559" value="1"/>	2	Kahramanmaraş	638
15	410	1	Ankara 5	<variable name="X_1_7_352_10_3" index="7322" value="1"/>	2	Karabük	635
16	420	1	Kocaeli	<variable name="X_1_28_352_16_3" index="30020" value="1"/>	2	Muğla	633
17	430	1	Bursa 2	<variable name="X_1_15_152_23_1" index="15279" value="1"/>	2	Zonguldak 1	646
18	430	1	Çanakkale 1	<variable name="X_1_16_152_21_1" index="16353" value="1"/>	2	Trabzon	641
19	430	1	İstanbul 1	<variable name="X_1_21_252_10_2" index="22081" value="1"/>	2	Karabük	635
20	440	1	Kayseri	<variable name="X_1_27_252_16_2" index="28579" value="1"/>	2	Muğla	633

Tablo 3. Örnek atama sonuçları (En küçük puan sıralı – 5. Bölge)

SIRA	HİZMET PUANI	ATAMA ÖNCESİ		ATAMA SONUCU	ATAMA SONRASI		GÖREV PUANI
		BÖLGE	GÖREV YERİ		BÖLGE	GÖREV YERİ	
1	250	5	Diyarbakır Lice	<variable name="X_5_2_351_6_3" index="123857" value="1"/>	1	Ankara 5	1.000
2	250	5	Şırnak Beytüşşebap	<variable name="X_5_5_151_8_1" index="126381" value="1"/>	1	Ankara 6	1.000
3	260	5	Şırnak Çakırsöğüt	<variable name="X_5_6_351_9_3" index="128186" value="1"/>	1	Ankara 7	1.000
4	370	5	Diyarbakır Silvan	<variable name="X_5_3_352_21_3" index="125075" value="1"/>	2	Trabzon	641
5	430	5	Hakkari	<variable name="X_5_4_351_11_3" index="126032" value="1"/>	1	Antalya	702
6	450	5	Şırnak Beytüşşebap	<variable name="X_5_5_251_29_2" index="126805" value="1"/>	1	Konya	701
7	490	5	Şırnak	<variable name="X_5_7_252_13_2" index="129010" value="1"/>	2	Kütahya	632
8	500	5	Hakkari	<variable name="X_5_4_152_16_1" index="125418" value="1"/>	2	Muğla	633
9	500	5	Şırnak	<variable name="X_5_7_151_29_1" index="128604" value="1"/>	1	Konya	701
10	530	5	Şırnak Çakırsöğüt	<variable name="X_5_6_151_20_1" index="127497" value="1"/>	1	Eskişehir	689
11	580	5	Bingöl Kiğı	<variable name="X_5_1_155_1_1" index="122379" value="1"/>	5	Bingöl Kiğı	324
12	580	5	Diyarbakır Lice	<variable name="X_5_2_253_14_2" index="123685" value="1"/>	3	Giresun 2	578
13	640	5	Şırnak	<variable name="X_5_7_352_11_3" index="129365" value="1"/>	2	Karabük Safranbolu	603
14	650	5	Bingöl Kiğı	<variable name="X_5_1_352_6_3" index="122870" value="1"/>	2	Edirne	597
15	650	5	Şırnak Beytüşşebap	<variable name="X_5_5_353_19_3" index="127301" value="1"/>	3	Karaman	535
16	670	5	Diyarbakır Lice	<variable name="X_5_2_155_2_1" index="123462" value="1"/>	5	Diyarbakır Lice	218
17	750	5	Bingöl Kiğı	<variable name="X_5_1_252_2_2" index="122497" value="1"/>	2	Antalya Side	581
18	760	5	Hakkari	<variable name="X_5_4_253_5_2" index="125818" value="1"/>	3	Bartın	535
19	860	5	Diyarbakır Silvan	<variable name="X_5_3_153_32_1" index="124458" value="1"/>	3	Şanlıurfa	494
20	870	5	Diyarbakır Silvan	<variable name="X_5_3_253_25_2" index="124798" value="1"/>	3	Manisa Kırkağaç	473

Ayrıca tercih sırası toplamları ve toplam maliyet kısıtları kullanılarak karar vericiye farklı alternatifler sunan çözümler bulunmuştur. Görev yerinin yoğunluğu, yerleşim yerinin nüfusu, eğitim ve sağlık imkânları, gelişmişlik durumu gibi birden fazla kriterin dikkate alınması ile personele çalıştığı süreye göre verilen hizmet puanı, adaleti sağlama noktasında tercih ve atama maliyetlerine nazaran personel atamalarında daha belirleyici konumdadır. Bu maksatla personel ve görev puanları amaç fonksiyonunda kullanılmış, buna karşın personel memnuniyetini sağlayan tercihler ile kuruma fayda sağlayan atama maliyetleri kısıt olarak modellenmiştir. Tablo 4’de farklı P_i ve C_i eşik değerleri ile elde edilen problemlerin amaç fonksiyonu değerleri verilmiştir.

Tercih kısıtları için seçilen eşik değerler tercih sıralarına göre belirlenmiştir. Mevcut durumda 100 tane batı, 50 tane doğu olmak üzere toplam 150 tercih hakkı verilmektedir. Karar vericiye seçim hakkı sunmak için tüm personelin mümkün oldukça ilk 5 tercihlerinden birine atanmasından başlayarak ilk 180 tercihi arasında herhangi bir tercihe atanmasına varan farklı eşik değerlere göre çözümler yapılmıştır. Deneyler Intel(R) Core(TM) i3-4030U CPU 1.90 GHz, 4 GB RAM özelliğindeki bilgisayar ortamında Cplex Studio V12.6 programı kullanılarak yapılmıştır. Karar vericinin seçtiği eşik değeri küçüldükçe personelin öncelikli tercihlerinden birine atanması yapılacak, eşik değeri büyüdükçe personelin öncelikli tercihlerinin dışında atanması olacaktır.

Karar vericiye farklı alternatifler arasında seçim yapmasını sağlamak amacıyla farklı maliyet eşik değerleri P_i ve C_i eşik değerlerinden oluşan alternatifler sunulmuştur. Elde edilen parametreler kullanılarak farklı P_i ve C_i eşik değerleri ile birçok çözüm elde edilerek, bu parametrelerin değerlerinin değişiminin amaç fonksiyonu üzerindeki etkileri incelenmiştir.

DeneySEL analiz yapmak amacıyla 20 farklı tercih eşik değeri ve 20 farklı atanma maliyeti için toplam 400 problem oluşturulup çözülmüştür. Tespit edilen toplam tercih sayısı (P_i) ve toplam maliyet (C_i) eşikleri her adımda azaltılarak çözülen problemlerden 286 tanesinde uygun çözümler elde edilmiştir. P_i ve C_i eşik değerlerinin en büyük değerlere yaklaşması ile 114 problemde “çözüm alanı boş” sonucuna ulaşılmıştır. Böylece, tercih sayısının ve birim maliyetin değişimi incelenirken karar vericiye, tercih ve toplam maliyet eşiklerine göre farklı alternatif çözümler sunulmuştur.

Tablo 4. Farklı P_i ve C_i eşik değerleri ile elde edilen alternatif çözümler

Terah Svayt	Birim Maliyet	300.000	290.000	280.000	270.000	260.000	250.000	240.000	230.000	220.000	210.000	200.000	190.000	180.000	170.000	160.000	150.000	140.000	130.000	120.000	110.000
* F(X)	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{15}	C_{16}	C_{17}	C_{18}	C_{19}	C_{20}	C_{21}
180	P_1	* 220	220	222	298	442	724	1.236	2.265	4.805	9.446	14.909	24.197	39.521	66.754	112.577	183.573	310.510	767.589	Çözüm Yok	Çözüm Yok
170	P_2	220	220	222	298	448	1.000	1.235	2.386	4.805	8.878	15.078	24.197	39.521	66.756	112.577	183.066	310.005	767.598	Çözüm Yok	Çözüm Yok
160	P_3	220	220	222	298	441	724	1.236	2.314	4.805	8.930	14.975	24.197	39.752	66.754	112.264	183.702	310.574	767.695	Çözüm Yok	Çözüm Yok
150	P_4	220	406	224	299	896	746	1.249	2.391	4.805	9.202	15.062	24.538	39.801	66.978	112.614	183.963	311.310	769.709	Çözüm Yok	Çözüm Yok
140	P_5	220	220	234	316	479	792	1.333	2.473	5.017	9.190	15.819	24.853	40.325	68.319	113.983	186.130	315.328	778.151	Çözüm Yok	Çözüm Yok
130	P_6	236	241	278	1.505	809	1.046	1.719	2.744	5.306	9.707	16.256	25.457	41.243	69.384	116.977	190.744	320.623	799.621	Çözüm Yok	Çözüm Yok
120	P_7	306	316	386	535	751	1.981	1.944	3.276	6.099	10.433	16.994	26.960	43.308	73.745	121.781	196.216	329.836	846.982	Çözüm Yok	Çözüm Yok
110	P_8	437	464	563	1.551	1.100	1.592	2.515	4.561	7.074	11.966	18.441	29.010	46.713	77.136	128.336	204.923	343.776	952.621	Çözüm Yok	Çözüm Yok
100	P_9	755	1.464	1.094	1.210	2.579	2.490	3.452	5.673	8.696	13.818	21.401	32.559	56.665	83.113	136.398	216.254	366.971	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok
90	P_{10}	1.294	2.247	1.449	1.833	2.549	3.520	5.186	7.419	11.256	16.915	24.494	36.481	65.665	93.116	149.010	234.500	404.836	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok
80	P_{11}	2.243	2.074	2.573	3.382	4.441	5.521	7.770	10.710	14.948	20.535	29.905	43.575	65.317	105.439	167.943	265.644	460.389	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok
70	P_{12}	4.017	4.032	4.688	5.397	6.914	8.572	11.213	14.898	20.029	26.895	38.296	54.316	84.316	124.611	193.554	307.222	543.950	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok
60	P_{13}	8.042	8.164	8.956	10.136	11.398	13.845	17.198	22.449	27.647	38.506	51.764	71.943	104.896	154.690	236.143	383.440	723.082	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok
50	P_{14}	15.804	15.609	16.606	18.381	20.313	23.614	27.218	33.672	42.899	55.249	73.779	101.281	144.862	209.697	323.299	546.337	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok
40	P_{15}	31.767	31.830	33.118	35.902	39.419	44.285	52.155	61.377	75.106	91.106	118.966	118.966	118.966	331.280	534.492	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok
30	P_{16}	79.268	79.964	80.540	84.841	90.973	101.207	116.337	135.238	159.732	196.711	251.066	251.066	484.854	811.533	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok
20	P_{17}	257.886	257.757	262.500	273.384	294.154	328.161	376.661	443.947	553.967	791.143	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok
15	P_{18}	965.161	1.065.142	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok
10	P_{19}	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok
5	P_{20}	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok	Çözüm Yok

* F(X) değeri çok basamaklı bir değer olduğundan her birinden 11897000 değer alınarak sadeleştirilmiştir.

Tüm personelin,; mümkün oldukça ilk 15 tercihlerinden birine atanması (P_{18}) için 2 farklı çözüm, ilk 20 tercihlerinden birine atanması (P_{17}) için 10 farklı çözüm, ilk 30 tercihlerinden birine atanması (P_{16}) için 14 farklı çözüm, ilk 40 tercihlerinden birine atanması (P_{15}) için 15 farklı çözüm, ilk 50 tercihlerinden birine atanması (P_{14}) için 16 farklı çözüm, ilk 60, 70, 80, 90 ve 100 (P_{13} , P_{12} , P_{11} , P_{10} , P_{09}) tercihlerinden birine atanması için 17'şer farklı çözüm olmak üzere toplam 85 çözüm elde edilmiştir. Farklı atama maliyetlerine sahip benzer alternatif çözümler Tablo 4'de verilmiştir. Geliştirilen atama modeli 10 tane farklı parametre ile çözümlenerek test edilmiştir. Birbirinden farklı parametrelerle hedeflenen atamalar gerçekleştirilmiştir.

5. Sonuç ve Öneriler

Önerilen model, güvenlik hizmetini yürüten bir kamu kurumunun atama sistemine özgün bir personel atama problemini çözmek için geliştirilmiştir. Disipline dayalı yerleşik bir hiyerarşik sistem yapısına sahip kurumda, farklı rütbe seviyelerinde ve farklı ihtisas alanlarında personel çalıştırılmaktadır. Geliştirilen personel atama modeli ile Cplex programı yardımıyla bir dakikadan kısa sürede kurumun mali işlemlerini yürüten 360 personelin ataması yapılmıştır. Geliştirilen model ile kurumda, rütbe aralıklarına göre değişen görev tiplerine rütbe aralıkları dikkate alınarak atama gerçekleştirilmiştir. Sosyo-ekonomik gelişmişlik düzeyi açısından farklılık gösteren görev bölgelerinin varlığı nedeniyle, personelin müteakip dönemlerde aynı bölgelerde çalışması modele eklenen rotasyon kısıtları yardımıyla engellenmiştir. Görev süresi kısıtları ile görev süresi dolmayan ancak bir üst rütbeye yükselecek personelin aynı yerde uygun kadroya atanmasına imkân sağlanarak rütbe kadro uyumsuzluğunun önüne geçilmiştir. Görev süresi kısıtları aynı zamanda asgari çalışma süresini dolduran personeli rotasyona zorlayarak rotasyon kısıtları ile birlikte ülkenin doğu ve batı bölgeleri arasında dengeli atama döngüsü sağlanmıştır. Sabit kısıtlara ilave edilen esnek tercih sırası ve toplam maliyet kısıtları ile karar vericiye alternatif çözümler üretilmiştir. Böylece personelin tercihlerine atanma memnuniyeti yükseltilirken atanma maliyetleri kontrol altında tutulabilmektedir.

Tasarlanan modelin literatürdeki atama modellerinden en önemli farklarından biri; birikimli hizmet puanı yerine ortalama hizmet puanlarının görev yeri puanları ile birlikte kullanılmasıdır. Bu kullanım ile toplam hizmet süresi az olan personel ile hizmet süresi fazla olan personel arasındaki birikimli hizmet puanından kaynaklanan fırsat eşitsizliği ortadan kalkmaktadır. Her atama döneminde ortalama hizmet puanları oluşan denge ile kritik olup tercih edilmeyen görevlerde tecrübeli personelin çalıştırılması imkânlı hale gelmektedir.

Birçok kamu kurumu birikimli hizmet puanını esas alarak sadece atama tercihi isteyen personelin atamasını yapmaktadır. Rotasyon uygulamayan kurumlarda personel başladığı görev yerinde emekli olana kadar çalışabilmektedir. Personelin düzeni değişmediği için bir personel için memnuniyet verici olan bu durum, aynı görevde çalışmak için bekleyen başka bir personel için motivasyon kaybına dönüşebilir. Ayrıca personeli sürekli aynı yer ve görevde çalıştırmak işletme körlüğü riskini arttırmaktadır. Çalışanlara fırsat eşitliği sunmak ve görev etkinliklerini artırmak için önerilen model diğer kurumlarda da kullanılabilir.

Tasarlanan atama modeli ile kurumun mali işlemlerini yürüten personelin atama çalışması yapılmıştır. Model, kurumun diğer ihtisas branşlarını kapsayacak şekilde veya benzer özellikteki kurumlarda uygulanabilir. Sonraki aşamalarda daha fazla sayıda personel atamalarının makul sürede yapılabilmesi için sezgisel teknikler geliştirilebilir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Cemil Şimşek, problemin ortaya konması, literatür taraması ve makalenin oluşturulmasında, Berna Dengiz, Esra Karasakal ve Yusuf Tansel İç ise matematiksel modelin geliştirilmesinde, makalenin kavramsal çerçevesinin oluşturulmasında, makalenin sunumu ve makale yazım kontrolünün yapılarak düzenlenmesinde katkı sağlamışlardır. Bu çalışma 1. yazarın doktora tezinden üretilmiştir.

Teşekkür

Makalenin daha iyi bir hale gelmesine katkı sunan editöre, alan editörüne ve anonim hakemlere teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Aksakal, E. ve Dağdeviren, M.(2015). Yetenek yönetimi temelli personel atama modeli ve çözüm önerisi. *Gazi Ünv. Müh. Mim. Fak. Der.*,30-2(249-262). Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/76571>
- Bouajaja, S. ve Dridi, N.(2017). A survey on human resource allocation problem and its applications. *Operational Research*, 17(339–369). doi: <https://doi.org/10.1007/s12351-016-0247-8>
- Bulut, A.(2019). Personel devamsızlığında atama ve dengeleme problemi için karar destek sistemi önerisi: bir uygulama. (*Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Tez No:558161*). Erişim adresi: <https://www.tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tarama.jsp>
- Charnes, A., Cooper, W. W. Niehaus, R. J., ve Stedry, A.(1969). Static and dynamic assignment models with multiple objectives, and Some Remarks on Organization Design. *Management Science*, 365-B375, doi: <https://doi.org/10.1287/mnsc.15.8.B365>
- Çiçek, i.(2016). Jandarma Genel Komutanlığı için personel atama süreci ve karar destek sistemi. (*Gazi Üniversitesi Doktora Tezi No: 449429*). Erişim adresi: <https://www.tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tarama.jsp>
- Çimen, Z.(2001). A multi objective decision support model forthe Turkish Armed Forces personel assignment system. *Thesis, Department of The Airforce Air University, Ohio*. Erişim adresi: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA391070.pdf>
- Dasgupta, D., Hernandez, G., Garrett, D., Vejandla, P.K., Kaushal, A., Yerneni, R. Ve Simien, J.(2008). A comparison of multi objective evolutionary algorithms with informed initialization and Kuhn-Munkres Algorithm for the sailor assignment problem. *Proceedings of the 2008 GECCO Conference Companion on Genetic and Evolutionary Computation*, 2129–2134. doi: <https://doi.org/10.1145/1388969.1389035>
- Dasgupta, D., Nino, L.F., Garrett, D., Chaudhuri, K., Medapati, S., Kaushal, A. ve Simien J.(2009). A multiobjective evolutionary algorithm for the task based sailor assignment problem. *Gecco*. doi: <https://doi.org/10.1145/1569901.1570099>
- Dasgupta, D., Becerra, D., Banceanu, A., Nino, F., Simien, J., Hernandez, G., . Garrett, D., Vejandla, P. K., Kaushal, A., Yerneni, R., ve Simien, J.(2010). Parallel framework for multi-objective evolutionary optimization. *IEEE*. doi: <https://doi.org/10.1109/CEC.2010.5586119>
- Erciyes, E.(2004). İl Jandarma Komutanlıklarında Jandarma Astsubayların Atanması İçin Karar Destek Sistemi. (*Kara Harp Okulu Yüksek Lisans Tezi, Tez No:143769*). Erişim adresi: <https://www.tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tarama.jsp>
- Erter, K.(2021). Uygunluk Kısıtlı Çok Kaynaklı Genelleştirilmiş Atama Problemi İçin Bir Tavlama Benzetimi Algoritması. (*Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Tez No:667109*). Erişim adresi: <https://www.tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tarama.jsp>
- Garrett, D., Dasgupta, D., Vannucci, J. ve Simien, J.(2005). A Hybrid multi objective evolutionary algorithm for the sailor assignment problem. *IEEE Transaction on Evolutionary Computation*. doi: <https://doi.org/10.1.1.422.2948>
- Garrett, D., Vannucci, J., Silva, R., Dasgupta, D. ve Simien J.(2005). Genetic algorithms for the sailor assignment problem. *Genetic and Evolutionary Computation Conference*, 1921-1928. doi: <https://doi.org/10.1145/1068009.1068333>
- Gärdenfors, P.(1973). Assignment problem based on ordinal preferences. *Management Science*, 331-340. doi: <https://doi.org/10.1287/mnsc.20.3.331>
- Ghaemi, R., Shekofteh, K., Khakmardan, S., Poostchi, H. ve Farimani, M.(2014). Evaluation of efficiency of new combined PSO-EO algorithm in solving sailor assignment problem. *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences*, 2231-6345.
- Gökkaya, H. ve Kellegöz, T.(2017). Personel tayin işlemleri için AHP, TOPSİS ve Macar algoritması tabanlı karar destek modeli. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 28-1, Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/747544>
- Gupta, P., Mehlatav, M.K. ve Mittal, G.(2013). A fuzzy approach to multicriteria assignment problem using exponential membership functions. *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, 4(647–657). doi: <https://doi.org/10.1007/s13042-012-0122-8>

- Güzel D., Erdal, H. ve Acar, E.(2015). Kolluk kuvvetlerinin hizmet üretim etkinliğinin artırılmasına yönelik bir model önerisi: Bütünleşik araç atama problemi. *International Journal of Social Science*, 40(463-483). doi: <http://dx.doi.org/10.9761/JASSS3111>
- İlkuçar, M. (2012). Hekim atama problemi. (*Süleyman Demirel Üniversitesi Doktora Tezi, Tez No:321849*) Erişim adresi: <https://www.tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tarama.jsp>
- Jandarma Genel Komutanlığı Subay, Astsubay ve Uzman Jandarma Personel Atama Yönetmeliği. (2021, 10 Mayıs). *Resmi Gazete* (Sayı:31480).
- Kara, İ.(2010). Doğrusal Programlama. *Bilim Teknik*, Ankara.
- Khanna, S., Dholakiya, T., Prakash, S. ve Gupta, S. (2021). Application of the hungarian assignment method in the aviation industry. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 6-10(2456-2165). Erişim adresi: <https://ijisrt.com/application-of-the-hungarian-assignment-method-in-the-aviation-industry>
- Klingman, D. ve Philips, N. V.(1984). Topological and computational aspects of preemptive multicriteria military personnel assignment problems. *Management Science*, 30-11(1362-1375), Erişim adresi: <https://www.jstor.org/stable/2631571>
- Korkmaz, İ.(2007). AHP ve iki taraflı eşleme algoritmasının Silahlı Kuvvetler personel atamasında kullanımı: Bir karar destek sistemi uygulaması. (*Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Tez No: 212850*). Erişim adresi: <https://www.tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tarama.jsp>
- Korkmaz, İ., Gökşen, H. ve Çetinyokuş, T. (2008). An analytic hierarchy process and two-sided matching based decision support system for military personnel assignment. *Information Sciences*, 178(2915-2927). do: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2008.03.005>
- Krass, I. A.(1987). An Alternative Algorithm for Optimizing Personnel Assignment in the Navy, *Navy Personnel Research and Development Center, San Diego California*. Erişim adresi: <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a185921.pdf>
- Kuhn, H.W.(1955). The hungarian method for the assignment problem. *Naval Research Logistics Quarterly*, 2(83-97). doi: <http://dx.doi.org/10.1002/nav.3800020109>
- Land, A. H.(1963). A problem of assignment with inter-related cost. *Operational Research Society*, 14-2(185-199) doi: <https://doi.org/10.2307/3007372>
- Lee, S.M., ve Schniederjans, M. J.(1983). A multicriteria assignment problem: A goal programming approach. *The Institute of Management Sciences*, 75-81. Erişim adresi: <https://www.jstor.org/stable/25060447>
- Lewis, M. W., Lewis, K. R. ve White, B. J.(2006). Guided design search in the interval-bounded sailor assignment problem. *Computing Operation Research*, 33-6(1664–1680). doi: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2004.11.012>
- Liang, T. T. ve Thompson, T. J.(1986). Optimizing personnel assignment in the Navy: The seaman, fireman and airman application. *Navy Personnel Research and Development Center*. Erişim adresi: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA169923.pdf>
- Lin, S. Y., Horng, S. J., Kao T. W., Fahn, C. S., ve Huang, D. K., Run, R. S., Wang, Y. R. ve K, I. H.(2012). Solving the bi-objective personnel assignment problem using particle swarm optimization. *Elsevier*, 9(2840–2845). doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2012.03.031>
- Parikh, S. C. ve Wets, R.(1964). Optimality properties of a special assignment problem. *Operations Research*, 12(139-142). Erişim adresi: <https://www.jstor.org/stable/167759>
- Pavlik, J. A., Ludden, L. G. ve Sewel, E. C.(2021). Airplane seating assignment problem, *Service Science*, 13-1. doi: <https://doi.org/10.1287/serv.2021.0269>
- Pentico, D. W.(2007). Assignment problems: A golden anniversary survey. *European Journal of Operational Research*, 176-2(774-793). doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.09.014>
- Pierskalla, W. P.(1968). The Multidimensional assignment problem. *Operations Research*, 16-2(422-431). Erişim adresi: <https://www.jstor.org/stable/168768>
- Portilla, B. ve Alfredo, J.(2010). An experimental comparison of distributed algorithms simulating human detailers and an extension of the Kuhn-Munkres Algorithm for SAP. *Master Of Sciences, National University of Colombia*. Erişim adresi: <http://www.bdigital.unal.edu.co/2702/1/299699.2010.pdf>
- Toroslu, İ. H.(2003). Personnel assignment problem with hierarchical ordering constraints. *Computers&Industrial Engineering*, 45(493–510). doi: [https://doi.org/10.1016/S0360-8352\(03\)00045-7](https://doi.org/10.1016/S0360-8352(03)00045-7)

- Toroslu, İ. H. ve Arslanoğlu Y.(2009). Genetic algorithm for the personel assignment problem with multiple objectives. *Information Sciences*, 177(787–803). doi: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2006.07.032>
- Trippi, R. R., Ash, A. W. ve Ravis, J. V.(1974). A mathematical approach to large scale military personnel assignment. *Computers & Operations Research*, 1-1(111-117), doi: [https://doi.org/10.1016/0305-0548\(74\)90078-1](https://doi.org/10.1016/0305-0548(74)90078-1)
- Tutumlu, B., Aygün, B. ve Saraç, T.(2020). İşçilerin sağlık ve yetenek seviyelerine göre iş istasyonlarına kısmi ya da tam kapasiteli olarak atanması problemi için bir çözüm yaklaşımı. *Journal of Industrial Engineering*, 31-1(18-27). Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1057415>
- Öncan, T.(2007). A survey of the generalized assignment problem and its applications. *Information Systems and Operational Research*, 45-3. doi: <https://doi.org/10.3138/infor.45.3.123>
- Votaw, D. F. ve Orden, A.(1952). The personnel assignment problem, Erişim adresi: <https://web.eecs.umich.edu/~pettie/matching/Votaw-Orden-personnel-assignment-problem.pdf>



Journal of Turkish Operations Management

Ekip çizelgeleme problemi: Filyasyon ekibi çizelgeleme

Müberra Koçak¹, Feyzanur Calku², Merve Gündaş³, Zümra Poyraz⁴, Emre Yazıcı⁵, Hacı Mehmet Alakaş^{6*}

¹ Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale
e-mail: muberrakocak@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-2096-0127>

² Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale
e-mail: feyzacalku@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-1673-2981>

³ Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale
e-mail: gundas.mrv@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0003-0591-2597>

⁴ Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale
e-mail: zmrpyrz@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-4742-2134>

⁵ Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale
e-mail: emreyazici92@hotmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-3661-2119>

⁶ Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale
e-mail: hmalagas@kku.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-9874-7588>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş:
13.04.2022
Revizyon:
28.07.2022
Kabul:
26.08.2022

Anahtar Kelimeler:

Filyasyon,
Ekip Çizelgeleme,
Personel Çizelgeleme,
0-1 Tamsayı Programlama
Hedef Programlama

Özet

Teknik alanda yıllardır kullanılan filyasyon kelimesi pandemi sürecinde sıkça kullanılarak günlük hayatımızda yerini almıştır. Filyasyon, bulaşıcı hastalık görüldüğünde koruma ve kontrol önlemlerinin alınması amacı ile hastalığı taşıyan kişinin tespiti ve temas ettiği herkesin o hastalık açısından taranması için yapılan bütün çalışmalardır. Pandemi sürecinde yürütülen filyasyon çalışmaları ile pandemi seyrinin kontrol altına alınması amaçlanmaktadır. Bu süreçte iş yükü en çok artan meslek gruplarının başında filyasyon ekipleri gelmektedir. Bu sürecin en az hasarla en kısa zamanda atlatılabilmesi, filyasyon çalışmalarının etkili ve doğru bir biçimde yürütülebilmesi ve filyasyon ekibinde görev alan personellerin hem kişisel yaşamlarını hem de vermiş oldukları sağlık hizmetini verimli bir şekilde devam ettirebilmek için etkin bir ekip çizelgesine ihtiyaç vardır. Yapılan çalışmada, Kırıkkale iline bağlı bir ilçede yürütülen filyasyon çalışmalarında görev alan 15 personelin çizelgenmesi ele alınmıştır. Oluşturulan matematiksel modelde iki hedef kısıtı bulunmaktadır. Birinci hedef kısıtı: Tüm personellerin çalıştıkları toplam gün sayısı birbirine eşit olmalıdır. İkinci hedef kısıtı: Her personelin hafta sonu çalıştıkları toplam gün sayısı birbirine eşit olmalıdır. Matematiksel model ILOG CPLEX Studio IDE optimizasyon paket programına ilgili verilerin girilmesi ile çözülmüştür. Elde edilen çözümde amaç fonksiyonu değeri 3 olarak bulunmuştur. Mümkün olduğunca adil ve dengeli bir çizelge elde edilmiştir.

Crew scheduling problem: Filiation crew scheduling

Article Info

Article History:

Received:
13.04.2022
Revised:
28.07.2022
Accepted:
26.08.2022

Keywords:

Filiation,
Team Scheduling,
Personnel Scheduling,
0-1 Integer Programming,
Goal Programming

Abstract

The word filiation, which has been used in the technical field for years, has been used frequently during the pandemic process and has taken its place in our daily lives. Filiation is all the work done to detect the person who has the disease and to screen everyone he comes in contact with for that disease to take protection and control measures when an infectious disease is seen. The filiation studies carried out during the pandemic process, it is aimed to control the course of the pandemic. In this process, filiation teams are at the forefront of the occupational groups whose workload has increased the most. There is a need for an effective team schedule to get through this process as soon as possible with the least damage, to carry out the filiation work effectively and correctly, and to continue the personal lives of the personnel working in the filiation team, as well as the health services they have provided. In the study, the scheduling of 15 personnel who took part in the filiation studies carried out in a district of Kırıkkale province was discussed. There are two target constraints in the mathematical model created. First target constraint: The total number of days worked by all personnel must be equal. Second target constraint: The total number of days each employee worked on the weekend should be equal. The mathematical model is solved by entering the relevant data into the ILOG CPLEX Studio IDE optimization package program. In the solution obtained, the objective function value was found to be 3. A fair and balanced schedule has been achieved as much as possible.

1. Giriş

Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tarafından yapılan tanıma göre nüfusun daha önce maruz kalmadığı bir hastalığın ortaya çıkması, hastalık etkeninin insanlara bulaşması ve tehlikeli bir hastalığa neden olması ve insanlar arasında da hızlı ve kolay bir biçimde yayılması durumu pandemiye oluşturmaktadır.

COVID-19 pandemisinin kontrol altına alınabilmesi amacıyla çeşitli çalışmalar yürütülmektedir. Filyasyon, bu çalışmaların başında gelmektedir ve kritik öneme sahiptir. Fransızca'da köken alma anlamında kullanılan bu terim, pandemiden önce bulaşıcı hastalıklarda hastalığın kaynağın araştırılmasını ifade etmek amacıyla kullanılmıştır. Pandemide ise filyasyon, enfekte kişilerin temaslarını tespit etme ve bu kişilerin hastalık açısından incelenmesi çalışmalarını ifade etmektedir.

Pandemi ile mücadelede ülkelerin sağlık sistemlerinin kapasitesi önemli bir faktördür. Bu mücadelenin en önemli unsuru, rutin sağlık hizmetlerine devam ederken bir taraftan da pandemiye yönelik hizmetlerde aktif görev alan sağlık personelleridir. Personellerin verimli çalışabilmek için etkin bir çalışma çizelgesine ihtiyaçları vardır.

Çizelgeleme, belirli hedefleri yerine getirebilmek amacı ile mevcut kısıtları da göz önünde bulundurarak makine, personel ve zaman gibi sınırlı kaynakların istenen işlere atanması işlemidir. (Bahçel, 2022). Literatürde sağlık alanı dışında eğitim, ulaşım, lojistik ve savunma sanayi gibi sektörlerde de birçok çizelgeleme çalışması bulunmaktadır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde uzun mesai saatlerinin personellerin fiziksel ve psikolojik olarak olumsuz yönde etkilemesi, personelin verdiği hizmetin niteliğine de yansıtacağından dolayı mümkün olduğunca adil ve dengeli çizelgeler oluşturularak personel ve müşteri memnuniyetinin sağlanması hedeflenmektedir.

Bu çalışmada literatürde ele alınan sağlık personeli çalışmalarından farklı olarak filyasyon ekiplerinin oluşturulması ve çizelgelenmesi ele alınmıştır. Çalışma kapsamında Kırıkkale'nin bir ilçesi için filyasyon ekipleri oluşturulmuş ve ekiplerin mart ayı çalışma çizelgesi hazırlanmıştır. Bu çalışmada hedef programlama yöntemi kullanılarak oluşturulan matematiksel model ile filyasyon ekipleri için etkin bir çizelge oluşturularak ekiplerin daha verimli çalışabilmesi bu sayede hem vakaların düzenli takibi yapılarak pandemi seyrinin kontrol altına alınmasına katkı sağlanması hem de gerekli minimum personel ile çalışmaların verimli yürütülmesi sonucunda ekonomik açıdan fayda sağlanması hedeflenmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde literatürde yer alan çalışmalardan bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde personel çizelgeleme problemi anlatılmıştır. Dördüncü bölümde matematiksel programlama modeli hakkında bilgi verilmiştir. Beşinci bölümde problemin çözümüne ilişkin uygulamaya yer verilmiştir. Son bölüm olan Altıncı bölümde ise yapılan çalışmanın sonuçlarına yer verilmiş ve gelecekte yapılabilecek çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

2. Literatür taraması

Literatürde, bir işi birden fazla çalışanın aynı anda yapma gerekliliği bazı çalışmalarda eş zamanlılık olarak ele alınmaktadır. Bu durum, ekip oluşturma gerekliliğini beraberinde getirmektedir (Kutayer Bilgin, Yücel ve Kuyzu, 2018). Filyasyon ekibinde görev alan personellerin çizelgelenmesi personel çizelgeleme problemleri arasında yer almaktadır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde personel çizelgeleme problemlerinde hedef programlamanın çok fazla tercih edilen bir yöntem olduğu görülmüştür.

İpekçi Çetin, Kuruüzüm ve Irmak (2008), çalışmalarında küme bölme modeli formunda ifade edilen ekip eşleştirme probleminin tamsayılı programlama ile çözümünü MATLAB programında gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada uygulamanın ikinci kısmını oluşturan ve ekip eşleştirme sonuçlarının girdi olarak kullanıldığı ekip atama problemini küme bölme modeline dönüştürüp tamsayılı programlama yöntemiyle çözmüşlerdir.

Çankaya ve Arıkan (2009), yaptıkları çalışmada ekip çizelgeleme probleminin çözümünde değişkenlerin dinamik olarak üretildiği sütun oluşturma algoritmasını kullanmışlardır. Ana problemi küme kapsama problemi, alt problemi ise en kısa yol problemi olarak formüle etmişlerdir ve başlangıç eşleştirmesi bir doğrusal programlama modeli kullanılarak oluşturulmuştur. Ana problem, alt problem ve başlangıç eşleştirmelerini oluştururken kullanılan model bütünleşik olarak GAMS optimizasyon programında kodlanmış ve çözmüşlerdir. Algoritmayı özel bir havayolu şirketinden alınan verilere uygulamışlar ve optimal ekip çizelgeleri oluşturmuşlardır.

Danış Öncül (2012), yaptığı bu çalışmada hafif-raylı sistemler için tarife oluşturma ve ekip atama problemlerinin birlikte çözülmesi amacıyla yeni bir model önerisinde bulunmuştur. Yöntem olarak karışık tamsayılı programlamayı kullanmış olup çalışmada sunulan modellerin doğruluğunun onaylanmasını, gerçek hayattan alınan verilerle CPLEX algoritması kullanarak gerçekleştirmiştir.

Üstündağ (2014), yaptığı çalışmada ekip çizelgeleme problemini sütun oluşturma algoritması kullanarak, ekip atama problemini ise DELPHI programlama dili ile yazılan rassal atama yöntemini kullanarak çözmüştür.

Özçalıcı (2016), çalışma kapsamında Kilis 7 Aralık Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi bahar döneminde yapılan ara sınavlarına gözetmen atama problemini ele almıştır. Atamayı gerçekleştirmek için Microsoft Excel çalışma sayfası kullanmayı önermiştir. Literatürdeki tek çalışma olma özelliği taşımaktadır.

Özder, Varlı ve Eren (2017), bu çalışmada bir üniversite hastanesindeki 70 temizlik personelinin 1 aylık çizelge planını oluşturmuşlardır. Hedef programlama ile kurulan matematiksel modelin çözümü ILOG CPLEX Studio IDE Optimizasyon programı ile elde edilmiştir.

Kutayer Bilgin ve diğ. (2018), çalışmasında birden fazla konumda, farklı önceliklere sahip ve farklı yetenek ihtiyaçları olan işler için en uygun teknisyen ekibinin ve sıralı iş listelerinin optimal bir şekilde belirlenmesi probleminin söz etmiştir. İlk olarak problemin matematiksel modeli kurulmuştur. Problem boyutunun büyüme durumu için ise üç aşamalı bir sezgisel yöntem geliştirmiştir.

Koçtepe, Bedir, Eren ve Gür (2018), yaptıkları çalışmada bir Bölge Bayii Toplantı Organizasyonu personellerini yetkinliklerine göre çizelgelemişlerdir. Modeli kurmak için 0-1 tam sayılı programlama kullanılmış 7 gün, 2 vardiya ile 80 personelin yer aldığı organizasyonun çizelgelemesi gerçekleştirilmiştir.

Üzülmez, Ateş ve Çalışkan (2018), yaptıkları çalışmada satır ve sütun yaklaşımı, şebeke yaklaşımı, yapısal sezgiseller ve matematiksel programlama gibi yöntemler kullanılarak özel bir hava kargo işletmesinde en az uçuş saatine sahip olan ekibin yeni rotalarının başlangıç noktasına gelmesi durumunda yeni uçuş atayacak ve uçuşun hangi ekip ile gerçekleşeceğini gösteren bir program geliştirmişlerdir. Bu programın geliştirilmesinde MATLAB programı kullanılmıştır.

Yelek, Demirel, Alağaç ve Eren (2018), yaptıkları çalışmada Kırıkkale Üniversitesi Merkez Kütüphanesinde kısmi zamanlı olarak çalışan öğrenciler için bir aylık vardiya çizelgesi oluşturmayı amaçlamışlardır. Çizelge oluşturulurken öğrencilerin özel istekleri göz önünde bulundurularak, problem hedef programlama yöntemi ile çözülmüştür.

Eren, Özder, Alakaş ve Özcan (2019), çalışmalarında bir üniversite kampüsündeki 3 vardiya ile çalışan 75 güvenlik personelinin çizelgesini planlamışlardır. Modeli oluşturmada kısıt programlama yöntemi kullanarak ILOG CPLEX Studio IDE Optimizasyon programı ile çözümünü gerçekleştirmişlerdir. Bu modelin personel tercihlerini dikkate alması ve personeli eşit vardiyalara ataması önemli özelliklerindedir.

Kaçmaz, Alakaş ve Eren (2020), yaptıkları çalışmada imalat sektöründeki bir fabrikanın ergonomik personel çizelgeleme problemini ele almışlardır. Personellerin çalışma anındaki pozisyonlarının analizi REBA yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Bunun dışında hedef programlama yöntemi kullanılarak oluşturulan modelin çözümü ILOG CPLEX Studio IDE ile gerçekleştirilmiştir.

Koçtepe, Alakaş, Gür ve Eren (2019), çalışma kapsamında bir basketbol karşılaşması organizasyonundaki personellerin çizelge planını oluşturmuşlardır. Personel yetkinlikleri göz önüne alınarak ve 0-1 tam sayılı programlama yöntemi kullanılarak 120 personel için 2 gün 2 vardiyalı bir çizelge elde edilmiştir.

Cürebal, Koçtepe ve Eren (2020), çalışmalarında önemli bir turistik bölgede tanıtım amacıyla yürütülen 15 gün sürecek bir etkinliğin personel çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Etkinlikte 84 personelin 6 görev için atamaları yapılmıştır. Görevlerin önceliklendirilmesinde Analitik Hiyerarşi Prosesi yönteminden yararlanılmış olup daha sonra hedef programlama yönteminden de yararlanılarak personel yetkinlikleri ve görev önem derecelerini dikkate alan bir matematiksel programlama modeli kurulmuştur.

Çavdur, Bağlarbaşı Mutlu ve Sebatlı Sağlam (2020), çalışmalarında öğrenci-proje takımı oluşturma problemi için kullanılabilecek bir karar destek sistemi uygulaması geliştirmişlerdir. Çalışmada tamsayı programlama yöntemi kullanılmıştır. Geliştirilen karar destek sistemi akademik bir kurumda uygulanmıştır.

Pınarbaşı ve Alakaş (2020), orta gerilim sigorta üretimi yapan bir işletmede görev alan personellerin, mümkün olduğu kadar maksimum sayıda görevde çalıştırılması problemi üzerinde durmuşlardır. Problemin matematiksel modelini kurup, kurulan modeli MS Excel çalışma sayfası ve çözücü aracı yardımı ile çözüme ulaştırmışlardır.

Cürebal (2021), çalışmasında üretim sektöründe 7/24 faaliyet gösteren bir kuruluştaki mavi yakalı personellerin 30 günlük atama ve çizelgeleme problemini ele almıştır. Mevcut verilerden yararlanılarak, ele alınan problemler için değişken verilere de hızlı ve doğru cevaplar verebilecek personel atama ve çizelgeleme karar destek sistemi tasarlanmıştır. Çalışma kapsamında 6 farklı problem ele alınmış olup Analitik Hiyerarşi Prosesi, TOPSIS, karma tamsayı doğrusal programlama ve önceliklendirilmiş hedef programlama yöntemleri kullanılmıştır.

Danışman (2021), çalışmasında TODIM ve SWARA yöntemlerini birlikte kullanarak ekip atama probleminin çözümünü ele almıştır. TODIM yönteminde kullanılacak kriterler savunma sanayi sektöründe çalışan uzmanlar tarafından belirlendikten sonra bu kriterlerin ağırlıklandırılması SWARA yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda kriterler arasında en önemlisinin takım çalışmasına yatkınlık ve en önemsiz kriterin çalışma ortamına uyum kriterinin olduğunu görmüştür.

Eren, Koçtepe ve Cürebal (2021), yaptıkları çalışmada bir akaryakıt şirketinin 10 farklı istasyonunda görev alacak 40 personelin ataması ve çizelgelenmesi problemi üzerinde durmuşlardır. Ele alınan problemin çözümünde hedef programlama yöntemi kullanılmıştır.

Supçiller ve Erbilek (2021), çalışmalarında bir üniversite merkez kütüphanesinde kısmi zamanlı olarak çalışan 42 öğrenci için personel çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Çizelge hazırlanırken öğrencilerin haftalık ders programları dikkate alınmıştır. Problem çözümünde hedef programlama ve Analitik Hiyerarşi Prosesi yöntemleri kullanılmıştır.

Yurdakul, Alakaş ve Eren (2021), Ankara Eğitim Araştırma Hastanesi Evde Sağlık Hizmetleri Biriminde çalışan 11 personelin iş yükünün minimize edilmesini amaçlayan bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında farklı görevlere sahip olan personellerden ekipler oluşturulmuştur.

Literatürde incelenen çalışmalara ait özet bilgiler Tablo 1’de yer almaktadır.

Tablo 1. Literatür çalışmaları

Yazar (Yıl)	Problem Tipi	Uygulama Alanı	Yöntemler	
			0-1 TP	0-1 HP
İpekçi Çetin ve diğ. (2008)	Ekip Çizelgeleme	Havayolu	✓	
Çankaya ve Arıkan (2009)	Ekip Çizelgeleme	Havayolu		
Danış Öncül (2012)	Tarife hazırlama ve Ekip Atama	Demiryolu		
Üstündağ (2014)	Ekip Çizelgeleme ve Ekip Atama	Demiryolu		
Özçalıcı (2016)	Personel Atama	Eğitim	✓	
Özder ve diğ. (2017)	Personel Çizelgeleme	Kamu		✓
Kutayer Bilgin ve diğ. (2018)	Ekip Oluşturma, Çizelgeleme ve Rotalama	Hizmet		
Koçtepe ve diğ. (2018)	Personel Çizelgeleme	Organizasyon	✓	
Üzülmez ve diğ. (2018)	Ekip Planlama ve Ekip Rotasyon Optimizasyonu	Lojistik		
Yelek ve diğ. (2018)	Personel Çizelgeleme	Eğitim		✓
Eren ve diğ. (2019)	Vardiya Çizelgeleme	Hizmet		✓
Koçtepe ve diğ. (2019)	Personel Çizelgeleme	Organizasyon	✓	
Cürebal ve diğ. (2020)	Personel Çizelgeleme	Organizasyon		✓
Çavdur ve diğ. (2020)	Takım Oluşturma	Eğitim	✓	
Kaçmaz ve diğ. (2020)	Ergonomik Personel Çizelgeleme	Üretim		✓
Pınarbaşı ve Alakaş (2020)	Personel Görev Çizelgeleme	Üretim	✓	
Cürebal (2021)	Personel Atama ve Çizelgeleme	Üretim		✓
Danışman (2021)	Ekip Atama	Savunma Sanayi		
Eren ve diğ. (2021)	Personel Çizelgeleme	Organizasyon		✓
Supçiller ve Erbilek (2021)	Personel Çizelgeleme	Eğitim		✓
Yurdakul ve diğ. (2021)	Araç Rotalama ve Ekip Çizelgeleme	Sağlık	✓	

3. Personel çizelgeleme

Personel çizelgeleme, personellerin gereksinim ve tercih gibi kısıtlarını göz önüne alarak çalışma zamanlarını belirleyen bir çizelgeleme türüdür. Amacı işgücü gereksiniminin en doğru yer ve zamanda karşılanabilmesi için personeli en uygun yere atayarak çizelgelemektir (Supçiller ve Erbilek, 2021). Personelin etkin bir şekilde çizelgelenmesi oldukça zor bir iştir. Bu iş doğru bir şekilde yerine getirilemediğinde personel eksikliği veya fazlalığı ile karşı karşıya kalınabilmektedir. İşletmelerde personel eksikliği olması durumunda personel maliyetleri ile hizmet kalitesinde de bir düşme; personel fazlalığı olması durumunda ise personel maliyetleri ile gereksiz kaynak kullanımında da bir artış gözlenmektedir (Seçkiner, Kılıç ve Kurt, 2004).

Personel çizelgeleme, üretim sektöründe personel çizelgeleme ve hizmet sektöründe personel çizelgeleme olmak üzere iki ana başlıkta ele alınmaktadır. Personel çizelgeleme uygulama alanlarından bazıları şu şekilde sıralanabilir: sağlık hizmeti sistemleri, çağrı merkezleri, üretim sistemleri, ulaşım sistemleri.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde personel çizelgeleme üzerine en çok örneği görülebilecek konu sağlık alanındaki çizelgelenmelerdir. Bu alandaki temel girdinin insan olması ve bu alanın insan hayatını etkilemesi sebebiyle verilen hizmetin niteliği son derece önemlidir. Bu nedenle çalışan personellerin işlere en iyi şekilde atanmasıyla memnuniyeti artırarak maksimum verim elde etmenin yanında maliyetlerin minimizasyonu da sağlanabilmektedir (Varlı, Ergişi ve Eren, 2017).

Personel çizelgeleme problemlerinin çözümünde dikkat edilmesi gereken durumlar ve koşullar bulunmaktadır. Bu durumlar ve koşullar problemin çözümünü sınırlayarak problemi karmaşık bir hale getirmektedir. Karmaşık problemlerin çözümünde matematiksel programlama modellerinin kullanılması optimal bir çözüm elde edilmesine yardımcı olmaktadır. Gerekli personel sayısının belirleneceği bir model kurulması durumunda sonucun sürekli olması uygulanabilirlikte sorunlar yaratacağından matematiksel modelde değişkenlerin tam sayı olma kısıtı eklenmelidir.

4. Hedef programlama

Hedef Programlama (HP), üretim ve işgücü planlamadan finansal planlamaya kadar çeşitli alanlarda birden fazla amacın gerçekleştirilebilmesi için kullanılan bir yöntemdir. Amaç, karar vericinin isteğidir, bu amacın gerçekleştirilmesi için sağlanması gereken kesin ifade de hedef olarak adlandırılmaktadır. Bu yöntem ile sistemdeki tüm kısıtların mümkün olduğunca hedeflere ulaşması amaçlanmaktadır. Hedeflerin istenilen şekilde gerçekleşmemesi halinde hedeflerden pozitif ve negatif yöndeki istenmeyen sapmaların minimizasyonu sağlanır. Çözümlerde elde edilen sonuçlar bazen hedeflenen değeri karşılayamayabilir. Bu nedenle sonucun olabildiğince karar vericileri tatmin etmesi gerekmektedir.

HP, doğrusal programlamanın özel bir hali olarak kabul edilmektedir ve ilk defa doğrusal HP olarak 1961 yılında Charnes ve Cooper tarafından geliştirilmiştir. Doğrusal programlamaya ek olarak kullanılan bazı tanımlar şu şekildedir:

Amaç: Karar vericinin isteğini ifade eder.

Hedef: Karar vericinin isteği doğrultusunda belirlenen amaç için gerçekleştirilmesi istenen kesin ifadedir.

Hedef Kısıtları: Karar vericinin gerçekleştirmek istediği hedefler, hedef kısıtları olarak adlandırılmaktadır. Hedef kısıtlarının sağlanması sistem kısıtlarının gerçekleşmesinden sonra gelmektedir. Bu kısıtlar esnek kısıtlar olduğu için bazı durumlarda ihlal edilmesi söz konusu olabilir. Hedef kısıtlarının ihlal edilmesi ile ortaya çıkan sapmalar ayrı birer değişken olarak ele alınmaktadır. Bu değişkenler sapma değişkenleri olarak adlandırılmaktadır.

Sapma Değişkenleri: Oluşturulan matematiksel modelde sadece hedef kısıtları ve amaç fonksiyonunda yer alan sapma değişkenleri, karar vericinin gerçekleştirmek istediği hedefin aşılması ve altında kalınması durumunu göstermektedirler. Modelde yer alan her bir hedef için birer pozitif sapma değişkeni ve birer negatif sapma değişkeni tanımlanmaktadır. Sapma değişkenleri hiçbir zaman negatif değer almazlar, ayrıca belirlenen hedef için aşılma ve altında kalma durumlarından yalnızca bir tanesi gerçekleşebileceği için sapma değişkenlerinden biri daima sıfır değerini almaktadır.

Pozitif Sapma Değişkeni: Karar vericinin gerçekleştirmek istediği hedefin ne kadar aşıldığını gösteren sapma değişkenidir.

Negatif Sapma Değişkeni: Karar vericinin gerçekleştirmek istediği hedefin ne kadar altında kaldığını gösteren sapma değişkenidir.

HP matematiksel gösterimi aşağıdaki gibidir:

HP karar değişkenleri:

x_j : j. Karar değişkeni

d_i^+ : i. hedefin pozitif sapma değişkeni

d_i^- : i. hedefin negatif sapma değişkeni

HP parametreleri

a_{ij} : i. hedefin j. karar değişkeni katsayısı

b_i : i. hedef için ulaşılmak istenen değer

HP amaç fonksiyonu:

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i=1}^m (d_i^+ + d_i^-) \quad (1)$$

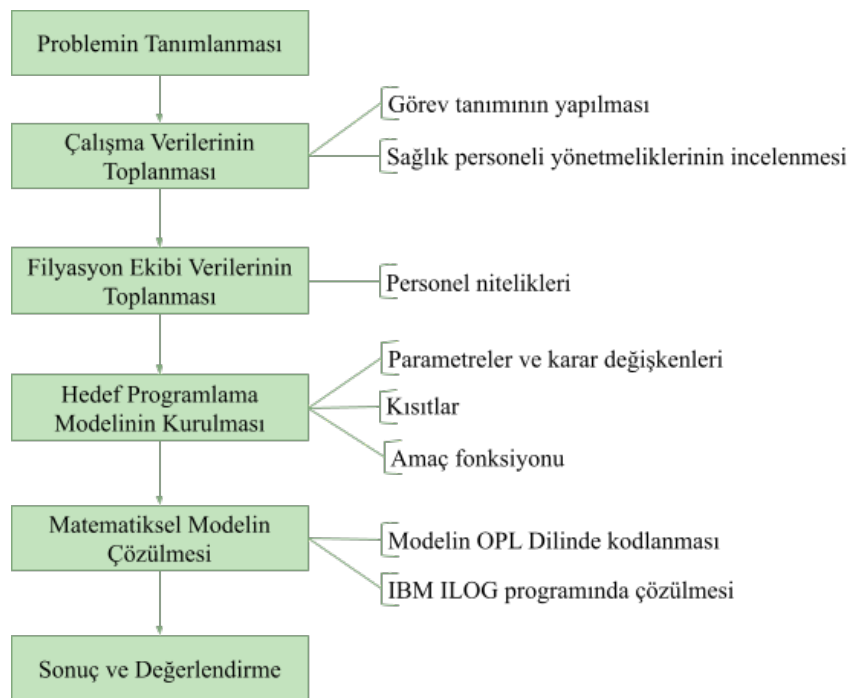
HP Kısıtları:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j + d_i^+ + d_i^- = b_i \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$x_j, d_i^+, d_i^- \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

5. Uygulama

Bu çalışmada filyasyon ekiplerinde görev alan personeller için dengeli atama yapılması ve adil bir çizelgeleme oluşturulması amaçlanmaktadır. Bu amaçla hazırlanan çalışmaya ait uygulamaya ait akış şeması Şekil 1'de yer almaktadır.



Şekil 1. Uygulama Akış Şeması

5.1 Problemin tanımlanması

Pandemi seyrinin kontrol altına alınabilmesinde doğru ve etkili bir biçimde yürütülen filyasyon çalışmalarının katkısı çok büyüktür. Bu çalışmada, Kırıkkale iline bağlı bir ilçede yürütülen filyasyon çalışmalarında görev alan 6 erkek, 9 kadın olmak üzere toplam 15 personel için yetkinliklerin de dikkate alındığı ve çalışılan toplam gün sayısının mümkün olduğunca eşit olduğu bir çalışma çizelgesi oluşturmak amacıyla personel çizelgeleme problemi ele alınmıştır.

5.2 Verilerin toplanması

- Filyasyon ekipleri 7 gün 24 saat çalışma düzeninde hizmet vermektedir.
- Personeller tek vardiya sisteminde çalışmaktadır, vardiya süresi 24 saattir.
- Her personel 24 saatlik çalışmanın ardından 72 saatlik izinli olmalıdır.
- Ekipler en az 3 kişiden oluşmalıdır.
- Her ekipte en az 1 sürücü, en az 1 erkek ve 1 kadın personel, en az 1 aşı yetkilisi ve 1 filyasyon yetkilisi bulunmalıdır.
- Personel verileri ilgili ekipte yer alan personel aracılığı ile alınmış ve bu düzende numaralandırılmıştır. Tablo 2'de bu veriler yer almaktadır.

Tablo 2. Filyasyon ekibi personel bilgileri

Personel No	Sürücü	Aşı Yetkilisi	Filyasyon Yetkilisi	Cinsiyet
1	✓	✓	✓	E
2	✓			E
3	✓		✓	E
4	✓		✓	E
5	✓		✓	E
6		✓	✓	E
7	✓		✓	K
8		✓	✓	K
9			✓	K
10		✓	✓	K
11		✓	✓	K
12		✓	✓	K
13			✓	K
14		✓	✓	K
15			✓	K

5.3 Problemin varsayımları

- Bir günlük çalışma süresi 24 saattir.
- Her personelin bir günlük çalışmanın ardından 3 gün izinli olması gerekmektedir.
- Çalışmada 2022 Mart ayı için çizelge hazırlanacak olup, çalışılan gün sayısı 31'dir.

5.4 Problemin parametreleri

i : personel indisi

$$i = 1, 2, \dots, 15$$

i_{surucu} : sürücü olarak atanabilen personeller kümesi

$$i_{surucu} = 1, 2, 3, 4, 5, 7$$

i_{asi} : aşı yetkilisi olarak atanabilen personeller kümesi

$$i_{asi} = 1, 6, 8, 10, 11, 12, 14$$

$i_{filyasyon}$: filyasyon yetkilisi olarak atanabilen personeller

$$i_{filyasyon} = 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15$$

j : gün indisi

$$j = 1, 2, \dots, 31$$

j_{hs} : hafta sonuna denk gelen günler kümesi

$$j_{hs} = 5, 6, 12, 13, 19, 20, 26, 27$$

5.5 Problemin karar değişkenleri

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & i. \text{ personel, } j. \text{ güne atanırsa} \\ 0, & \text{dd.} \end{cases}$$

$$h_{ij} = \begin{cases} 1, & i. \text{ personel, } j. \text{ günde izinli ise} \\ 0, & \text{dd.} \end{cases}$$

5.5.1 Sapma değişkenleri

$d1_{ij}^-$: i. personelin j. gün 1. hedeften negatif sapma miktarı

$d1_{ij}^+$: i. personelin j. gün 1. hedeften pozitif sapma miktarı

$d2_{ij}^-$: i. personelin j. gün 2. hedeften negatif sapma miktarı

$d2_{ij}^+$: i. personelin j. gün 2. hedeften pozitif sapma miktarı

5.6 Problemin matematiksel modeli

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^{15} \sum_{j=1}^{31} (d1_{ij}^- + d1_{ij}^+) + \sum_{i=1}^{15} \sum_{j \in j_{hs}} (d2_{ij}^- + d2_{ij}^+)$$

Kısıtlar

1. Kısıt: Ekipler en az 3 kişiden oluşmalıdır.

$$\sum_{i=1}^{15} x_{ij} \geq 3 \quad j = 1, 2, \dots, 31 \quad (4)$$

2. Kısıt: Ekipler en fazla 4 kişiden oluşmalıdır.

$$\sum_{i=1}^{15} x_{ij} \leq 4 \quad j = 1, 2, \dots, 31 \quad (5)$$

3. Kısıt: Her ekipte en az 1 sürücü bulunmalıdır.

$$\sum_{i \in i_{surucu}} x_{ij} \geq 1 \quad j = 1, 2, \dots, 31 \quad (6)$$

4. Kısıt: Her ekipte en az 1 erkek personel bulunmalıdır.

$$\sum_{i=1}^6 x_{ij} \geq 1 \quad j = 1, 2, \dots, 31 \quad (7)$$

5. Kısıt: Her ekipte en az 1 kadın personel bulunmalıdır.

$$\sum_{i=7}^{15} x_{ij} \geq 1 \quad j = 1, 2, \dots, 31 \quad (8)$$

6. Kısıt: Her ekipte en az 1 aşı yetkilisi bulunmalıdır.

$$\sum_{i \in i_{asi}} x_{ij} \geq 1 \quad j = 1, 2, \dots, 31 \quad (9)$$

7. Kısıt: Her ekipte en az 1 filyasyon yetkilisi bulunmalıdır.

$$\sum_{i \in i_{filyasyon}} x_{ij} \geq 1 \quad j = 1, 2, \dots, 31 \quad (10)$$

8. Kısıt: Her personel 1 gün çalıştıktan sonra 3 gün izinli olmalıdır.

$$x_{ij} + x_{i(j+1)} + x_{i(j+2)} + x_{i(j+3)} = 1 \quad i = 1, 2, \dots, 15 \quad j = 1, 2, \dots, 28 \quad (11)$$

9. Kısıt: Her personel izinli olduğu gün çalışmamalıdır.

$$x_{ij} \leq (1 - h_{ij}) \quad i = 1, 2, \dots, 15 \quad j = 1, 2, \dots, 31 \quad (12)$$

Hedef Kısıtları

Hedef 1: Tüm personellerin çalıştıkları toplam gün sayısı birbirine eşit olmalıdır (1 gün çalıştıktan sonra 3 gün izinli olma kısıtı nedeniyle sağ taraf değeri 8 olarak belirlenmiştir).

$$\sum_{j=1}^{31} x_{ij} + d1_{ij}^- - d1_{ij}^+ = 8 \quad i = 1, 2, \dots, 15 \quad (13)$$

Hedef 2: Her personelin hafta sonu çalıştıkları toplam gün sayısı birbirine eşit olmalıdır.

$$\sum_{j \in j_{hs}} x_{ij} + d2_{ij}^- - d2_{ij}^+ = 2 \quad i = 1, 2, \dots, 15 \quad (14)$$

5.7 Matematiksel model sonuçları

Matematiksel model ILOG CPLEX paket programına ilgili verilerin girilmesi ile çözülmüştür. Elde edilen çözümde 5., 10. ve 14. personeller mart ayında toplam 7 gün çalıştıkları için “Hedef 1: Tüm personellerin çalıştıkları toplam gün sayısı birbirine eşit olmalıdır.” kısıtında negatif sapmalar olmuş ve $d1_{513}^-$, $d1_{1011}^-$ ve $d1_{1418}^-$ sapma değişkenleri “1” değerini almıştır. Bu nedenle amaç fonksiyonu değeri 3 olarak bulunmuştur. Tablo 3’te ILOG CPLEX ile elde edilen çizelge yer almaktadır. Filyasyon ekibinde görev alan 15 personel için oluşturulan bu çizelgede 12 personelin toplam çalışma günü sayısı birbirine eşit ve 8 olduğu için adil bir çizelgeleme yapıldığı söylenebilir.

Tablo 3. Mart ayı çalışma çizelgesi

1	Personel hafta içi atanmışsa	1	Personel hafta sonu atanmışsa
---	------------------------------	---	-------------------------------

	Personeller															Toplam Personel	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
Günler	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	4
	2	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	4
	3	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	4
	4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	3
	5	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	4
	6	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	4
	7	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	4
	8	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	3
	9	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	4
	10	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	4
	11	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	4
	12	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	3
	13	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	4
	14	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	4
	15	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	4
	16	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	3
	17	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	4
	18	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	4
	19	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	4
	20	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	3
	21	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	4
	22	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	4
	23	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	4
	24	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	3
	25	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	4
	26	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	4
	27	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	4
	28	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	3
	29	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	4
	30	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	4
	31	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	4
Toplam Çalışma Günü	8	8	8	8	7	8	8	8	8	7	8	8	8	7	8		

6. Sonuç ve tartışma

Pandemi, daha önce maruz kalınmayan bir hastalığın ortaya çıkması, hastalık etkeninin insanlar arasında hızlı ve kolay bir biçimde yayılması durumunu ifade etmektedir. Hasta temaslarının tespit edilmesi ve bu kişilerin hastalık açısından incelenmesi çalışmaları ise filyasyon olarak tanımlanmaktadır. Filyasyon çalışmaları, salgın hastalıkların kontrol altına alınmasında ve salgınlarla mücadelede kritik bir öneme sahiptir. Bu çalışmaların doğru ve etkili bir şekilde yürütülebilmesinde personellerin rolü son derece önemlidir. Personellerin ise daha verimli çalışabilmek için etkin bir çalışma çizelgesine ihtiyaçları vardır.

Yapılan bu çalışmada Kırıkkale iline bağlı bir ilçede yürütülen filyasyon çalışmalarında görev alan 15 personelin çizelgelenmesi problemi ele alınmıştır. Problem matematiksel modeli yöneylem araştırması optimal çözüm yöntemlerinden 0-1 hedef programlama yöntemi kullanılarak oluşturulmuştur. Hedef programlama modelinin birinci hedef kısıtı ile tüm personellerin çalıştıkları toplam gün sayısının birbirine eşit ve 8 olması, ikinci hedef kısıtı ile ise personellerin hafta sonu çalıştıkları toplam gün sayısının birbirine eşit olması amaçlanmıştır. Problem çözümünde ILOG CPLEX paket programı kullanılmış olup Mart 2022 çalışma dönemi için amaç fonksiyonu değeri 3 olan bir çizelge oluşturulmuştur. Elde edilen çizelge ile 3 personelin toplam 7 gün çalıştıkları için birinci hedefe uygun olmayan bir biçimde atandığı, 12 personelin ise her iki hedefe uygun biçimde atandığı görüldüğünden mümkün olduğunca adil bir çizelgeleme yapıldığı söylenebilir. Bu çalışma kapsamında oluşturulan matematiksel model, personel sayısı ve diğer koşulların da elverişli olması durumunda özel izin isteklerini de dikkate alacak biçimde güncellenerek personel motivasyon artışı ve buna bağlı olarak hizmet kalitesinde artış sağlanabilir.

Bu çalışmada hedef programlama modeli kullanılmıştır. Hedef programlama yönteminde hedeften sapmalardan minimizasyonunu amaçladığı için zaman sınırlı olarak yaklaşık bir çözüm değeri elde edilebilir. Ancak problem boyutunun büyümesi halinde ele alınan problemin yapısına ve boyutuna göre optimal çözüm yöntemlerinden matematiksel programlama modellerinden başka bir yöntem kullanılabilir. Çözüm süresinin önemli kriter olduğu durumlarda ise özel sezgisel yöntemler veya meta sezgisel yöntemler kullanılabilir.

İleride yapılacak çalışmalarda ekiplerin araç rotalaması yapılarak mevcut koşullar altında en uygun rota belirlenerek ulaşılmak istenen hedefe en kısa sürede ulaşılması ile hizmet kalitesinin artması ve ulaşım maliyetlerinin azaltılması sağlanabilir.

Araştırmacıların katkısı

Çalışmada Müberra Koçak ve Merve Gündaş verilerin toplanması ve düzenlenmesi, yöntemin uygulanması ve makalenin oluşturulması işlemlerini gerçekleştirmiştir. Feyzanur Calku ve Zümra Poyraz Problemin belirlenmesi, bilimsel yayın araştırması ve yöntemin uygulanması işlemlerini gerçekleştirmiştir. Emre Yazıcı ve Hacı Mehmet Alakaş problemin çözüm yöntemlerinin belirlenmesi ve hedef programlama modelinin kurulması sürecinde çalışmaya katkı sağlamışlardır.

Çıkar çatışması

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynaklar

- Abraham Charnes, William Wager Cooper. (1961). *Management Models and Industrial Applications of*. New York: John Wiley and Sons.
- Bahçel, H. (2022). *Sezgisel Yöntemler ve Kural Tabanlı Sistem Kullanımı ile Çoklu Sınav Oturum Çizelgeleme Probleminin Modellenmesi (Yüksek Lisans Tezi)*. Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (709382).
- Cürebal, A. (2021). *Personel Atama ve Çizelgeleme Problemi İçin Hedef Programlama Bazlı Karar Destek Sistemi Geliştirilmesi: Bir Fabrika İçin Uygulama (Yüksek Lisans Tezi)*. Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (687488).
- Cürebal, A., Koçtepe, S., & Eren, T. (2020). Tanıtım Festivalinde Personel Çizelgeleme Problemi: Bir Uygulama. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(3), 217-229. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/gmbd/issue/58697/807040>
- Çankaya, G., & Arıkan, M. (2009). Sütun Oluşturma Yaklaşımı ile Bir Havayolu Ekip Çizelgeleme Uygulaması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24(1), 43-50. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/gazimmfd/issue/6679/88239>
- Çavdur, F., Bağlarbaşı Mutlu, M., & Sebatlı Sağlam, A. (2020). Öğrenci-Proje Takımı Oluşturma Problemi İçin Bir Karar Destek Sistemi Uygulaması. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 25(1), 485-500. doi: <https://doi.org/10.17482/uumfd.537826>
- Danış Öncül, S. (2012). *Hafif Raylı Sistemlerde Tarife Oluşturma ve Ekip Atama Problemlerinin Bütünleştirilmesi (Doktora Tezi)*. Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (323705).
- Danışman, O. (2021). *Ekip Atama Probleminin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi)*. Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (659587).
- Eren, T., Koçtepe, S., & Cürebal, A. (2021). Hedef Programlama Yöntemi ile Akaryakıt İstasyonları Tanıtımı için Personel Çizelgeleme Problemi. *Politeknik Dergisi*, 1-1. doi: <https://doi.org/10.2339/politeknik.796136>
- Eren, T., Özder, E. H., Alakaş, H. M., & Özcan, E. (2019). Kısıt Programlama Yaklaşımıyla Güvenlik Personeli Çizelgeleme Probleminin Çözümü. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 4, 16-25. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/humder/issue/47643/497848>
- İpekçi Çetin, E., Kuruüzüm, A., & Irmak, S. (2008). Ekip çizelgeleme probleminin küme bölme modeli ile çözümü. *Journal of Aeronautics and Space Technologies*, 3(4), 47-54. Erişim adresi: <https://jast.hezarfen.msu.edu.tr/index.php/JAST/article/view/193>
- Kaçmaz, S. Ö. , Alakaş, H. M. & Eren, T. (2020). Ergonomic Staff Scheduling Problem with Goal Programming in Glass Industry . *Journal of Turkish Operations Management*, 4 (1), 369-377. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jtom/issue/56013/727142>
- Koçtepe, S., Alakaş, H. M., Gür, Ş. & Eren, T. (2019). Basketbol Karşılaşmasında Görevli Organizasyon Personellerinin 0-1 Tam Sayılı Programlama Yöntemi ile Çizelgelenmesi . *Başkent Üniversitesi Ticari Bilimler Fakültesi Dergisi* , 3 (2), 44-53. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jcsci/issue/49447/589097>
- Koçtepe S., Bedir N., Eren T., Gür Ş. (2018). Organizasyon Görevlileri İçin Personel Çizelgeleme Probleminin 0-1 Tam Sayılı Programlama İle Çözümü. *Ekonomi, İşletme ve Yönetim Dergisi*, 2(1), 25-46. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jebm/issue/37394/441275>
- Kutayer Bilgin, G., Yücel, E. & Kuyzu, G. (2018). Öncelik Seviyelerine Sahip Çoklu Yetenek Gerektiren İşler için Ekip Oluşturma, Çizelgeleme ve Rotalama. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 20 (60), 930-945. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/deumffmd/issue/42696/514763>
- Özçalıcı, M. (2016). Sınavlara Gözetmen Atama Problemlerinin Çalışma Sayfaları ile Optimizasyonu. *Niğde Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 9(3), 103-114. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/niguiibfd/issue/24557/260074>
- Özder E. H., Varlı E, Eren T. (2017), Hedef Programlama Yaklaşımı İle Temizlik Personeli Çizelgeleme Problemi İçin Bir Model Önerisi, *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 7(2), 114-127. doi: <https://doi.org/10.31466/kfbd.342344>
- Pınarbaşı, M., & Alakaş, H. M. (2020). Personel Görev Çizelgeleme Problemi İçin Bir Excel Çözücü Modeli: Orta Gerilim Sigorta Üretimi Uygulaması. *International Journal of Engineering Research and Development*, 12(2), 729-744. doi: <https://doi.org/10.29137/umagd.721797>

- Seçkiner, S. U., Kılıç, E., & Kurt, M. (2004). Personel Çizelgelemede Bazı Pratik Sezgiseller. *Savunma Bilimleri Dergisi*, 3(2), 50-71. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/khosbd/issue/19239/204424>
- Supçiller, A. A., & Erbilek, P. (2021). Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Hedef Programlama ile Bir Üniversite Kütüphanesindeki Kısmi Zamanlı Personellerin Çizelgelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(1), 1-12. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/pajes/issue/60238/876111>
- Üstündağ, Y. (2014). Ekip Çizelgeleme Problemi. *Demiryolu Mühendisliği*, 1, 72-83. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/demiryolu/issue/35060/450170>
- Üzülmez, M., Ateş, S. S., & Çalışkan, A. (2018). Havayolu Operasyonlarında Uçucu Ekip Planlama ve Ekip Rotasyon Optimizasyonu: Bir Hava Kargo İşletmesinde Uygulama. *Turkish Studies*, 13(18), 1343-1356. Doi: <http://dx.doi.org/10.7827/TurkishStudies.14003>
- Varlı, E., Ergişi, B. & Eren, T. (2017). Özel Kısıtlı Hemşire Çizelgeleme Problemi: Hedef Programlama Yaklaşımı. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 49, 189-206. doi: <https://doi.org/10.18070/erciyesiibd.323910>
- Yelek, A., Demirel, B., Alağaç, H. M., & Eren, T. (2018). Kısmi Zamanlı Çalışan Personellerin Çizelgelenmesi: Kırıkkale Üniversitesi Merkez Kütüphanesi Örneği. *Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 8(2), 313-330. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/kusbd/issue/38953/365786>
- Yurdakul, K., Alakaş, H. M., & Eren, T. (2021). Evde Sağlık Hizmetlerinin Planlanması: Araç Rotalama ve Ekip Çizelgeleme. *Journal of Turkish Operations Management*, 5(2), 703-720. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jtom/issue/67597/896608>



Journal of Turkish Operations Management

Entropi tabanlı TOPSIS ve VIKOR yöntemleri ile bankaların finansal performanslarının değerlendirilmesine ilişkin bir uygulama

Emre Ekin^{1*}, İlayda Gökçe Cesur²

1 Ekonometri/Yöneylem Araştırması Bölümü, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

e-mail: emrenike@hotmail.com, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-4043-9750>

2 Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bursa Teknik Üniversitesi, Bursa, Türkiye

e-mail: gokcecesur99@gmail.com, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-8365-0417>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi

Geliş: 18.03.2022

Revize: 14.06.2022

Kabul: 08.09.2022

Anahtar Kelimeler:

Çok Kriterli Karar Verme,
Banka Performansı,
Entropi,
VIKOR,
TOPSIS.

Özet

Ülkelerin sağlam ve istikrarlı ekonomik sistemlere sahip olmaları son derece önemlidir. Bunun sağlanması için ekonomideki aktörlerden biri olan bankacılık sektörünün güçlü olması gerekmektedir. Ekonominin sağlam ve istikrarlı olması ancak güçlü bir bankacılık sektörüne sahip olmakla mümkündür. Bankacılık sisteminin sağlam oluşu ile ekonominin sağlam temeller üzerine kurulu olması arasında sıkı bir ilişki vardır. Bankacılık sisteminin sağlam olması sistem içerisinde yer alan bankaların finansal performanslarının yüksek olmasına bağlıdır. Bankaların performanslarının incelenmesi problemleri çok sayıda kriter ve alternatif içerisnde barındıran bir özelliğe sahiptir. Bu çalışmada, Türkiye'deki 11 adet banka performansının 8 kriter altında Entropi, VIKOR ve TOPSIS yöntemlerini kullanarak incelenmesi amaçlanmıştır. Uygulamada Entropi ve TOPSIS ile VIKOR yöntemlerine ilişkin çözümler Excel programında elde edilmiştir. Çalışmada 2018-2020 yılları arasındaki veriler kullanılmıştır. Yapılan uygulama neticesinde kriterler Entropi yöntemiyle ağırlıklandırılıp bankaların performanslarına göre oluşan sıralamalar hem TOPSIS hem de VIKOR yöntemlerine göre ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Elde edilen çıktı sonuçları karşılaştırılmalı olarak değerlendirilip yorumlanmıştır.

An application related to the evaluation of bank financial performance using entropy-based TOPSIS and VIKOR methods

Article Info

Article History:

Received: 18.03.2022

Revised: 14.06.2022

Accepted: 08.09.2022

Keywords:

Multi-Criteria Decision Making,
Bank Performance,
Entropy,
VIKOR,
TOPSIS.

Abstract

It is extremely important for countries to have sound and stable economic systems. In order to achieve this, the banking sector, which is one of the actors in the economy, must be strong. A strong and stable economy can only be achieved by having a strong banking sector. There is a close relationship between the soundness of the banking system and the fact that the economy is built on solid foundations. The soundness of the banking system depends on the high financial performance of the banks in the system. Examining the performance of banks has a feature that includes many criteria and alternatives. In this study, it is aimed to examine the performance of 11 banks in Turkey under 8 criteria by using Entropy, VIKOR and TOPSIS methods. In practice, solutions for Entropy and TOPSIS and VIKOR methods are obtained in Excel program. In the study, data between the years 2018-2020 were used. As a result of the application, the criteria were weighted with the Entropy method and the rankings formed according to the performances of the banks were evaluated separately according to both TOPSIS and VIKOR methods. The output results obtained were evaluated and interpreted comparatively.

1. Giriş

Ülkelerin ekonomik sistemleri içerisinde bankalar kilit bir öneme sahiptirler. Bankaların ekonomik düzen ve istikrarın sağlanmasında üstlendiği önemli rol çok eski zamanlardan günümüze kadar artarak sürmektedir. Banka; mevduatı kabul edip, ilgili mevduatı etkin biçimde kredi verme amacıyla kullanan ve ana faaliyet konuları talep eden kişi veya kuruluşlara faizle veya faizsiz kredi sağlamak olan aynı zamanda iskonto ve kambiyo işlemleri yapan finans kuruluşlarıdır. Bankalar ekonomik sistemdeki tasarrufların döngüsünü sağlarken, ekonomik sistemdeki çarkların doğru şekilde dönmesine ve istikrarın sağlanmasına yardımcı olmaktadır (Şahin, 2002).

Bankacılık sektöründe yaşanan rekabet ile birlikte bankaların, kaynaklarını rasyonel ve efektif bir biçimde kullanmaları zaruri hale gelmiştir. Çünkü bankaların sahip olduğu kaynaklar aynı zamanda performanslarını etkileyen kriter konumundadır. Bankacılık sektörü ekonomik sistemin lokomotifidir. Özellikle küreselleşen çağımızda işletmelerin kendi aralarında artan rekabet anlayışı ve servis hizmetinin nitelikli olması ile ihtiyaçların daha optimal ve rasyonel giderilmesi gibi durumlar performans değerlendirmesi yapmayı zorunlu kılmaktadır. Sektördeki varlıklarını ve etkilerini arttırmalarında devamlı gelişim içerisinde olmaları ve yeniliğe ayak uydurmaları gerekmektedir. Bu amaçla, performanslarının artırılması bankaların önem verdikleri konulardan biridir (Ertuğrul & Karakaşoğlu, 2008).

Finansal oranlar işletmelerin performanslarını ölçmek, finansal durumlarını özetlemek için önemli bir araçtır. Bu sayede işletmelerin karlılığı, verimliliği, likidite durumu hakkında sağlıklı yorumlar yapılabilmektedir. Bu nedenle, bankaların finansal durumlarını analiz edebilmek ve sektördeki diğer bankalar ile karşılaştırılmasının yapılabilmesi için finansal performans oldukça önemli bir yöntemdir (Çağlar & Öztaş, 2016). Finansal performans diğer işletmelerde de olduğu gibi bankalarda da, stratejik etkinlik ile operasyonel verimlilik arasındaki ilişkiyi ifade etmektedir. Bankanın finansal performansı ise brüt kâr marjı oranı, varlık getirisi ve özkaynak getirisi gibi diğer bazı farklı yollarla ölçülebilir. Bankanın finansal performansı araştırmacıların, finans uzmanlarının ve diğer şirketlerin yönetiminin dikkatini çekmesi açısından çok önemlidir. Çoğu zaman başarı kriteri olarak firmanın karlılığıyla ilgili oranlara odaklanılmaktadır (Özdemir & Kılıçarslan, 2021). Performansının değerlendirilmesinde kullanılan finansal oranları göz önüne alarak verilen yatırım kararları ile bu kararların neticesinde ortaya çıkan getirilerin birbiri ile bağlantılı olup olmadığı diğer bir deyişle getiri düzeyi yüksek olan pay senetlerinin seçimi sürecinde finansal oranların önemli bir etkiye sahip olup olmadığı son zamanlarda finans literatürde oldukça ilgi çeken bir araştırma konusu olmaya devam etmektedir (Işık, 2019).

Çok kriterli karar verme (ÇKKV), çoklu kriterlere dayalı alternatifler setini değerlendirmek için kullanılan analitik bir yöntemdir. Bir ÇKKV probleminde belirlenen kriterlerin ağırlıkları kriterlerin önemini gösterir. Çevremizde belirsizlik ve karmaşıklık olduğunda çok kriterli karar verme yöntemleri açık ve sistematik olarak problemi yapılandırmak için güçlü bir karar verme aracıdır. Çalışmada ağırlıklandırma yöntemi olarak Entropi yöntemi kullanılmıştır (Cebeci, 2021). Çalışmada performans sıralaması için TOPSIS ve VIKOR yöntemi kullanılmaktadır. TOPSIS yöntemi, karar noktalarının ideal çözüme yakınlığı ana prensibine dayanır. Yöntem, alternatif seçeneklerin belirli kriterler doğrultusunda ve kriterlerin alabileceği maksimum ve minimum değerlerin ideal duruma göre karşılaştırılmasına yardımcı olmaktadır (Saldanlı & Sırma, 2014). VIKOR yöntemi, ÇKKV yöntemlerinden biri olan ve son yıllarda yoğun olarak kullanılan, ideal çözüme yakınlığa göre sıralama yapan ve uzlaşık çözüm sağlayan bir yöntemdir. Yöntem, maksimum grup faydasını ve buna bağlı olarak karşıt görüşlerin minimum pişmanlığını sonuca etki ettirebilmesi yönüyle diğer ÇKKV yöntemlerinden farklılaşmaktadır.

Entropi, TOPSIS ve VIKOR yöntemleri ÇKKV modelleri için çözüm sunan, kolay anlaşılır ve değişimlere kolayca adapte olabilen esnek yapıları nedeniyle çalışmada kullanılmaya uygun görülmüştür. Bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak bir sektörde faaliyet gösteren firmalar ölçek bazında değerlemeye tabi tutulmuştur. Uygulama için Bankacılık sektörü seçilmiştir. Bu çalışmada, klasik performans ölçüm yöntemlerinden uzaklaşarak, tüm bu performans değişkenlerini sisteme dahil edebilecek, diğer ifadeyle çok amaçlı ve çok kriterli ölçüm modelleri ile entegre kullanılması sağlanmıştır. Bu çalışmanın amacı, hizmet sektöründe önemli bir yere sahip olan ticari bankaların performanslarının ölçülmesinde finansal performansı dikkate alarak değerlendirme yapmaktır.

2. Literatür taraması

ÇKKV yöntemleri, çok sayıda farklı alan için uygulama yapma imkânı veren sayısal yöntemlerdir. Bu yöntemler, karar vericilere tek tek kullanımda sıralama ve öncelikleri ortaya koyma imkânı sunarken aynı zamanda birden fazla yöntemin de kullanılmasıyla mukayese yapma imkânı tanımaktadır. Literatürde ÇKKV yöntemleriyle banka performanslarına ilişkin incelemenin yapıldığı çalışmalar yer almaktadır.

Demireli (2010) tarafından yapılan çalışmada, Finansal hizmetler sektöründe, 2001-2007 yılları arası Türkiye'deki kamu sermayeli bankalarının performansları kamu sermayeli bankaların performanslarının TOPSIS yöntemiyle belirlenmesine çalışılmıştır.

Diñçer & Görener (2011) tarafından yapılan çalışmada, 2002-2008 yılları arasındaki Türkiye'deki kamu, özel ve yabancı sermayeli bankalar gruplandırılarak, bu grupların finansal performanslarının ölçümünde kullanılacak kriter ağırlıkları, analitik hiyerarşi süreci (AHP) yardımıyla hesaplanmış, sonrasında VIKOR yöntemi kullanılarak performans ölçümü gerçekleştirilmiştir.

Akkoç & Vatansever (2013) tarafından yapılan çalışmada, Finansal performansı değerlendirmek için Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci ve Bulanık Sipariş Tekniği kullanılarak 12 ticari bankanın finansal performansı 17 finansal performans göstergesi açısından değerlendirilmiştir.

Çelen (2014) tarafından yapılan çalışmada, Türk bankacılık sektöründe 2002- 2010 yılları arasındaki bankaları 29 alt kriterler ile yaptığı çalışmada, Bulanık AHS ve TOPSIS yöntemlerini kullanmıştır.

Kandemir (2016) tarafından yapılan çalışmada, BİST'teki 12 bankanın 2004-2014 yılları arası performanslarını ÇKKV yöntemlerinden, GİA, TOPSIS ve VIKOR yöntemleri ile incelemişlerdir.

Tezergil (2016) tarafından yapılan çalışmada, VIKOR Yöntemi ile Türk Bankacılık Sektörünün Performans Analizi isimli çalışmada; 2009-2013 yılları arasında 28 mevduat bankasının performansına ilişkin bir analiz yapmıştır. Analiz sonucunda bankalar performanslarına göre sıralanmıştır.

Oral (2016) tarafından yapılan çalışmada, 2012-2014 döneminde faaliyet gösteren Türk özel mevduat bankalarının finansal performanslarını ağırlıkları eşit dağıtılmış 10 karar kriterini TOPSIS yönteminde kullanarak değerlendirmiştir.

Vergili (2017) tarafından yapılan çalışmada, BİST'te İşlem Gören Bankaların TOPSIS Yöntemiyle Performanslarının Değerlendirilmesi isimli çalışmada; 2009-2013 yılları arasında Borsa İstanbul'da faaliyet gösteren bankaların performans analizini yapmıştır. Analiz sonucunda bankalar performanslarına göre sıralanmıştır.

Yalçın & Karaatlı (2018) tarafından yapılan çalışmada, Mevduat Bankası Seçimi Sürecinde Topsis ve Electre Yöntemlerinin Kullanılması isimli çalışmada; 2002-2015 yıllarını kapsayan dönemde 25 bankanın performansı incelenmiştir.”

Kayalı & Aktaş (2018) tarafından yapılan çalışmada, 2010-2015 yılları arasında Borsa İstanbul hisse senetlerinde faaliyet gösteren 7 şirketin finansal tabloları ve faaliyet raporları kullanılarak finansal oranlar belirlenmiştir. Bu finansal oranlar çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan TOPSIS yöntemi kullanılarak incelenmiştir. TOPSIS yöntemiyle elde edilen veriler en yüksek puandan başlayarak sıralanmıştır.

Akgül (2019) tarafından yapılan çalışmada, Entropi yöntemi sonucunda Türk bankacılık sistemi için en önemli üç performans kriteri belirlenmiştir. Kriterler kapsamında Entropi yöntemi ile elde edilen ağırlıklar SAW, MAUT ve ARAS modellerine aktararak yıllık bazda bankacılık sisteminin finansal performans sıralaması yapılmıştır.

Işık (2019) tarafından yapılan çalışmada, 2014-2017 yılları arasında Borsa İstanbul 30 Endeksinde işlem gören firmaların analiz sürecinde finansal değişkenlere ilişkin ağırlıkların belirlenmesinde Entropi yöntemi, firmaların finansal performansının belirlenmesinde ise finansal oranlara dayanan TOPSIS sıralama yöntemi kullanılmıştır.

Topak & Çanakçıoğlu (2019) tarafından yapılan çalışmada, Banka Performansının Entropi ve Copras Yöntemi ile Değerlendirilmesi: Türk Bankacılık Sektörü Üzerine Bir Araştırma isimli çalışmada; 2017 yılında 11 bankanın performans analizini gerçekleştirmişlerdir. İnceleme sonucunda bankalar performanslarına göre sıralanmıştır.

Sarı (2020) tarafından yapılan çalışmada, Kamu, özel ve yabancı sermayeli olmak üzere toplam 11 Türk bankasının finansal performanslarının analiz edilmesi için 13 finansal oranın kriter olarak kullanılmıştır çok kriterli karar verme yöntemlerinden TOPSIS ve PROMETHEE kullanılarak bankalar en yüksek performanstan en düşüğe doğru sıralanmıştır.

Yılmaz (2020) tarafından yapılan çalışmada, Türkiye'deki Mevduat Bankalarının VIKOR Yöntemiyle Performans Analizi isimli çalışmada; VIKOR yöntemini kullanmıştır. 2016-2018 yılları arasında 25 bankanın performans değerlendirmesi yapılmıştır.

Yetiz (2021) tarafından yapılan çalışmada, Bankaların Finansal Performanslarının VIKOR Yöntemi ile Değerlendirilmesi: Türkiye Örneği isimli çalışmada; Bankaların finansal performansı ÇKKV yöntemlerinden VIKOR yöntemi ile incelenmiştir.

Literatürde bankaların finansal performanslarını değerlendirmek için birçok farklı nicel ve nitel yöntemler kullanılmıştır. Araştırma yöntemleri arasında, AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi), ELECTRE, COPRAS, ARAS, GIA (Gri İlişki Analiz), PROMETHEE, TOPSIS, VIKOR ile diğer yöntemler yer almaktadır. Banka finansal performansının değerlendirilmesinde bankaların finansal verilerine göre ulaşılmak istenilen amaca uygun karar verme yöntemi ve değerlendirme kriterleri seçilerek başarılı sonuçlar elde edilebilir.

3. Yöntem

Çalışmada; Bankacılık hizmet faaliyetlerini sürdüren 11 bankanın 2018-2020 yılları arası performansları 8 adet kriter ile değerlendirilmiştir. Analizde ağırlıklandırma için Entropi yöntemi, performans sıralama için TOPSIS ve VIKOR yöntemleri kullanılmıştır.

3.1 Entropi

Entropi; matematik, istatistik ve mühendislik alanlarında sıklıkla başvurulmuş ve direkt olarak veriler ile yapılan işlemler neticesinde kriter ağırlıklarının belirlendiği bir yöntemdir. Entropi, nesnel bir kriter ağırlıklandırma yöntemidir (Çınar, 2004). Entropi yöntemi, verilerin ortaya koyduğu faydalı bilginin miktarının ölçülmesini sağlar. Bu yöntem vasıtasıyla veri kümelerindeki belirsizliklerin ölçümü yapılır ve bu belirsizlik değeri yani bir diğer deyişle Entropi değeri ile veri kümelerinin farklılaşma değerleri elde edilir. Sonuç itibarıyla, Entropi yönteminde kriter ağırlıkları; kriterlerin her birinin farklılaşma değerinin toplam farklılaşma değerine oranlanmasıyla elde edilir (Ömürbek, Karaatlı, & Balcı, 2016).

Entropi yönteminde 4 adım vardır. Bunlar şu şekildedir:

Adım 1: Normalizasyon İşlemi Yapmak

Başlangıçta $m \times n$ boyutlu bir karar matrisi için ilk olarak farklı ölçeklere sahip kriterler arasında değerlendirme yapılabilmesi amacıyla normalizasyon işleminin yapılması gerekir. Kriterlerin farklı ölçek birimlerine sahip olması durumunda hatalı bir değerlendirme ortaya çıkacaktır. Normalizasyon işlemi aşağıda verilen formül ile yapılmaktadır.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{p=1}^m x_{pj}} \quad i=1,2,\dots,m \quad j=1,2,\dots,n \quad (1)$$

Eşitlik ile $R = [R_{ij}]_{m \times n}$ normalize edilmiş karar matrisi oluşturulur.

Adım 2: Entropi Değerlerini Elde Etmek

Kriterlerin her biri için entropi değeri veya belirsizlik ölçüsü değeri aşağıda verilen formül kullanılarak hesaplanır.

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m r_{ij} \cdot \ln r_{ij}, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

Burada k değeri $\frac{1}{\ln m}$ ile tanımlanan sabit sayıyı ifade etmektedir. k değeri $0 \leq e_j \leq 1$ aralığında değer almaktadır. e_j değeri j . kriterin entropi değerine karşılık gelmektedir.

Adım 3: Farklılaşma Derecesi Değerini Bulmak

Elde edilen entropi değeri kullanılarak her bir kriter için farklılaşma derecesi değerleri aşağıda verilen formül aracılığıyla hesaplanır.

$$d_j = 1 - e_j, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

Adım 4: Ağırlık Değerlerini Elde Etmek

Kriterlerin ağırlık değerleri, her bir kriterin farklılaşma derecesinin toplam farklılaşma derecesine oranlanmasıyla elde edilmiş olur. Aşağıdaki verilen ifade W_j değeri j . kriterin ağırlığını ifade etmektedir. Ağırlıkların toplamı ise 1'e eşittir (Demirarslan, Küçükönder, & Kingir, 2019).

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{p=1}^n d_j} \quad (4)$$

Sonuç olarak; e olarak belirtilen Entropi değerinden hareketle farklılaşma değeri olarak belirtilen $d=1-e$ değerlerine ulaşılır. Her bir kriterin farklılaşma değerlerinin toplamı alınır. Her bir kriterin farklılaşma değerinin toplam farklılaşma değerine bölünmesiyle kriter ağırlıkları elde edilir.

3.2 TOPSIS

TOPSIS, açılımı (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) olarak bilinen, Hwang ile Yoon aracılığıyla 1980 yılında ortaya konulup literatüre kazandırılan bir yöntemdir. Yöntemin temeli, karar noktalarının ideal çözüme yakınlığına dayanmaktadır. (Hwang, 1996) TOPSIS, rasyonel ve kolay anlaşılır olması, hesaplanmasındaki basitlik ve kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesinde sıklıkla başvurulan yöntemlerdendir (Çakır & Perçin, 2013).

TOPSIS yönteminde 6 adım vardır. Bunlar şu şekildedir: (Özdemir, Yıldırım, & Önder, 2014)

Adım 1: Karar Matrisini Oluşturmak

Satırlarında alternatif, sütunlarında ise kriterlerin yer aldığı karar matrisine aşağıda yer verilmiştir.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

A_{ij} matrisinde m alternatif, n ise kriter adedini göstermektedir.

Adım 2: Standart Karar Matrisini Oluşturmak

Karar matrisinde yer alan verilerin ölçü birimlerinin farklı olmasından ötürü veriler üzerinde ölçek dönüşümü yapılması suretiyle verilerin standartlaştırılması yapılır. M ile aşağıda gösterilen standardize edilmiş karar matrisi A başlangıç matrisinden yola çıkılarak hesaplanmıştır. Bu matriste yer alan n_{ij} değerleri aşağıdaki formül vasıtasıyla elde edilmektedir.

$$n_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad (5)$$

Adım 3: Ağırlıklı Standart Karar Matrisini Oluşturmak

Kriterlerin ağırlıkları (w_i) belirlenir ($\sum_{i=1}^n w_i = 1$). R matrisinde sütunlarda bulunan elemanlar ile w_i değerleri arasında çarpım işlemi yapılır. Bu işlem sonucunda V matrisi elde edilir (Opricovic S. &.-4., 2004).

Adım 4: İdeal (A^*) ve Negatif İdeal (A^-) Çözümleri Elde Etmek

İdeal (A^*) çözümün elde edilmesi için V matrisindeki kriter değerlerinin yani sütunda bulunan değerlerin maksimumları (kriter minimizasyon yönlü olursa en küçüğü) seçilir. İdeal çözüm değerlerinin elde edilmesinde aşağıda verilen bağıntı kullanılır.

$$A^* = \{ \max V_{ij} | j \in J, \min V_{ij} | j \in J \} \quad (6)$$

Yukarıdaki formülden ulaşılabilecek olan çözüm seti $A^* = \{v_1^*, v_2^* \dots, v_n^*\}$ şeklindedir.

Negatif ideal çözümün elde edilmesi için ise, V matrisindeki kriter değerlerinin yani sütunda bulunan değerlerin minimumları (kriterin maksimizasyon yönlü olursa en büyüğü) seçilir. Negatif ideal çözüm değeri aşağıda verilen bağıntı ile elde edilir.

$$A^- = \{ \min V_{ij} | j \in J, \max V_{ij} | j \in J \} \quad (7)$$

Yukarıdaki formülden elde edilecek olan çözüm seti $A^- = \{v_1^-, v_2^- \dots, v_n^-\}$ şeklindedir.

Adım 5: Ayırım Ölçülerini Hesaplamak

İdeal Ayırım (S_i^*) ve Negatif İdeal Ayırım (S_i^-) değerleri, alternatiflerin sapma değerleridir. Hesaplama kullanılan formüller aşağıda yer almaktadır.

$$S^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^*)^2} \quad (8)$$

$$S^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2} \quad (9)$$

Elde edilecek olan S_i^* ve S_i^- adedi alternatif adedi kadardır.

Adım 6: İdeal Çözüme Göreli Yakınlığı Hesaplamak

Alternatiflerin ideal çözüme göreli yakınlığı (C_i^*) elde edilir. Bu değer, $0 \leq C_i^* \leq 1$ aralığındadır. Bu değer mutlak değer cinsinden karşılığı ise, ideal çözüme olan uzaklığı vermektedir.

Alternatiflerin İdeal Çözüme Yakınlık (C_i^*) Değerine Göre Sıralanması

Alternatiflerin her birinin ideal çözüme göreli yakınlığı değerinin elde edilmesinde (C_i^*) değerleri dikkate alınır. Bu değer aşağıda gösterilen formül kullanılarak elde edilir.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+} \quad (10)$$

C_i^* , 0 ile 1 aralığında değer almaktadır. $C_i^* = 1$ alternatifin ideal çözüme, $C_i^* = 0$ alternatifin negatif ideal çözüme yakınlığını ifade eder (Yıldırım & Önder, 2015).

3.3 VIKOR

VIKOR, açılımı (Vlse Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) olan Sırpça bir kelimenin baş harflerinden oluşan bir yöntemdir. Bu açılım ise; çok ölçütlü optimizasyon ve uzlaşık çözüm anlamına gelmektedir. ÇKKV problemlerinin optimizasyonu için ilk kez 1998 yılında Serafim Opricovic tarafından geliştirilmiş ve ardından 2004 yılında Opricovic ve Tzeng'in yapmış oldukları çalışma neticesinde literatüre kazandırılmıştır (Uludağ & Doğan, 2016).

VIKOR, karar verme problemlerinin çözümünde incelenen alternatifler arasında sıralama yapılmasını sağlamaktadır. Bu yöntemde kriterler vasıtasıyla alternatifler arasından optimum çözümün elde edilmesi amaçlanmaktadır. Bahsedilen optimum çözüm ise, ideal çözüme yakın olandır (Opricovic & Tzeng, 2004).

VIKOR, yedek parçaların önceliklendirme probleminde, kaynakların planlanmasında, tesis yeri seçim problemlerinde, kalite ve performans değerlendirme problemleri gibi sıralama gerektiren problemlerin çözümünde tercih edilmiştir. (Tezergil, 2016).

VIKOR Yönteminin Aşamaları:

VIKOR yönteminde 6 adım vardır. Bunlar şu şekildedir (Taşabat, 2016):

Adım1: Karar matrisini oluşturmak

İlk adımda karar matrisi oluşturulur.

Tablo 1. Vikor tipik karar matrisi

Karar Birimleri	Değerlendirme Faktörleri (Kriterler)				
	F ₁	F ₂	F ₃	.....	F _k
A ₁	F ₁ (A ₁)	F ₂ (A ₁)	F ₃ (A ₁)	.....	F _k (A ₁)
A ₂	F ₁ (A ₂)	F ₂ (A ₂)	F ₃ (A ₂)	.....	F _k (A ₂)
.....
Ağırlıklar	w ₁	w ₂	w ₃	.....	w _k

Matrisin sütunları kriterleri, satırları ise alternatifleri ifade ettiğini varsayalım.

Adım 2: En iyi (f_i^*) ve en kötü (f_i^-) kriter değerlerini bulmak

Karar matrisini oluşturduktan sonra kriterlerin her biri için ayrı ayrı en kötü ve en iyi değerler bulunur. En kötü ve en iyi kriter değerlerinin elde edilmesinde kriter yönü dikkate alınarak hesaplama gerçekleştirilir.

Eğer i. kriter fayda/kâr amacındaysa,

i kriteri fayda kriteri ise: $f_i^* = \max_j f_{ij}$, $f_i^- = \min_j f_{ij}$

(f_i^*)= $\min_j f_{ij}$ denklemleri dikkate alınır.

Eğer i. kriter maliyet amacındaysa,

i kriteri maliyet kriteri ise: $f_i^* = \min_j f_{ij}$, $f_i^- = \max_j f_{ij}$

(f_i^-)= $\max_j f_{ij}$ denklemleri dikkate alınır.

Adım 3: S_j (Ortalama Grup Skoru) ve R_j (En Kötü Grup Skoru) değerlerini elde etmek

En kötü f_i^+ ve en iyi f_i^- değerlerin elde edilmesinin ardından karar matrisindeki alternatiflerin her biri için S_j j. alternatif için ortalama grup skoru, R_j j. alternatif için en kötü grup skoru bulunur(Opricovic & Tzeng, 2007).

S_j ve R_j aşağıdaki formüller ile elde edilir.

$$S_j = \sum_{i=1}^n \frac{w_i(f_i^+ - f_{ij})}{(f_i^+ - f_i^-)} \quad (11)$$

$$R_j = \max \left[\frac{w_i(f_i^+ - f_{ij})}{(f_i^+ - f_i^-)} \right] \quad (12)$$

Adım 4: Q_j (Maksimum Grup Faydası) değerlerini elde etmek

Alternatiflerden her biri için Q_j (maksimum grup faydası) verilen formül yardımıyla hesaplanır. Aşağıda verilen bağıntıda; S^* minimum S_j değeri; S^- maksimum S_j değeri, R^* minimum R_j değeri ve R^- maksimum R_j değerini ifade eder. “v değeri” maksimum grup faydasını gösteren stratejinin ağırlığı ve “(1-v)” değeri de kişisel pişmanlığın ağırlığıdır. Genellikle $v=0,5$ alınır(Kuzu, 2015).

$$Q_j = \frac{v(S_j - S^*)}{S^- - S^*} + \frac{(1-v)(R_j - R^*)}{R^- - R^*} \quad (13)$$

Adım 5: S_j, R_j, Q_j değerlerini elde etmek

Ortalama Grup Skoru, En Kötü Grup Skoru ve Maksimum Grup Faydası değerleri sıralanır. Alternatiflerin tümü için ulaşılan S_j, R_j, Q_j değerleri minimum olandan maksimuma doğru sıralanır ve üç farklı sütun oluşturulur.

Adım 6: Kabul edilebilir avantaj (C1) ve kabul edilebilir istikrar (C2) kümelerini belirlemek

S_j, R_j, Q_j değerlerine ilişkin yapılan sıralama ile C_1 ve C_2 koşullarının sağlanıp sağlanmadığı tespit edilir.

Kabul Edilebilir Avantaj(C1),En iyi alternatif ile en iyi ikinci alternatif arasında anlamlı farklılıklar bulunduğunu gösteren bir koşuldur.

$$Q(A_2) - Q(A_1) \geq DQ \quad (14)$$

Formülde (A1) en iyi alternatif, A2 ise ikinci alternatiftir. Aşağıda verilen formülde J ise alternatif sayısına karşılık gelmektedir.

$$DQ = \frac{1}{j-1} \quad (15)$$

En iyi olan ve ilk iki sırada bulunan alternatif arasındaki farklılık ne derece fazla ise optimum olan alternatifi seçmekte o denli kolay olacaktır.

Kabul Edilebilir İstikrar(C2), Optimum olan değere karşılık gelen alternatifin eş anlı olarak S veya R ile en iyi sıralanan alternatif olması durumunda kabul edilebilir istikrar koşulu sağlanmış demektir. Şayet belirtilen iki koşuldan biri gerçekleşmezse uzlaşmış en iyi çözümün sağlanma durumu farklı şekilde gerçekleşir. İkinci koşul gerçekleşmezse en iyi alternatif olan A1 ile ikinci en iyi alternatif olan A2 en iyi uzlaşmış çözümü verir. Birinci koşul gerçekleşmezse sıralanan alternatiflerin hepsi $A_1, A_2, A_3, \dots, A_m$ maksimum için $Q(A_2) - Q(A_1) < DQ$ bağıntısı ile hesaplanır. Uzlaşık çözüm (Q) değerleri baz alınarak gerçekleştirilir. Optimum olan, en iyi olan alternatif ise (Q) değeri en küçük olan alternatiftir (Uğur, 2017).

4.Uygulama

Çalışmanın amacı, 2018–2020 yılları arasındaki 3 yıllık periyotta Türkiye’de faaliyet gösteren banka performanslarının Entropi tabanlı TOPSIS ve VIKOR yöntemleriyle değerlendirilip analiz edilmesidir. Çalışmada on bir adet bankanın, 2018-2020 yılları arasındaki performansları seçilen sekiz kriterle değerlendirilmiştir. Kullanılan veriler Türkiye Bankalar Birliği’nin halka açtığı istatistik veriler kısmından alınmıştır. Veriler daha kolay okunabilsin diye 1.000 cinsinden kullanılmıştır. Bu veriler ışığında karar matrisleri oluşturulup Entropi metodu yardımıyla kriterler objektif olarak ağırlıklandırılmıştır. Daha sonrasında bankaların performans sıralaması TOPSIS ve VIKOR yöntemleriyle ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Tablo 2’de araştırmada incelenen bankalar (alternatifler) ve incelenen kriterler verilmiştir.

Tablo 2. Araştırmadaki kriterler ve alternatifler

Alternatifler		Kriterler		Optimizasyon
A1	Akbank T.A.Ş.	K1	Toplam Aktifler	Max
A2	Denizbank A.Ş.	K2	Krediler	Max
A3	HSBC Bank A.Ş.	K3	Toplam Mevduatlar	Max
A4	ING Bank A.Ş.	K4	İhraç Edilen Menkul Kıymetler	Max
A5	QNB Finansbank	K5	Toplam Öz kaynaklar	Max
A6	Ziraat Bankası A.Ş.	K6	Dönem Net Kârı	Max
A7	Garanti Bankası A.Ş.	K7	Bilanço Dışı Hesaplar Toplamı	Max
A8	Halk Bankası A.Ş.	K8	Net Faiz Geliri	Max
A9	İş Bankası A.Ş.			
A10	Vakıf Bankası T.A.O.			
A11	Yapı Kredi Bankası			

Araştırmada kolaylık sağlaması amacıyla alternatifler: Akbank A1, Denizbank A2, HSBC Bank A3, ING Bank A4, QNB Finansbank A5, Ziraat Bankası A6, Garanti Bankası A7, Halk Bankası A8, İş Bankası A9, Vakıf Bankası A10, Yapı Kredi Bankası A11 indisleriyle temsil edilmiştir. Aynı zamanda kriterler: Toplam Aktifler K1, Krediler K2, Toplam Mevduatlar K3, İhraç Edilen Menkul Kıymetler K4, Toplam Öz kaynaklar K5, Dönem Net Kâr veya Zararı K6, Bilanço Dışı Hesaplar Toplamı K7, Net Faiz Gelir/Gideri K8 indisleriyle temsil edilmiştir. Entropi yönteminde de kullanılacak 2018-2020 yıllarına ait karar matrisleri Tablo 3-5'te gösterilmiştir.

Tablo 3. 2018 Yılı karar matrisi değerleri

	K1	K2	K3	K4
A1	540.983.882	789.616.537	801.744.781	49.674.663
A2	146.610.875	342.900.846	333.414.296	8.961.212
A3	54.829.031	65.077.949	87.518.060	0
A4	73.501.010	161.015.922	129.847.896	602.658
A5	219.171.197	376.935.725	328.373.309	36.334.279
A6	548.761.813	1.417.729.810	1.273.120.017	59.266.305
A7	450.745.824	922.354.557	859.064.595	84691432.51
A8	423.845.917	967.837.591	909.628.379	56.598.062
A9	457.643.500	1.059.118.238	914.309.707	124.354.680
A10	345.649.123	862.951.727	702.767.205	77.452.853
A11	443.748.715	863.113.469	773.272.106	72.311.711
	K5	K6	K7	K8
A1	170.027.696	15.349.310	7.349.782.277	34.938.243
A2	58.539.190	5.794.275	3.527.038.305	12.388.564
A3	11.096.491	813.766	848.045.758	3.930.524
A4	28.969.670	2.850.434	1.644.507.459	8.208.719
A5	54.548.000	5.820.340	3.399.580.265	18.084.000
A6	215.710.442	19.287.558	6.971.313.839	52.785.122
A7	179.792.022	18.114.388	7.823.504.171	43.557.113
A8	111.970.777	7.419.939	5.458.510.118	20.299.973
A9	186.149.000	16.484.174	4.689.521.748	41.842.652

A10	106.129.117	10.441.123	11.302.974.293	26.274.931
A11	148.702.625	11.968.960	14.301.979.042	32.604.184

Tablo 4. 2019 Yılı karar matrisi değerleri

	K1	K2	K3	K4
A1	542.304.569	790.050.772	851.642.556	59.131.096
A2	130.040.678	403.293.806	375.055.642	11.949.952
A3	63.010.594	68.665.252	101.580.996	0
A4	87.204.752	138.230.823	148.259.315	0
A5	178.440.692	443.647.394	391.153.745	50.314.778
A6	632.042.264	1.711.703.413	1.625.797.650	58.179.143
A7	408.030.958	975.069.757	947.769.525	81.420.884
A8	261.607.245	1.182.522.010	1.115.000.008	66.426.126
A9	447.777.368	1.102.434.045	1.072.555.548	122.246.462
A10	186.795.327	1.086.931.974	893.597.351	83.349.431
A11	413.813.966	946.037.909	864.523.821	87.271.427
	K5	K6	K7	K8
A1	202.855.418	13.608.607	7.481.290.110	37.237.748
A2	67.529.402	3.645.904	3.865.621.047	14.822.805
A3	11.701.340	1.421.283	1.085.087.703	3.696.848
A4	32.386.152	4.189.486	1.478.644.273	7.765.786
A5	61.995.651	6.493.132	4.911.406.125	17849600.77
A6	251.304.973	13.948.484	9.474.984.994	57.898.469
A7	203.792.051	16.450.153	8.240.607.116	46.464.699
A8	121.141.768	3.564.684	6.593.993.613	23.150.200
A9	216.366.078	13.692.457	5.404.943.029	43.245.813
A10	121.431.871	5.994.297	14.784.947.095	28.890.978
A11	160.969.807	10.539.157	23.003.280.023	36.410.126

Tablo 5. 2020 Yılı karar matrisi değerleri

	K1	K2	K3	K4
A1	585.741.393	944.822.538	1.023.556.989	72.120.215
A2	168.199.258	507.718.348	457.083.697	12.869.045
A3	76.571.775	93.590.528	120.432.268	951.920
A4	65.792.872	154.796.310	157.789.346	0
A5	218.605.887	558.281.126	508.861.376	57.683.935
A6	934.037.449	2.242.960.169	2.328.927.171	59.278.944
A7	430.417.097	1.198.455.864	1.173.085.955	75.148.218
A8	420.182.162	1.676.116.140	1.625.038.085	55.233.347
A9	609.750.513	1.382.462.120	1.385.918.373	133.697.980
A10	508.846.491	1.582.234.120	1.413.087.175	162.440.971
A11	411.115.931	1.106.371.824	1.002.871.152	85.069.142

	K5	K6	K7	K8
A1	233.310.033	14.892.603	7.979.825.681	34.203.168
A2	86.889.916	5.084.744	4.503.520.711	22.309.040
A3	13.275.942	967.535	1.345.706.558	3.068.677
A4	35.379.066	2.167.086	1.340.032.817	7.337.149
A5	69.998.140	6.360.921	6.123.624.794	24.198.873
A6	331.238.766	20.294.885	11.923.385.063	90.435.830
A7	235.493.581	16.227.989	9.678.564.378	57.626.081
A8	159.308.824	7.290.458	8.502.894.196	50.917.873
A9	254.325.421	16.486.312	6.675.316.917	61.579.908
A10	167.826.637	14.309.429	27.038.538.328	50.947.461
A11	180.348.172	12.984.167	5.316.829.551	40.733.695

4.1 Entropi yöntemi uygulama adımları

Karar matrisleri oluşturulduktan sonra Entropi yöntemiyle kriterlerin ağırlıklandırılabilmesi için karar matrisleri normalize edilmiştir. Kriterlere, yıllara göre ayrı ayrı normalizasyon işlemi uygulanmıştır. 2018 yılına ait normalizasyon değerleri Tablo 6'da görülmektedir.

Tablo 6. 2018 Yılı normalize karar matrisi değerleri

	K1	K2	K3	K4
A1	0,146	0,101	0,113	0,087
A2	0,040	0,044	0,047	0,016
A3	0,015	0,008	0,012	0,000
A4	0,020	0,021	0,018	0,001
A5	0,059	0,048	0,046	0,064
A6	0,148	0,181	0,179	0,104
A7	0,122	0,118	0,121	0,149
A8	0,114	0,124	0,128	0,099
A9	0,124	0,135	0,129	0,218
A10	0,093	0,110	0,099	0,136
A11	0,120	0,110	0,109	0,127
	K5	K6	K7	K8
A1	0,134	0,134	0,109	0,118
A2	0,046	0,051	0,052	0,042
A3	0,009	0,007	0,013	0,013
A4	0,023	0,025	0,024	0,028
A5	0,043	0,051	0,051	0,061
A6	0,170	0,169	0,104	0,179
A7	0,141	0,158	0,116	0,148
A8	0,088	0,065	0,081	0,069
A9	0,146	0,144	0,070	0,142
A10	0,083	0,091	0,168	0,089
A11	0,117	0,105	0,212	0,111

Normalize edilen değerlerin bulunmasının ardından Entropi değerleri (e_j) hesaplanmıştır. 2018 yılına ait Entropi değerleri Tablo 7'de görülmektedir.

Tablo 7. 2018 Yılı entropi değerleri

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
$-\sum r_{ij} \cdot \ln(r_{ij})$	0,933	0,922	0,925	0,865	0,919	0,919	0,916	0,928

Tablo 7'den hareketle farklılaşma derecesi değerleri hesaplanmıştır. Tablo 8'de 2018 yılına ait değerler görülmektedir.

Tablo 8. 2018 Yılı farklılaşma derecesi değerleri

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
(1-e)	0,067	0,078	0,075	0,135	0,081	0,081	0,084	0,072

Entropi yönteminin son adımı olan ağırlık değerleri ise her bir kriterin farklılaşma derecesinin toplam farklılaşma derecesine oranlanarak hesaplanmıştır. Tablo 9'de 2018 yılına ait kriterlerin ağırlık değerleri görülmektedir.

Tablo 9. 2018 Yılı kriterlerin ağırlıkları

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	$\sum W_j$
W_j	0,099	0,115	0,111	0,2	0,119	0,12	0,125	0,107	1

Entropi yöntemi sonucunda, 2018 yılında İhraç Edilen Menkul Kıymetler kriteri (K4) 0.2008 ile en önemli kriter olarak hesaplanmıştır. Onu 0.1251 ile Bilanço Dışı Hesaplar Toplamı (K7) izlemiştir. Toplam Aktifler (K1) önem derecesi en düşük olan kriter olarak hesaplanmıştır. Aynı zamanda İhraç Edilen Menkul Kıymetler kriteri (K4) diğer kriterlere göre çok daha fazla öneme sahip olduğu da tablodan görülmektedir. Benzer şekilde 2019 ve 2020 yıllarına da Entropi yöntemi uygulanması sonucunda tüm kriterlerin yıllara göre ağırlıkları hesaplanmıştır. Tablo 10'da yıllara göre kriterlerin ağırlıkları görülmektedir.

Tablo 10. Yıllara göre kriterlerin ağırlıkları

Yıl/Kriterler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
2018	0,100	0,116	0,111	0,201	0,120	0,121	0,125	0,107
2019	0,112	0,118	0,111	0,175	0,116	0,108	0,156	0,104
2020	0,109	0,116	0,118	0,180	0,110	0,107	0,149	0,112

Tablo 10'dan da görüleceği üzere, İhraç Edilen Menkul Kıymetler kriteri (K4) tüm yıllarda önemi en fazla olan kriter olarak göze çarpmaktadır. Aynı şekilde tüm yıllarda K4 kriterini Bilanço Dışı Hesaplar Toplamı (K7) kriteri takip etmiştir. Kriterlerin önem derecelerinin sıralamaları yıllar içerisinde değişiklik gösterse de sıralamalar çoğunlukla aynı olmuştur. Buradan uygulamanın doğru yapıldığı sonucu çıkarılabilmektedir. Her üç senede de K4 kriteri diğer kriterlere göre önem bakımından diğer kriterlerden daha üstün olması dikkat çeken bir diğer unsur olarak görülmektedir.

4.2 TOPSIS yöntemi uygulama adımları

Entropi yöntemi yardımıyla hesaplanan önem dereceleri TOPSIS yönteminde kullanılmıştır. TOPSIS yönteminin ilk adımı olan Karar Matrisi oluşturulması Entropi yönteminde de kullanıldığı için ilgili yıllara ait Karar Matrisleri

Tablo 2-3-4 ile aynı şekilde alınmaktadır. Bir sonraki adımda Karar Matrisleri kullanılarak Standart Karar Matrisleri oluşturulmuştur. 2018 yılı standardize edilmiş matris değerleri (R) Tablo 11’de görülmektedir.

Tablo 11. 2018 Yılı standart karar matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
A1	0,430	0,292	0,327	0,236	0,384	0,385	0,306	0,343
A2	0,117	0,127	0,136	0,043	0,132	0,145	0,147	0,122
A3	0,044	0,024	0,036	0,000	0,025	0,020	0,035	0,039
A4	0,058	0,060	0,053	0,003	0,065	0,071	0,069	0,081
A5	0,174	0,139	0,134	0,172	0,123	0,146	0,142	0,177
A6	0,437	0,524	0,520	0,281	0,488	0,484	0,291	0,518
A7	0,359	0,341	0,351	0,402	0,406	0,454	0,326	0,427
A8	0,337	0,358	0,371	0,268	0,253	0,186	0,228	0,199
A9	0,364	0,391	0,373	0,590	0,421	0,413	0,196	0,411
A10	0,275	0,319	0,287	0,367	0,240	0,262	0,471	0,258
A11	0,353	0,319	0,316	0,343	0,336	0,300	0,596	0,320

Standart Karar Matrisi (R) oluşturulduktan sonra, ilgili yıla ait Entropi Metodu yardımıyla hesaplanmış kriter ağırlıkları ve Standart Karar Matrisi (R) çarpılmış ve V matrisi elde edilmiştir. 2018 yılı Ağırlıklı Standart Karar Matrisi Tablo 12’de görülmektedir.

Tablo 12. 2018 yılı ağırlıklı standart karar matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
A1	0,043	0,034	0,036	0,047	0,046	0,046	0,038	0,037
A2	0,012	0,015	0,015	0,009	0,016	0,018	0,018	0,013
A3	0,004	0,003	0,004	0,000	0,003	0,002	0,004	0,004
A4	0,006	0,007	0,006	0,001	0,008	0,009	0,009	0,009
A5	0,017	0,016	0,015	0,035	0,015	0,018	0,018	0,019
A6	0,044	0,061	0,058	0,056	0,058	0,058	0,036	0,055
A7	0,036	0,039	0,039	0,081	0,049	0,055	0,041	0,046
A8	0,034	0,041	0,041	0,054	0,030	0,022	0,028	0,021
A9	0,036	0,045	0,041	0,118	0,050	0,050	0,024	0,044
A10	0,027	0,037	0,032	0,074	0,029	0,032	0,059	0,028
A11	0,035	0,037	0,035	0,069	0,040	0,036	0,075	0,034

TOPSIS yönteminin bir sonraki adımında, kriterlerin hepsi maksimizasyon yönlü olduğu için sütunlardaki en büyük değerler ideal (A^+) ve en küçük değerler negatif ideal (A^-) çözüm setlerini vermiştir. Tablo 13’de 2018 yılına ait ideal ve negatif ideal çözüm setleri görülmektedir.

Tablo 13. 2018 yılı ideal ve negatif ideal çözüm setleri

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
A-	0,004	0,003	0,004	0	0,003	0,002	0,004	0,004
A+	0,044	0,061	0,058	0,118	0,058	0,058	0,075	0,055

TOPSİS yönteminin sonraki adımında ise Ayrım Ölçüleri hesaplanmıştır. Tablo 14’te de görüleceği üzere 2018 yılına ait İdeal Ayrım (S*) ve Negatif İdeal Ayrım (S-) Ölçüsü değerleri verilmiştir.

Tablo 14. 2018 yılı ayırım ölçüleri

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11
Si-	0,108	0,033	0,000	0,011	0,049	0,144	0,134	0,093	0,157	0,114	0,127
Si+	0,091	0,160	0,189	0,180	0,140	0,073	0,060	0,101	0,058	0,078	0,070

TOPSİS metodunun son adımında ise hesaplanan Ayrım Ölçüleri yardımıyla alternatiflerin İdeal Çözüme Göreli Yakınlıkları hesaplanmıştır. Tablo 15’te 2018 yılında alternatiflerin İdeal Çözüme Göreli Yakınlıkları (P_i) verilmiştir. Performans değerlendirmesi, alternatiflerin P_i değerlerinin ideal çözüm olan 1 değerine yakınlıklarıyla ölçülmektedir.

Tablo 15. 2018 yılı performans değerlendirmeleri

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11
P _i	0,545	0,169	0	0,058	0,26	0,664	0,69	0,479	0,732	0,593	0,646
Sıralama	6	9	11	10	8	3	2	7	1	5	4

Tablo 15’ten görüldüğü üzere 2018 senesinde Türkiye İş Bankası A.Ş. (A9) 0.732 değeri ile finansal performans değeri en yüksek banka olarak hesaplanmıştır. Onu sırasıyla Garanti Bankası (A7), Ziraat Bankası (A6), Yapı Kredi Bankası (A11) ve Vakıflar Bankası (A10) takip etmiştir. Öte yandan, HSBC Bank (A3) 0 finansal performans değeri ile negatif ideal çözüm(sıfır) olmasıyla dikkat çekmektedir. Buradan çıkarılacak sonuç ise incelenen her kriter için HSBC Bank alternatifler arasından en düşük değere sahip olan banka olmuştur. Bankaların performans sıralamalarını oluşturmak amacıyla 2018 yılına uygulanan TOPSİS metodu adımları 2019 ve 2020 yıllarına da uygulanmıştır. İşlemler sonucunda yıllara göre bankaların sıralamaları aşağıdaki tablodaki gibi elde edilmiştir.

Tablo 16. Yıllara göre bankaların TOPSİS yöntemiyle bulunan performans sıralamaları

	2018	2019	2020
1	Türkiye İş Bankası (A9)	Yapı Kredi Bankası (A11)	Vakıflar Bankası (A10)
2	Garanti Bankası (A7)	Ziraat Bankası (A6)	Ziraat Bankası. (A6)
3	Ziraat Bankası (A6)	Türkiye İş Bankası (A9)	Türkiye İş Bankası (A9)
4	Yapı Kredi Bankası (A11)	Garanti Bankası (A7)	Garanti Bankası (A7)
5	Vakıflar Bankası (A10)	Vakıflar Bankası (A10)	Akbank (A1)
6	Akbank (A1)	Akbank (A1)	Halk Bankası (A8)
7	Halk Bankası (A8)	Halk Bankası (A8)	Yapı Kredi Bankası (A11)
8	QNB Finansbank (A5)	QNB Finansbank (A5)	QNB Finansbank (A5)
9	Denizbank (A2)	Denizbank (A2)	Denizbank (A2)
10	ING Bank (A4)	ING Bank (A4)	ING Bank (A4)
11	HSBC Bank (A3)	HSBC Bank (A3)	HSBC Bank (A3)

Tablodan da görüleceği üzere, 2018 yılında Türkiye İş Bankası (A9) 1. sırada yer alırken 2019 ve 2020 yıllarında 3. sıraya gerilemiştir. İlk üç sıradan ayrılmayan bir diğer banka ise Ziraat Bankası (A6) olmuştur. 2018 yılında 3. sırada yer alırken 2019 ve 2020 yıllarında istikrarlı bir şekilde 2. sırada yer almayı başarmıştır. 2019 senesinde 1. sırada yer alan Yapı Kredi Bankası (A11), yıllar içerisinde en çok hareketlenme yaşayan bankalardan biri olarak göze çarpmaktadır. 2018 yılında 4. sırada yer alırken 2019 yılında 1.likten 2020 yılında 7. sıraya kadar gerilemiştir. Bir diğer büyük atılımı ise 2018 ve 2019 senelerinde 5. sırada olan Vakıflar Bankası 2020 senesinde 1. konuma yükselerek yapmıştır. Tabloda dikkat çeken bir diğer nokta ise son 4 sıranın üç yıl boyunca hiç değişmemiş olmasıdır. 8. sırayı QNB Finansbank, 9. sırayı Denizbank, 10. sırayı ING Bank ve 11. sırayı da HSBC Bank adeta sahiplenmiştir.

4.3 VIKOR yöntemi uygulama adımları

VIKOR Yöntemine başlarken de Entropi ve TOPSIS yöntemlerinde olduğu gibi karar matrisi oluşturarak başlanmıştır. Karar Matrisi daha önce de oluşturulduğu için Tablo 3-5'teki karar matrisleri incelenebilir. Karar matrisinin i satırında ve j sütununda bulunan eleman f_{ij} olarak adlandırılmıştır. Kullanılan tüm kriterler fayda kriteri olduğu için f_i^* değerleri ilgili sütunun maksimum değeri ve f_i^- ise ilgili sütunun minimum değeri olarak bulunmuştur. Tablo 17'de 2018 yılına değerler görülmektedir.

Tablo 17. 2018 Yılı en iyi (f_i^*) ve en kötü (f_i^-) değerleri

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
f_i^*	5487618	1417729	1273120	1243546	215710442	19287558	14301979042	52785122
f_i^-	54829031	65077949	87518060	0	11096491	813766	848045758	3930524

Bir sonraki adımda ise alternatiflerin her biri için Ortalama Grup Değeri (S_j) ve En Kötü Grup Değeri (R_j), f_i^* ve f_i^- değerleri yardımıyla hesaplanmıştır. Hesaplama yapılırken kullanılan w_i ağırlık değerleri Entropi yöntemiyle hesaplanan önem değerlerine tekabül etmektedir. Tablo 18'de 2018 yılı için hesaplanan S_j ve R_j değerleri görülmektedir.

Tablo 18. 2018 Yılı ortalama grup değerleri (S_j) ve en kötü grup değerleri (R_j)

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11
S_j	0,376	0,816	1.000	0,943	0,746	0,173	0,274	0,499	0,232	0,426	0,331
R_j	0,121	0,186	0,201	0,2	0,142	0,105	0,064	0,109	0,089	0,076	0,084

Tablo 18'deki Ortalama Grup Değerleri (S_j) ve En Kötü Grup Değerleri (R_j) hesaplandıktan sonra Maksimum Grup Faydası Değerleri (Q_j) değerleri Yöntem kısmında verilen formül yardımı ile hesaplanmıştır. Formüldeki v değeri 0.5 (konsensüs) olarak alındığı için S_j ve R_j 'li değerlerin aritmetik ortalaması bize Grup Faydası Değerleri (Q_j) değerini vermektedir. Tablo 18'de 2018 yılına ait Maksimum Grup Faydası Değerleri (Q_j) değerleri görülmektedir. S_j , R_j ve Q_j değerleri hesaplandıktan sonra Q_j değerlerine küçükten büyüğe doğru sıralanıp finansal performans sıralamaları elde edilmiştir.

Tablo 19. 2018 yılı alternatiflerin maksimum grup faydası değerleri (Q_j)

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11
Q_j	0,33	0,836	1.000	0,962	0,632	0,15	0,061	0,363	0,128	0,195	0,168
Sıralama	6	9	11	10	8	3	1	7	2	5	4

Tablo 19'daki değerler dikkate alındığı takdirde görülmektedir ki Q_j değerleri için Kabul Edilebilir Avantaj (C_1) bulunamamıştır. Diğer bir ifadeyle Q değerleri baz alınarak yapılan sıralamada en iyi iki alternatif olan A7 ile A9'un Q değerleri farkı 0.1'den büyük değildir. 0.1 değeri 1/alternatif sayısının bir eksiği olarak bulunmuştur. Tablo 18 ve 19 incelendiğinde alternatifler içerisinde Kabul Edilebilir İstikrar (C_2) da bulunamamıştır.

Tablo 20. Yıllara göre bankaların VIKOR yöntemiyle bulunan performans sıralamaları

	2018	2019	2020
1	Garanti Bankası	Yapı Kredi Bankası	Vakıflar Bankası
2	Türkiye İş Bankası	Ziraat Bankası	Ziraat Bankası
3	Ziraat Bankası	Garanti Bankası	Garanti Bankası
4	Yapı Kredi Bankası	Vakıflar Bankası	Türkiye İş Bankası
5	Vakıflar Bankası	Türkiye İş Bankası	Akbank
6	Akbank	Akbank	Halk Bankası

7	Halk Bankası	Halk Bankası	Yapı Kredi Bankası
8	QNB Finansbank	QNB Finansbank	QNB Finansbank
9	Denizbank	Denizbank	Denizbank
10	ING Bank	ING Bank	ING Bank
11	HSBC Bank	HSBC Bank	HSBC Bank

2018 senesi için uygulanan VIKOR yöntemi adımları sırasıyla 2019 ve 2020 seneleri için de uygulanmıştır. Uygulama sonucunda Tablo 20 elde edilmiştir. Tablo 20’de görüleceği üzere; sıralamanın en üst basamağında her sene farklı bir banka yer almıştır. 2018 senesinde 1. sırada yer alan Garanti Bankası takip eden senelerde 3. sırada yer almıştır. Garanti Bankası gibi Ziraat Bankasının finansal performans değerleri de yıllar içerisinde istikrar göstermiştir. 2018 yılında 3. sırada yer alan Ziraat Bankası, 2019 ve 2020 senelerinde finansal performans sıralamasında 2. sıradan kendine yer bulabilmiştir. Bir diğer istikrarı ise Halk Bankası göstermiştir. 2018 ve 2019 yıllarında 7. sırada yer alan Halk Bankası, 2020 senesinde bir basamak yükselerek 6. sıraya yerleşmiştir. 2019 senesinde 1. sırada yer alan Yapı Kredi Bankası, yıllar içerisinde en çok hareketlenme yaşayan bankalardan biri olarak göze çarpmaktadır. Yapı Kredi Bankası hem TOPSIS hem de VIKOR yöntemine göre yapılan incelemede 2019 yılında 1.sırada yer almıştır. Yine aynı şekilde Vakıflar Bankası da 2020 yılında her iki yönteme göre 1.sırada yerini almıştır. Yapı Kredi Bankası, 2018 yılında 4. sırada yer alırken 2019 yılında elde ettiği 1.likten 2020 yılında 7.liğe kadar gerilemiştir. Sıralamada son dört banka üç sene boyunca hep aynı kalmıştır. 8. sırada QNB Finansbank, 9. sırada Denizbank, 10. sırada ING Bank ve 11. sırada da HSBC Bank kendilerine yer bulmuştur.

5. Sonuç ve değerlendirme

Çalışmada, Entropi yöntemi yardımıyla banka değerlendirme kriterlerinin ağırlıklandırması yapılmıştır. ÇKKV metotları yardımıyla bankaların 2018 ve 2020 yılları arası finansal performansları değerlendirilmiştir. Uygulamada VIKOR ve TOPSIS yöntemleri kullanılmıştır. Mukayeseli bir değerlendirme yapılmıştır. Banka performanslarının iki farklı yöntem ile ortaya konulması ve sonuçların analiz edilmesi istenmiştir. Entropi yöntemi yardımıyla banka değerlendirme kriterleri yıllara göre ayrı ayrı ağırlıklandırılmıştır. İhraç Edilen Menkul Kıymetler kriterinin (K4) diğer kriterlerden daha fazla öneme sahip olduğu görülmüştür. Bu sonuca üç sene boyunca kriter ağırlığı en yüksek olan kriter olmasından ulaşılmıştır. Geriye kalan Toplam Aktifler (K1), Krediler (K2), Toplam Mevduatlar (K3), Toplam Öz kaynaklar (K5), Dönem Net Kâr veya Zararı (K6), Bilanço Dışı Hesaplar Toplamı (K7) ve Net Faiz Gelir/Gideri (K8) kriterlerinin ağırlıkları incelenen yıllarda birbirlerine yakın seyretmiştir.

Kriterlerin ağırlıkları Entropi yöntemi yardımıyla bulunduktan sonra alternatiflerin finansal performanslarını değerlendirmek için ÇKKV yöntemlerine başvurulmuştur. Çalışmada birden fazla yöntem kullanılmasının sebebi ise, çalışma sonucunda elde edilen sonuçların güvenilirliğini artırmaktır. Elde edilen sonuçların tek bir yöntem ile incelenmesi yerine birden fazla yöntem ile sonuçların mukayeseli analizinin yapılması, daha anlamlı ve tutarlı sonuçlara ulaşıp ulaşılmadığını ve yöntemler arasındaki farkların ortaya konulması açısından önemlidir. Kullanılan TOPSIS ve VIKOR metotları yardımıyla alternatifler Tablo 16 ve 20’de sıralanmıştır. Tablo 16 ve 20’den de görüleceği üzere sonuçlar bakımından iki metot da birbirini destekler nitelikte olup bankaların performans sıralamalarına ilişkin sonuçlar birbirine paralellik göstermiştir. Bu durum yapılan uygulamanın tutarlılığını ve güvenilirliğini göstermektedir. Her iki metottan elde edilen sıralamada da Garanti Bankası (A7), Ziraat Bankası (A6) ve Türkiye İş Bankası (A9) incelenen yıllarda sıralamanın en üst basamaklarında yer almıştır.

Her iki yönteme göre üst sıralarda yer alan bankaların ortak özellikleri, incelenen 3 yıl için her yıl en önemli kriter olan ve en fazla kriter ağırlığına sahip olan K4 kriter değerlerinin yüksek olmasıdır. K4 kriterinin karar alma sürecine yaptığı katkının fazla olması bu kriterle ait yüksek değere sahip bankaların finansal performanslarının da yüksek olmasını sağlamıştır. Ayrıca işlem hacimlerinin ve sahip olduğu aktiflerin diğer bankalara göre çok daha fazla oluşu bu bankaların üst sıralarda yer almalarını sağlamıştır. Sıralamanın üst basamakları bu şekildeyken kullanılan her iki metotta da sıralamanın en alt dört basamağı incelenen yıllarda aynı kalmıştır. Sırasıyla QNB Finansbank, Denizbank, ING Bank ve HSBC Bank sıralamanın en alt basamaklarını oluşturmaktadır. Ortaklık yapısında yabancı yatırımcıları barındıran yabancı sermayeye sahip bu dört bankanın en alt sırada yer alması göze çarpmaktadır. Yabancı sermayeye sahip bu dört bankanın her iki yönteme göre son basamaklarda yer alması İhraç Edilen Menkul Kıymetler kriterine (K4) ilişkin değerlerinin düşük olmasından ve işlem hacimleri ile aktiflerin diğer bankalardan daha az olmasından kaynaklanmaktadır.

Literatürde bu konu ile ilgili yapılan çalışmalarda farklı yöntemlere göre bankaların finansal performanslarının sıralanmasında farklı sıralamalar elde edilmesine rağmen çalışmamızda kullanılan farklı iki yöntemden elde edilen sonuçların benzer olması çalışmanın tutarlı ve güvenilir olmasının yanı sıra kullanılan verilerin ve yapılan

uygulamanın doğru olduğunu göstermektedir. Bu yönüyle çalışmanın mukayeseli olarak yapılacak olan diğer ÇKKV çalışmalarına ve literatüre katkı sunacağı değerlendirilmektedir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Emre Ekin problemin tanımlanması, makale kurgusunun planlaması, teori kısmının yazımı, uygulama verilerinin elde edilmesi, analizlerin gerçekleştirilmesi ve yorumlanmasında; İlayda Gökçe Cesur makale yazım ve düzenlemesi ile literatür taraması konularında katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Akgül, Y. (2019). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Türk Bankacılık Sisteminin 2010-2018 Yılları Arasındaki Performansının Analizi. *Finans Ekonomi ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 4(4), 567-582. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/pub/fesa/issue/51577/655722>

Akkoç, S., & Vatansever, K. (2013). Fuzzy Performance Evaluation with AHP and Topsis Methods: Evidence from Turkish Banking Sector after the Global Financial Crisis. *Eurasian Journal of Business and Economics*, 6(11), 53-74. Erişim adresi: https://www.researchgate.net/publication/288925296_Fuzzy_Performance_Evaluation_with_AHP_and_Topsis_Methods_Evidence_from_Turkish_Banking_Sector_after_the_Global_Financial_Crisis

Alp, S., & Engin, T. (2011). Trafik Kazalarının Nedenleri ve Sonuçları Arasındaki İlişkinin TOPSIS ve AHP Yöntemleri Kullanılarak Analizi ve Değerlendirilmesi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 19, 65-87. Erişim adresi : <https://dergipark.org.tr/pub/ticaretfd/issue/21359/229116>

Bankaların Görev ve Sorumlulukları Nelerdir? Erişim adresi: <https://www.fikir.gen.tr/bankalarin-gorev-ve-sorumluluklari-nelerdir/>

Cebeci, H. İ. (2021). Yönetim Bilişim Sistemleri Literatüründe Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri: Sistemik bir İnceleme. *İşletme Bilimi Dergisi*, 9(1), 111-146. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/pub/jobs/issue/60721/894997>

Çağlar, A., & Öztaş, G. Z. (2016). Veri Zarflama Analizi ve Analitik Hiyerarşi Süreci ile Sigorta Şirketlerinin Finansal Oran Analizi. *Veri Zarflama Analizi Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6(2), 221-248. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/pub/ckuibfd/issue/32908/365622>

Çakır, S., & Perçin, P. (2013). Çok Kriterli Karar Verme Teknikleriyle Lojistik Firmalarında Performans Ölçümü. *Ege Akademik Bakış*, 13(4), 449-459. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/559959>

Çelen, A. (2014). Evaluating the Financial Performance of Turkish Banking Sector: A Fuzzy MCDM Approach. *Journal of Economic Cooperation and Development*, 35(2), 43-70. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/fpeyd/issue/47986/607067>

Çınar, Y. (2004). *Çok Nitelikli Karar Verme ve Bankaların Mali Performanslarının Değerlendirilmesi Örneği*. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi S.B.E, s. 104. Erişim adresi: <https://dspace.ankara.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/20.500.12575/27658/614.pdf?sequence=1>

Demirarslan, P. Ç., Küçükönder, H., & Kınır, S. (2019). ENTROPİ Tabanlı Topsis ve Vikor Yaklaşımı ile Akademisyenler Üzerinde Duygusal Performans Değerlendirme Bartın Örneği. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 18(69), 232-237. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/pub/esosder/issue/40918/427997>

Demireli, E. (2010). Topsis Çok Kriterli Karar Verme Sistemi: Türkiye'deki Kamu Bankaları Üzerine Bir Uygulama. *Girişimcilik ve Kalkınma Dergisi*, 5(1). Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/girkal/issue/45195/565962>

Dinçer, H., & Görener, A. (2011). Analitik Hiyerarşi Süreci ve VIKOR Tekniği ile Dinamik Performans Analizi: Bankacılık Sektöründe Bir Uygulama. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 10(19), 109-127. Erişim adresi: <https://www.semanticscholar.org/paper/Analitik-hiyerar%C5%9Fi-s%C3%BCreci-ve-vikor-tekn%C4%9Fi-ile-bir-Din%C3%A7er-G%C3%B6rener/de80db5cae40bcfc0e3d2da6f9df41dbd92ebf55>

Ertuğrul, İ., & Karakaşoğlu, N. (2008). Banka Şube Performanslarının VIKOR Yöntemi İle Değerlendirilmesi. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 20(1), 20. Erişim adresi: <https://search.trdizin.gov.tr/yayin/detay/92513/>

Hwang, C. (1996). *Multiple Attribute Decision Making An Introduction*. London: Sage Publications. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-0771\(199706\)10:2<151::AID-BDM265>3.0.CO;2-8](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-0771(199706)10:2<151::AID-BDM265>3.0.CO;2-8)

Işık, Ö. (2019). Entropi ve TOPSİS Yöntemleriyle Finansal Performans İle Pay Senedi Getirileri Arasındaki İlişkinin İncelenmesi. *Kent Akademisi*, 12(37), 200-213. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/672697>

Kandemir, T. v. (2016). Ticari Bankaların Finansal Performanslarının Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri İle İncelenmesi: Borsa İstanbul'da İşlem Gören Bankalar Üzerine Bir Uygulama. *İnsan Ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi*. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/itobiad/issue/24659/259145>

Kayalı, & Aktaş . (2018). BİST'te Hisse Senetleri İşlem Gören Otomotiv Sektöründeki Firmaların TOPSİS Yöntemine Göre Performans Değerlemesi ve Analizi. *Karabük Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 8(1), 43-59. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/joiss/issue/47347/597390>

Kuzu, S. (2015). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri. Bursa: Dora Yayıncılık, 117-125. Erişim adresi: <https://dorayayincilik.com.tr/kitap-cok-kriterli-karar-verme-yontemleri-258.html>

Opricovic, S., & Tzeng, G. (2007). Extended VIKOR Method İn Comparison With Other Outranking Methods. *European Journal of Operational Research*, 514-529. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.01.020>

Opricovic, S., & Tzeng, G. H. (2004). Compromise Solution by MCDM Methods: A Comparative Analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*, 156(2), 445-455. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00020-1](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00020-1)

Oral, C. (2016). Evaluating The Financial Performances of Privately Owned Deposit Banks in Turkey by TOPSIS Method. *Journal of Business Research Turk*, 8(1), 448-455. <http://dx.doi.org/10.20491/isader.2016.153>

Ömürbek, N., Karaathlı, M., & Balcı, F. (2016). Entropi Temelli Maut ve Saw Yöntemleri ile Otomotiv Firmalarının Performans Değerlemesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi*, 31(1), 227-255. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/625752>

Özdemir, M., Yıldırım, B. F., & Önder, E. (2014). İşletmeciler, Mühendisler ve Yöneticiler İçin Operasyonel, Yönetimsel ve Stratejik Problemlerin Çözümünde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri. Bursa: Dora Yayıncılık. Erişim adresi: <https://www.nobelkitap.com/operasyonel-yonetsel-ve-stratejik-problemlerin-cozumunde-cok-kriterli-karar-verme-yontemleri-254280.html>

Özdemir, O., & Kılıçarslan, Ş. (2021). Entropi Temelli Gri İlişkisel Analiz Tekniği ile Hayat ve Emeklilik Şirketlerinin Finansal Performansları Üzerine Bir Araştırma. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 26(4), 413-434. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/sduibfd/issue/65632/957303>

Saldanlı, A. & Sırma, İ. (2014). TOPSİS Yönteminin Finansal Performans Göstergesi Olarak Kullanılabilirliği - The Usability Of TOPSIS Method As A Financial Performance Indicator. *Öneri Dergisi*, 11(41), 185-202. <https://doi.org/10.14783/od.v11i41.5000011412>

Sarı, T. (2020). Banka Performans Ölçümünde Topsis Ve Promethee Yöntemlerinin Karşılaştırılması. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 34(1), 103-122. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/967799>

Şahin, H. (2002). *İktisada Giriş* Bursa: Ezgi Kitabevi. 6.Baskı Erişim adresi: https://www.kitantik.com/product/iktisada-giris-gozden-gecirilmis-6-baski_1br9qfwkp2ctm181jgv

Taşabat, S. C. (2016). Farklı Ağırlıklandırma Tekniklerinin Denendiği Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri İle Türkiye'deki Mevduat Bankalarının Mali Performanslarının Değerlendirilmesi. *Social Sciences Research Journal*, 4(2), 96-110. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ssrj/issue/22479/240431>

Tezergil, S. (2016). VIKOR Yöntemi ile Türk Bankacılık Sektörünün Performans Analizi. *Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 38(1), 357-373. <https://doi.org/10.14780/iibd.92056>

Topak, M., & Çanakçıoğlu, M. (2019). Banka Performansının Entropi ve Copras Yöntemi İle Değerlendirilmesi: Türk Bankacılık Sektörü Üzerine Bir Araştırma. *Mali Çözüm*, 29(154), 107-132. Erişim adresi : https://www.researchgate.net/publication/335870688_banka_performansinin_entropi_ve_copras_yontemi_ile_de_gerlendirilmesi_turk_bankacilik_sektoru_uzerine_bir_arastirma

Uğur, L. (2017). Yapı Makinesi Satın Alımında VIKOR Çok Kriterli Karar Verme Yönteminin Uygulanması. *Politeknik Dergisi*, 20(4), 880-881. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/387590>

Uludağ, A. S., & Doğan, H. (2016). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Karşılaştırılmasına Odaklı Bir Hizmet Kalitesi Uygulaması. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6(2), 17-47. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ckuiibfd/issue/32908/365616>

Vergili, G. (2017). BIST'te İşlem Gören Bankaların TOPSIS Yöntemiyle Performanslarının Değerlendirilmesi. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 18(1), 95-112. <https://doi.org/10.18037/ausbd.550773>

Yalçiner, D., & Karaatlı, M. (2018). Mevduat Bankası Seçimi Sürecinde TOPSIS ve ELECTRE Yöntemlerinin Kullanılması. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 23(2), 401-423. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/sduiibfd/issue/52999/703462>

Yetiz, F. & Kılıç, Y. (2021). Bankaların Finansal Performansının VIKOR Yöntemi ile Değerlendirilmesi: Türkiye Örneği. *Akademik Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi (AKAD)*, 13(24), s. 151-164. <https://doi.org/10.20990/kilisiibfakademik.890105>

Yıldırım, B. F., & Önder, E. (2015). İşletmeciler, Mühendisler ve Yöneticiler İçin Operasyonel, Yönetimsel ve Stratejik Problemlerin Çözümünde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri. Bursa: Dora Yayıncılık. Erişim adresi: <https://www.nobelkitap.com/operasyonel-yonetsel-ve-stratejik-problemlerin-cozumunde-cok-kriterli-karar-verme-yontemleri-254280.html>

Yılmaz, N. (2020). Türkiye'deki Mevduat Bankalarının VIKOR Yöntemiyle Performans Analizi. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 12(3), 2733-2748. Erişim adresi: <https://www.ceeol.com/search/article-detail?id=970353>



Journal of Turkish Operations Management

Amerika havayolu yolcu milinin LSTM ve AR modeli kullanılarak tahmini

Bülent Sezen¹, Nalan Yüce^{2*}

¹İşletme Bölümü, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli
e-mail: bsezen@gtu.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0001-7485-3194>

²İşletme Bölümü, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli
e-mail: ciritnalan@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-4538-0794>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Geliş: 14.12.2021
Revize: 08.09.2022
Kabul: 26.09.2022

Anahtar Kelimeler:

Havayolu yolcu mili,
LSTM modeli,
Zaman serileri

Özet

2019 yılında Çin'de ortaya çıkan Covid-19 salgını kısa sürede tüm Dünya'da yayılmıştır. Havayolu yolcu taşımacılığı da Covid-19 salgınından en yoğun etkilenen sektörlerden biridir. Havayolu yolcu mili metriği ile sektördeki hareketlilik ölçülebilmektedir. Bu çalışmada Amerika Birleşik Rezerv Ekonomik Veri (FRED) sisteminden alınan Amerika havayolu yolcu mili metriğine ait 2000 ile 2021 yılları arasında toplam 259 veri kullanılmıştır. Kullanılan veri setinin durağan özellik göstermediği ve mevsimselliğe sahip olduğu gözlemlenmiştir. Derin öğrenme metodlarından Tekrarlayan Sinir Ağlarının (RNN) Uzun Kısa Dönem Hafıza (LSTM) mimarisinin durağan olmayan veri seti ile çalışabilmesi ve mevsimsellik etkilerini hesaba katabiliyor olmasından ötürü bu çalışmada tercih edilmiştir. Covid-19 döneminde veri setinin eğiliminde meydana gelen ani değişimin LSTM mimarisinin performansına etkisini gözlemleyebilmek amacıyla hem Covid-19 dönemi verilerini içeren hem de içermeyen veri seti ile iki ayrı tahmin yapılmış ve sonuçlar kıyaslanmıştır. Bulgulara göre, Covid-19 dönemini içermeyen veri seti ile yapılan tahminlerde LSTM mimarisinin performansının çok daha yüksek olduğu görülmüştür. Aynı veri setinin Otoregresif Model (AR) ile de tahmini yapılmış ve sonuçlar kıyaslanmıştır. LSTM mimarisi ile 1960-2020 yılları arasında Türkiye'ye ait yolcu sayısı verileri ile tahmin yapılmıştır.

Estimation of American air passenger miles using the LSTM and AR Model

Article Info

Received: 14.12.2021
Revised: 08.09.2022
Accepted: 26.09.2022

Keywords:

Airline passenger mile,
LSTM model,
Time series

Summary

The Covid-19 epidemic, which emerged in China in 2019, spread all over the world in a short time. Air passenger transportation is one of the sectors most heavily affected by the Covid-19 epidemic. With the airline passenger mile metric, the mobility in the sector can be measured. In this study, a total of 259 data for the American airline passenger mile metric taken from the United Reserve Economic Data (FRED) system between 2000 and 2021 were used. It has been observed that the data set used does not show a static feature and has seasonality. Long Short-Term Memory (LSTM) architecture of Recurrent Neural Networks (RNN), which is one of the deep learning methods, was preferred in this study because it can work with non-stationary data set and can take seasonal effects into account. In order to observe the effect of the sudden change in the trend of the data set in the Covid-19 period on the performance of the LSTM architecture, two separate estimations were made with and without the Covid-19 period data, and the results were compared. According to the findings, it was seen that the performance of the LSTM architecture was much higher in the predictions made with the data set that did not include the Covid-19 period. The same data set was also estimated with the Autoregressive Model (AR) and the results were compared. With the LSTM architecture, estimations were made with the number of passengers in Turkey between the years 1960-2020.

1. Giriş

Covid-19 salgını 2019 Aralık ayından itibaren kısa sürede yayılarak, tüm Dünyada etkisini göstermiştir. Covid-19 ile en çok etkilenen sektörlerden birisi olan havayolu yolcu taşımacılığı bu çalışmada incelenmiştir. Havayolu yolcu mili verileri zamana bağlı değişen verilerdir. Zamana bağlı değişen veriler literatürde zaman serileri verileri olarak adlandırılmaktadır. Zaman serisi tahmini, aynı değişkenin geçmiş gözlemlerinin toplandığı ve altta yatan ilişkiyi tanımlayan bir model geliştirmek için analiz edildiği önemli bir tahmin alanıdır (Zhang, 2003). Son zamanlardaki gelişmeler ile zaman serileri tahmininde sık sık yapay sinir ağları kullanılmaktadır (Abbasimehr, Shabani ve Yousefi, 2020).

LSTM, derin öğrenme alanında kullanılan yapay bir Tekrarlayan Sinir Ağı (RNN) mimarisidir. Sıralı bir zaman serisi modeli oluşturmak için verimli bir algoritmadır (Luo, Zhang, Fu ve Rao, 2021). LSTM daha önceki verileri hafızaya alarak gelecek tahmini yapabilen bir mimaridir (Chimmula ve Zhang, 2020). LSTM'ler, verilerin zamansal yönlerini modellemedeki doğal yeteneği nedeniyle makine çevirisi, dil modelleme, el yazısı tanıma, resim yazısı, konuşma tanıma, süreç tahmini ve tıbbi teşhiste yaygın olarak kullanılmaktadır (Somu, Raman ve Ramamritham, 2020). LSTM mimarisi literatürde farklı alanlarda kullanılarak zaman serisi tahminlerinde iyi bir yöntem olduğunu göstermiştir.

Tüm tahmin modelleri parametrik, parametrik olmayan ve hibrit modeller olarak sınıflandırılabilir. LSTM mimarisi parametrik olmayan modeller sınıfına girmektedir. Bu mimarinin diğer yöntemlere göre avantajları arasında arka plan için ön koşul gerektirmemesi, veriye dayalı otomatik prosedürler, durağan olmayan verileri iyi analiz etme, güçlü genelleme kapasitesi, karmaşık problemlerin çözümüne yakınsamadaki başarısı sayılabilir. Dezavantajları arasında da aşırı uydurma, yerel optimumlara kolayca düşme, kapsamlı veri gerektirmesi sayılabilir (Cao, Sun ve Li, 2021). Avantajları göz önünde bulundurularak bu çalışmada LSTM modeli kullanılmıştır.

Daha önce Choi ve Kim (2021) en yoğun havalimanlarından biri olan Hartsfield–Jackson Atlanta Uluslararası Havalimanı'nın (ATL) saatlik kalkış ve varış kapasitesini tahmin etmek için yapay sinir ağı algoritmaları (MLP, RNN ve LSTM) kullanmıştır. Tahmin için kurulan modeller, havalimanının 1 Ocak 2013 ile 31 Aralık 2017 arasında saatlik kapasite ve hava durumu verileri kullanılarak eğitilmiştir. Brown ve Kline (2020) yaptıkları çalışmada Amerikan havayolu sektörünün gelecek tahmininde dış faktörler karşısında yetersiz kaldıklarını ve Covid-19 salgınında da başarısız süreç yönetimi yaptıklarını göstermiştir. Hotle ve Mumbower (2021) Covid-19 döneminde Amerika havalimanlarındaki operasyonlarının nasıl etkilendiğini incelemiş, Mayıs 2020'deki uçuşların 2019 uçuşlarına göre %70 azaldığını göstermiştir.

Literatür incelediğinde ani değişimlerde havayolu sektörünün hazırlıksız yakalandığı ve büyük kayıplara uğradığı görülmektedir. Bu doğrultuda geleceğe yönelik tahmin metotları ile veriler incelenerek havayolu sektöründe gelecek projeksiyonunun daha iyi yapılması mümkün kılınabilir ve sektörün uğradığı hasar minimuma indirilebilir.

Bu çalışmada da LSTM mimarisinin Amerika havayolu yolcu milinde tahmin performansı incelenerek havayolu sektöründe gelecek projeksiyonu yapılması için doğru yöntemlerin bulunmasına destek sağlanmıştır. Veri seti Amerika Birleşik Rezerv Ekonomik Veri (FRED) sisteminden alınmıştır. FRED 96 kaynak ve 765.000'den fazla ekonomik zaman serisine sahip St. Louis Federal Rezerv Bankası'nın Araştırma bölümü tarafından sağlanan bir veri tabanıdır. 2000 ve 2021 yılları arasındaki Amerika havayolu yolcu mili sayısına ait 259 veri, bu çalışma kapsamında incelenmiştir. Havayolu yolcu mili, toplam uçulan mil ile toplam yolcu sayısının çarpımı ile elde edilir. Havayolu yolcu taşımacılığı için önemli bir metriktir. Bu çalışmada Covid-19 etkisindeki havayolu sektörü yapay sinir ağlarından LSTM mimarisi aracılığıyla incelenmiştir. Havayolu yolcu mili verisi yukarı yönde artış trendi göstermektedir. Yılın belli dönemlerinde artış belli dönemlerinde azalış göstermesiyle de mevsimsel etkiler barındırmaktadır. Veri seti Augmented Dickey-Fuller test ile analiz edilmiş, p değeri 0,97 olarak hesaplanmış ve durağan olmadığı görülmüştür. Mevsimsel ayrıştırma (decompose) ile veri ayrıştırılıp trend, mevsimsellik ve artık değerlerin grafikleri çizdirilmiştir. Bu grafikler sayesinde veri doğru yorumlanarak kurulacak modele temel oluşturulmuştur.

Covid-19 dönemini içeren ve Covid-19 dönemini içermeyen veri seti incelenerek gelecek bir yıla ait tahmin yapılmış ve sonuçlar kıyaslanmıştır. Çalışmanın amacı zaman serilerinde ani değişimlerde LSTM mimarisinin performansını incelemektir. RMSE değerleri Covid-19 dönemini içeren veri setinde 4,84E+07 olarak, Covid-19 dönemini içermeyen veri setinde 2,3E+6 olarak hesaplanmıştır. Buradan açıkça görülmektedir ki veri setinde ani değişim olduğunda LSTM mimarisinin başarı performansı büyük oranda düşmektedir. AR modeli ile de veri setinde tahmin yapılmış ve sonuçlar LSTM mimarisi ile kıyaslanmıştır. Daha başarılı sonuçlar veren LSTM mimarisi ile Türkiye için de yolcu sayısı tahmini yapılmıştır.

Çalışmanın devamında havayolu sektörüne ve zaman serileri tahmin yöntemlerine ilişkin literatüre, üçüncü bölümde yöntem, dördüncü bölümde problem uygulamasına ve beşinci bölümde ise sonuç kısmına yer verilmiştir.

2. Bilimsel Yazın Taraması

Yapılan çalışma Amerika havayolu yolcu mili sayısının gelecek dönem tahmini üzerine yoğunlaşmıştır. Literatürde birçok farklı yöntem ile zaman serileri analizi yapılmış ve geleceğe yönelik tahminlerde başarı gösterilmiştir.

Yang, Tang, Zeng, Lu ve Zhang (2021) yaptıkları çalışmada hava sahası yoğunluk indeksi tahmini için yeni bir model geliştirmiştir. Regresyon modelleri için, grafik evrişim ve LSTM mimarisi, uzay-zamansal özellik çıkarma ve hava sahası yoğunluk indeksi tahmini için entegre edilmiştir. Sınıflandırma modelleri için, XGBoost yöntemi ayrıca hava sahası yoğunluğu tanımlaması için dahil edilmiştir. Karami ve Kashef (2020) akıllı ulaşım planlaması için zaman serileri tahmininde derin öğrenme, ARIMA, Holt Winters' Exponential Smoothing gibi yöntemleri kıyaslamıştır. Gelecek yıllarda akıllı ulaşım planlamasında kullanılacak çeşitli veri kaynakları, kurulabilecek modeller ve yeni iş fırsatları çalışma kapsamında belirtilmiştir. Bi, Li ve Fan (2021) yaptıkları çalışmada görüntü işlemede derin öğrenmenin faydalarından yararlanarak turizmde talep tahmini için farklı modeller kurarak kıyaslama yapmıştır. LSTM ve Evrişimli Sinirsel Ağ (CNN) yöntemleri birlikte kullanılarak, görüntü işleme de talep tahmini konusuna dahil edilmiştir. Cao, Sun ve Li (2021) yüksek hızlı tren taşımacılığı için talep tahmini yaparken artık bileşen imhasına dayalı olarak deterministik ve olasılıksal tahmin kapasitelerine sahip yeni bir sistem sunmaktadır. Abdar, Pourpanah, Hussain, Rezazadegan, Liu, Ghavamzadeh, Fieguth, Cao, Khosravi, Acharya, Makarenkov ve Nahavandi (2021) yaptıkları çalışmada derin öğrenmede belirsizliklerin nicelleştirilmesi için literatür taraması yapmış, teknikleri, uygulamaları ve zorlukları değerlendirmiştir. Alassafı, Jarrah ve Alotaibi (2021) yaptıkları çalışmada Malezya, Morokko ve Suudi Arabistan'daki Covid-19 vakalarının tahminini LSTM ve RNN yöntemleri ile yapmış ve sonuçları kıyaslamıştır. LSTM mimarisi ile çok daha doğru sonuçlar ortaya çıkartılmıştır. Hanson, Delibasi, Gatti ve Cohen (2021) ekonomik aktivitelerdeki değişikliklerin havayolu yolcu trafiğini nasıl etkilediğini incelemiştir. Kazanç ve havayolu taşımacılığı talebinin arasındaki nedensellik araştırılmıştır. Otoregresif dağıtılmış gecikmeler (ARDL) sınır testi ile kısa-uzun vadeli gelir esnekliklerinin talebe etkisi üzerine çalışılmıştır. Singh (2021) yaptığı çalışmada havayolu taşımacılığına duyulan bağlılığı literatürde bulunan etmenler aracılığıyla tahmin etmek için model geliştirmiştir. Havayolu yolcularından anket çalışmasıyla veri toplanmış ve yapay sinir ağları teorisi ile kıyaslamasını yapmıştır. Truong (2021) sinir ağları ve Monte Carlo simülasyonunu kullanarak Covid-19'un havayolu taşımacılığının orta ve uzun vadeli tahmini üzerine çalışmıştır. Grosche ve diğ. (2007) havayolu yolcu talebinin tahmini için ağırlık (gravity) modelini kullanmıştır. Modelde havayolu hizmet değişkenleri yerine uçulan şehirlerin genel ekonomik faaliyetlerini ve coğrafi özelliklerini değerlendirilmiştir. Solvoll, Mathisen ve Welde (2020) Norveç havalimanlarındaki hava trafiğini tahmin etmek üzere farklı modeller denemiş ve kıyaslamasını yapmıştır. Değişkenlik, analogi ve taşıma yöntemleri ile tahmin yapılarak ekonomik yararları kıyasla bölgesel etkilerin daha önemli olduğu vurgulanmıştır. Analogi yöntemlerinin esneklik yaklaşımına dayalı daha geleneksel yöntemlerden daha uygun olduğu görülmüştür. Iacus, Natale, Santamaria, Spyrtos ve Vespe (2020) Covid-19 dönemindeki havayolu yolcu trafiğini incelemiş ve gelecek dönem tahmini yapmıştır. 2010 yılından 2019 yılına o kadar olan havayolu verisi homojen olmayan Poisson süreci ile işlenmiş ve 2020 yılı için tahmin yapılmıştır. İç ve Civelek (2021) yaptıkları zaman serileri analizinde etmensel deney tasarım yöntemi ile gayrisafi yurtiçi hasılasının tahmini üzerinde çalışmıştır. Ünsal ve Kasap (2020) zaman serisi ve küme analizi kullanarak G20, AB ve OECD ülkelerindeki Covid-19 vakalarını incelemiştir. İncekara (2020) Türkiye doğalgaz talep tahmini için yaptığı çalışmada bulanık Analitik Hiyerarşik Proses ve TOPSIS modellerini kullanmıştır.

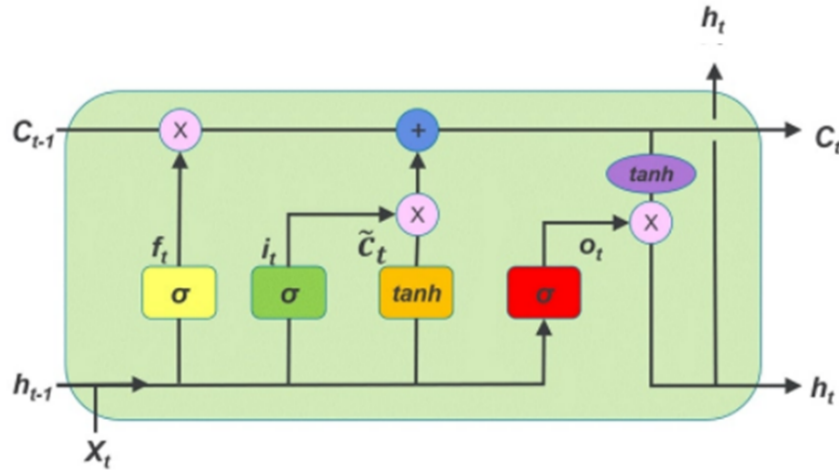
Tüm bu çalışmalar incelendiğinde havayolu taşımacılığının ileriye dönük projeksiyonunun tahminin kritik öneme sahip olduğu görülmüştür. Bu noktada da LSTM yöntemi ile başarılı tahmin sonuçları elde edilmeye çalışılmış ve havayolu sektörünün büyük zararlara uğramadan krizleri atlmasına destek olacak modeller geliştirilmiştir.

3. Yöntem

Derin öğrenme teknikleri makine öğrenimini, insan beyninin sinir ağlarından esinlenerek, makinelerin görevleri ayırt etmeyi öğrenebileceği yepyeni bir düzeye taşımıştır. Yapay sinir ağları insan beyninin çalışma prensibini taklit eder. Bu noktada yapılan hesaplamalar derin öğrenme kavramını ortaya çıkarmıştır. Derin öğrenmenin çıkış noktası algoritmalara dayalı sinir ağlarına bir matematiksel model oluşturulmasıdır.

Derin öğrenme yöntemlerinde tahmin yapmak için çeşitli mimarilerden faydalanılmaktadır. Bunlardan biri de LSTM mimarisidir. LSTM hafızasını kullanarak zaman serisi verilerinin tahmininde kullanışlıdır. LSTM mimarisi Tekrarlayan Sinir Ağları (RNN) modelinden türetilmiştir. LSTM mimarisinde, RNN'deki standart ileri beslemeli bağlantılara ek olarak, ünitelerde geri besleme bağlantıları bulunur.

Bir LSTM birimi, Şekil 1'de de görüleceği üzere bir hücre, bir giriş kapısı, bir çıkış kapısı ve bir unutma kapısından oluşur. Hücre keyfi zaman aralıklarında değerleri hatırlar ve bu üç kapı hücreye giren ve çıkan bilgi akışını düzenler (Karami ve Kashef, 2020).



Şekil 1. LSTM yapısı

Aşağıda 1 numaralı denklemde, hücreye hangi bilgilerin aktarılması gerektiğini belirleyen giriş kapısının matematiksel ifadesi gösterilmektedir:

$$i_t = \sigma(W_i * [h_{t-1}, x_t] + b_i) \quad (1)$$

Aşağıdaki 2 numaralı denklemde, hangi bilgilerin ihmal edileceğini belirleyen unutma kapısının matematiksel ifadesi gösterilmektedir.

$$f_t = \sigma(W_f * [h_{t-1}, x_t] + b_f) \quad (2)$$

Güncelleme kapısı, aşağıdaki 3 ve 4 numaralı denklemlerle matematiksel olarak ifade edilen hücre durumunu günceller:

$$\tilde{c}_t = \tanh(W_c * [h_{t-1}, x_t] + b_c) \quad (3)$$

$$c_t = f_t * c_{t-1} + i_t * \tilde{c}_t \quad (4)$$

Çıkış kapısı, çıkışın güncellenmesinden ve önceki zaman adımının gizli katmanını güncellemekten sorumludur. Matematiksel ifade aşağıdaki 5 ve 6 numaralı denklemlerde gösterilmektedir:

$$o_t = \sigma(W_o * [h_{t-1}, x_t] + b_o) \quad (5)$$

$$h_t = o_t * \tanh(c_t) \quad (6)$$

Regresyon modeli için ortalama kare hatası üzerinde kayıp fonksiyonu olarak L2 düzenleme yöntemi uygulanmaktadır. Kayıp fonksiyonun matematiksel gösterimi 7 numaralı denklemde:

$$Loss_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i' - y_i)^2 + \lambda \sum_k w_k^2 \quad (7)$$

BuHata! Başyuru kaynağı bulunamadı. numaralı denklemde y_i ve y_i' değerleri tahmin edilen ve gerçek değerleri, λ toplam kayıptaki düzenleme oranını, w ise regresyon modelinin eğitilebilir ağırlıklarıdır. Kurulan modelin tahmin performansı RMSE değeri hesaplanarak incelenebilmektedir. 8 numaralı denklemde RMSE değerinin matematiksel ifadesi görülmektedir. y_i ve y_i' değerleri tahmin edilen ve gerçek değerleri, n değeri örneklem büyüklüğünü göstermektedir.

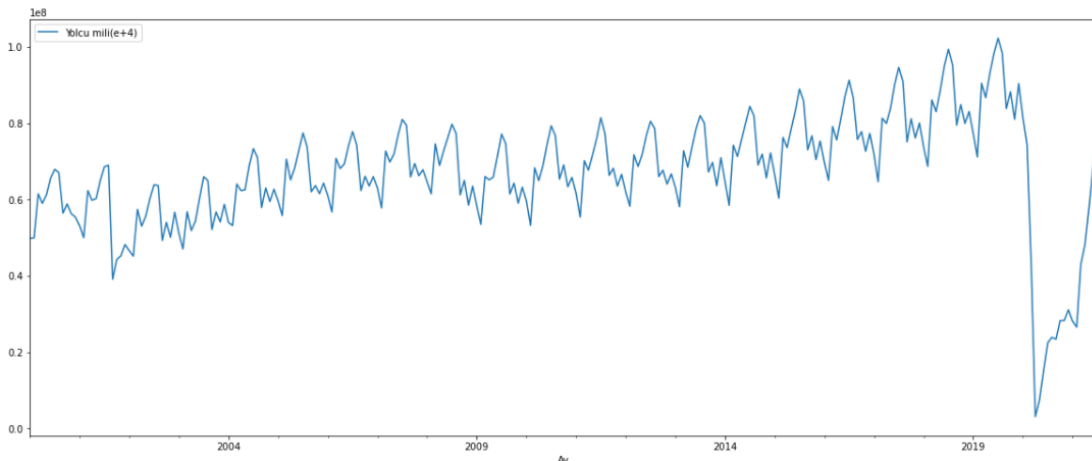
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y'_i - y_i)^2} \quad (8)$$

Bu çalışma kapsamında derin öğrenme mimarisi LSTM, zaman serilerinin incelenmesinde kullanılmıştır. Veri seti Amerika Birleşik Rezerv Ekonomik Veri (FRED) sisteminden alınmış olup Amerika Havayolu Yolcu Mili'nin 2000 ve 2021 yılları arasını kapsamaktadır. Öncelikli olarak veri setinin trend ve mevsimsellik durumları incelenmiştir. Covid-19 salgını sebebiyle yolcu milindeki ani değişimin LSTM mimarisi üzerindeki değişimini incelemek için veri seti ikiye ayrılmıştır. Birinci uygulamada veri seti Covid-19 dönemini içeren şekilde, ikinci uygulamada Covid-19 dönemini içermeyen şekilde incelenmiştir. Her bir uygulamada son 12 ay test verisi olarak kullanılmıştır. Aylık bazlı değişen yolcu mili sayısı bu sayede iki farklı uygulama ile incelenmiştir. Veri setinin ilk 5 ayı Tablo 1'de görülmektedir. Her ay için toplam yolcu mili sayısı tabloda görülmektedir.

Tablo 1. Genel veri seti-Amerika

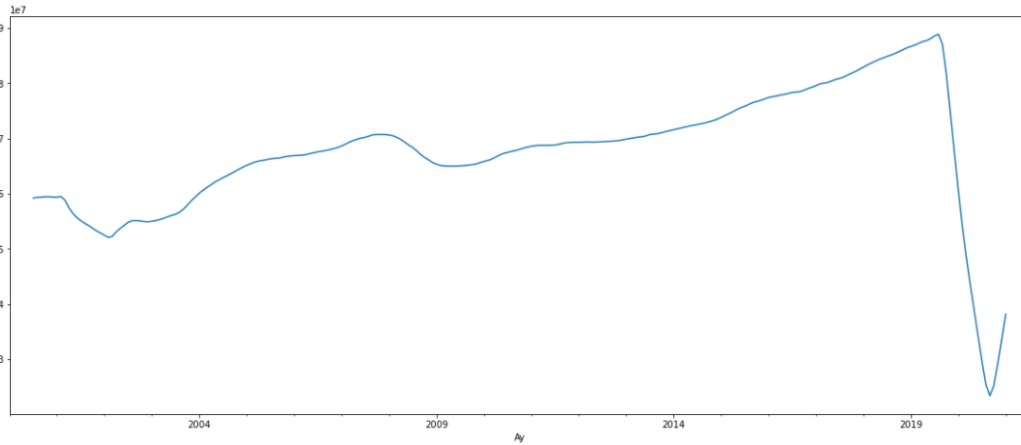
Ay	Yolcu mili (e+4)
2000-01-01	49843099
2000-02-01	49931931
2000-03-01	61478163
2000-04-01	58981617
2000-05-01	61223861

Veri setindeki özellikler ve değerleri Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4'te görülmektedir. Şekil 2'de Covid-19 dönemini içeren yolcu mili veri seti aylık periyotlarla gösterilmiştir.



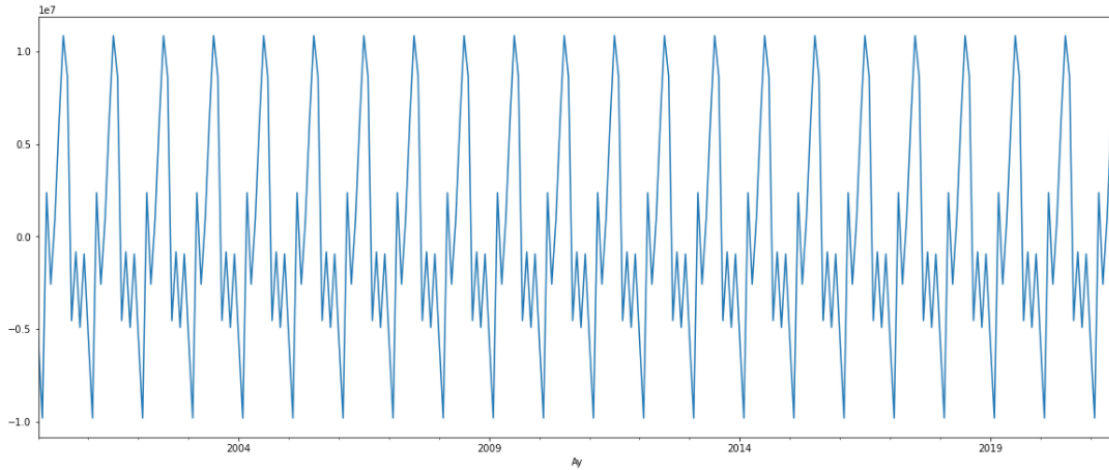
Şekil 2. Covid-19 dönemini içeren veri seti-Amerika

Şekil 3'te bu veri setine ait trend grafiği sunulmuştur. Trend grafiği incelendiğinde 2001-2002 yıllarında ve 2008-2009 yıllarında artan trendin yavaşladığını hatta azaldığını görüyoruz. Bu durumun o yıllarda yaşanan global ekonomik krizlerle ilgili olduğu düşünülmektedir. 2020 yılında görülen sert düşüş ise bu çalışmanın temelini oluşturmaktadır.



Şekil 3. Verinin trend grafiği

Şekil 4'te de veri setinin mevsimsellik grafiği görülmektedir. Mevsimsellik grafiğinde görüldüğü üzere veride bir döngüsellik söz konusudur. Veri seti incelendiğinde yaz aylarında yolcu milinde artış gözlemlenmiştir.



Şekil 4. Verinin mevsimsellik grafiği

AR modeli de genel tahmin modelleri kapsamında kullanılan bir yöntemdir. Bir otoregresyon modelinde, değişkenin geçmiş değerlerinin doğrusal bir kombinasyonu kullanılarak tahmin yapılır. AR modeli çoklu regresyon modelinde olduğu gibi bağımlı bir değişken ile bu değişkeni açıklayan bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi ortaya koyan bir model olmayıp, aynı değişkenin belirli bir t dönemine ilişkin gözlem değeri ile ondan önceki dönemlere ait gözlem değerleri arasındaki ilişkiyi açıkladığı için çoklu regresyon modelinden ayrılır ve "otoregresif model" adını alır. Uygulamada da sıkça kullanılan bir yöntem olması sebebiyle bu çalışma kapsamında tercih edilmiştir. Otoresgresyon terimi, değişkenin kendisine karşı bir regresyonunu tanımlar. p düzeyindeki bir dizi gecikmeli değere karşı bir otoregresyon çalıştırılır.

Aşağıdaki 9 nolu denklemde c değeri sabiti, ϕ_1 ve ϕ_2 değerleri p mertebesine kadar olan gecikme katsayılarını, ε_t değeri ise beyaz gürültüyü göstermektedir.

$$y_t = c + \phi_1 y_{t-1} + \phi_2 y_{t-2} + \dots + \phi_p y_{t-p} + \varepsilon_t \quad (9)$$

Örneğin bir AR(1) modeli aşağıdaki 10 numaralı denklemdeki gibi ifade edilebilmektedir.

$$y_t = c + \phi_1 y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (10)$$

AR(2) modeli ise aşağıdaki 11 numaralı denklemdeki gibi ifade edilebilmektedir. Denklemler bu şekilde devam etmektedir.

$$y_t = c + \phi_1 y_{t-1} + \phi_2 y_{t-2} + \varepsilon_t \quad (11)$$

Genellikle otoregresif modelleri durağan verilerle sınırladığımız için gecikme katsayılarının genellikle birden küçük olduğuna dikkat edilmesi gereklidir. Örneğin AR(1) modelinde 12 numaralı denklem sağlanmalıdır.

$$-1 < \phi_1 < 1 \quad (12)$$

AR(2) modelinde ise 13 numaralı denklem gerekli şartları belirtmektedir.

$$-1 < \phi_2 < 1, \phi_1 + \phi_2 < 1, \phi_2 - \phi_1 < 1 \quad (13)$$

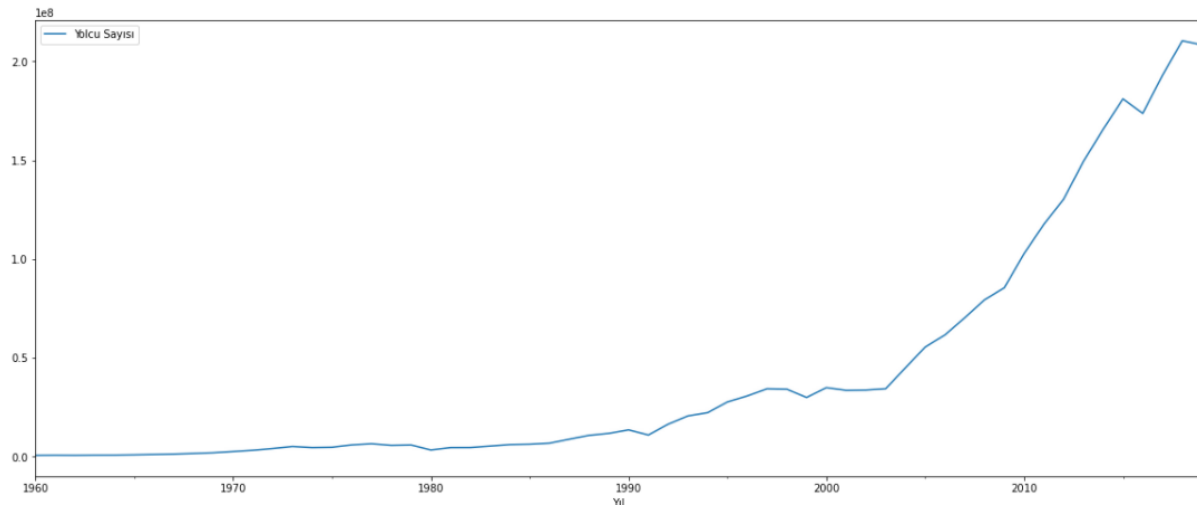
AR(3) modeli matematiksel olarak çok daha karışık ifade edilmektedir fakat mevcut istatistik modelleri tüm bu matematiksel hesaplamaları yapabilmektedir.

LSTM ve AR modelinin tahmin performansları kıyaslandıktan sonra Türkiye için de Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü, Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü'nden alınan 1960-2020 yılları arasındaki yıllık havayolu yolcu sayısı verilerine göre tahmin yapılmıştır. Birinci uygulamada veri seti Covid-19 dönemini içeren şekilde, ikinci uygulamada Covid-19 dönemini içermeyen şekilde incelenmiştir. Her bir uygulamada son 12 yıl test verisi olarak kullanılmıştır. Veri setinin ilk 5 yılı Tablo 2'de görülmektedir.

Tablo 2. Genel veri seti-Türkiye

Yıl	Yolcu Sayısı
1960-12-31	713217
1961-12-31	788636
1962-12-31	729996
1963-12-31	821489
1964-12-31	842841

Şekil 5'te de 60 yıla ait Türkiye havayolu yolcu sayısı grafiği görülmektedir. Yolcu sayısındaki artış trendi grafikte açıkça görülmektedir.



Şekil 5. Türkiye havayolu yolcu sayısı grafiği

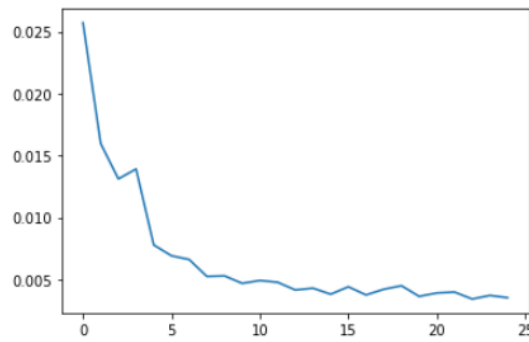
4. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, LSTM mimarisi ile 2000-2021 yılları aralığından oluşan Amerika havayolu yolcu mili zaman serisi verilerinin tahmini yapılmış ve AR modeli ile sonuçlar kıyaslanmıştır. Türkiye havayolu yolcu sayısı için de LSTM mimarisi ile tahmin çalışması yürütülmüştür. LSTM mimarisi ile zaman serisi verilerinin analizine yönelik literatürde çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmada Python programlama diliyle Pandas, Numpy, Matplotlib, Stasmodels, Sklearn, Keras ve TensorFlow kütüphaneleri kullanılmıştır. Amerika Kurulan LSTM modeli tek katmanlı olup 150 nörondan oluşmakta ve çıkış katmanında tek bir çıkışı bulunmaktadır. Oluşturulan LSTM mimarisi aşağıdaki Tablo 3'te gösterilmiştir.

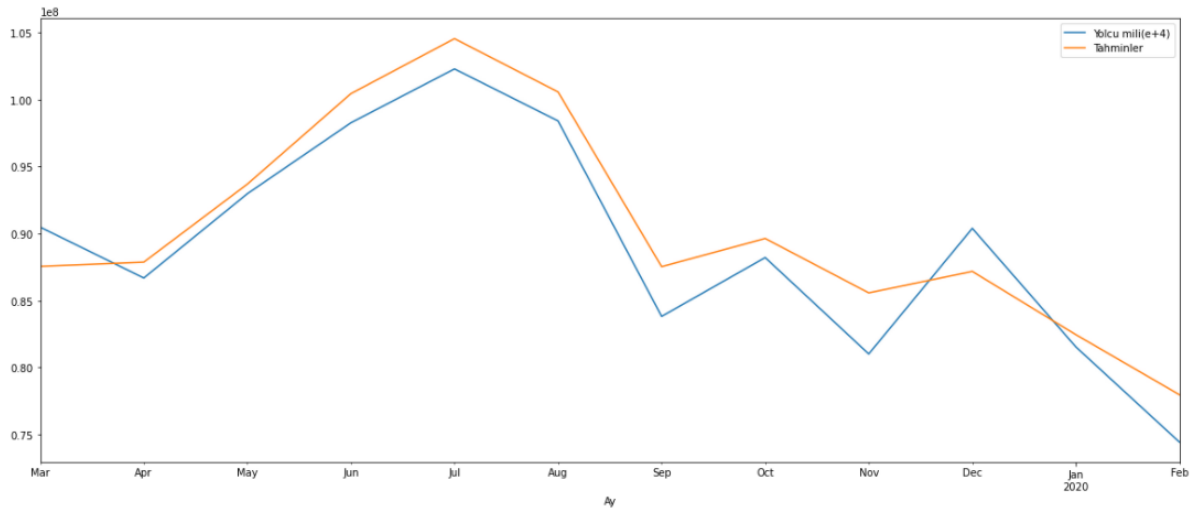
Tablo 3. Oluşturulan LSTM mimarisi-Amerika

Model: "sequential"		
Layer (type)	Output Shape	Param #
Lstm (LSTM)	(None, 150)	91200
Dense (Dense)	(None, 1)	151
Total params	91,351	
Trainable params	91,351	
Non-trainable params	0	

Amerika havayolu yolcu mili değerleri Covid-19 dönemini içeren ve Covid-19 dönemini içermeyen veri seti için 25 epoch ve 1 batch size değerleri kullanılarak eğitilmiştir. Bu parametre değerlerine göre sonuçlar aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir. Şekil 6'da görüldüğü üzere ilk 10 epoch değerine kadar hata dramatik olarak azalmakta fakat sonrasında büyük bir değişiklik göstermemektedir. Yani epoch sayısının daha fazla arttırılmasının modelin doğruluğu üzerinde fark edilir olumlu bir etkisi olmayacaktır.

**Şekil 6.** Covid dönemi hariç modelin loss değerleri

Şekil 7'de Covid dönemini kapsamayan veri seti ile yapılan tahmin sonuçları gösterilmiştir. Grafikte mavi çizgi orijinal veriyi gösterirken, turuncu çizgi ise tahmin sonucunu göstermektedir. Yapılan tahminin gerçek veriye paralel ve yakın sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır.

**Şekil 7.** Covid dönemi hariç modelin tahmini-Amerika

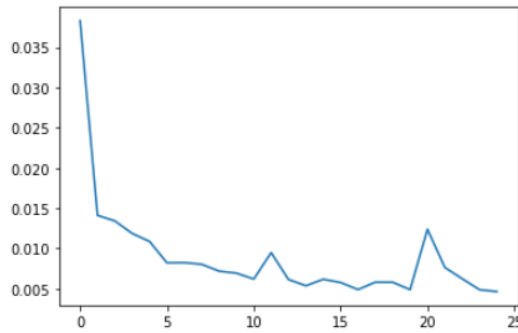
Şekil 7'yi oluştururken kullanılan tahmin ve test verileri Tablo 4'te aşağıda paylaşılmıştır.

Tablo 4. Covid dönemi hariç modelin tahmin değerleri-Amerika

Ay	Yolcu mili(e+4)	Tahminler
2019-03-01	90478107	8.791079e+07
2019-04-01	86684142	8.680529e+07
2019-05-01	92977220	9.273014e+07

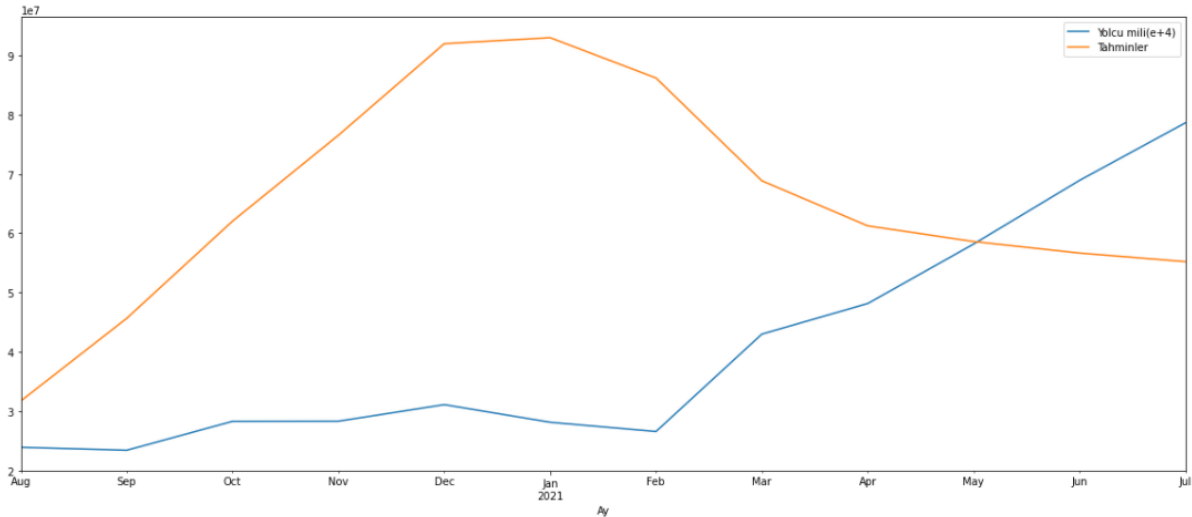
2019-06-01	98273616	9.974016e+07
2019-07-01	102295052	1.046480e+08
2019-08-01	98411628	1.009051e+08
2019-09-01	83814263	8.635440e+07
2019-10-01	88208329	8.969266e+07
2019-11-01	81010197	8.505415e+07
2019-12-01	90389595	8.695119e+07
2020-01-01	81537477	8.147397e+07
2020-02-01	74428909	7.633474e+07

Tablo 3'te gösterilen LSTM mimarisi Covid-19 dönemini de içeren veri seti için tekrar kullanılmıştır. Bu çalışma da 25 epoch değeri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 8'de de görüldüğü gibi ilk 10 epoch değerine kadar hata değeri hızlı bir düşüş göstermekte sonrasında bu düşüş azalmaktadır. Fakat Covid-19 dönemini içermeyen veri setinde olduğu gibi düzgün bir azalış eğilimi göstermediği saptanmıştır.



Şekil 8. Covid dönemi dahil modelin kayıp değerleri-Amerika

Şekil 9'da Covid-19 veri setini içeren modelin yaptığı tahminlerin gerçek veri ile karşılaştırmalı grafiği sunulmuştur. Mavi çizgi orijinal veriyi göstermekte iken, turuncu çizgi yapılan tahmini göstermektedir. Grafikte orijinal veri ile tahmin edilen veri arasında ciddi farklar olduğu görülmektedir.



Şekil 9. Covid dönemi dahil modelin tahmini-Amerika

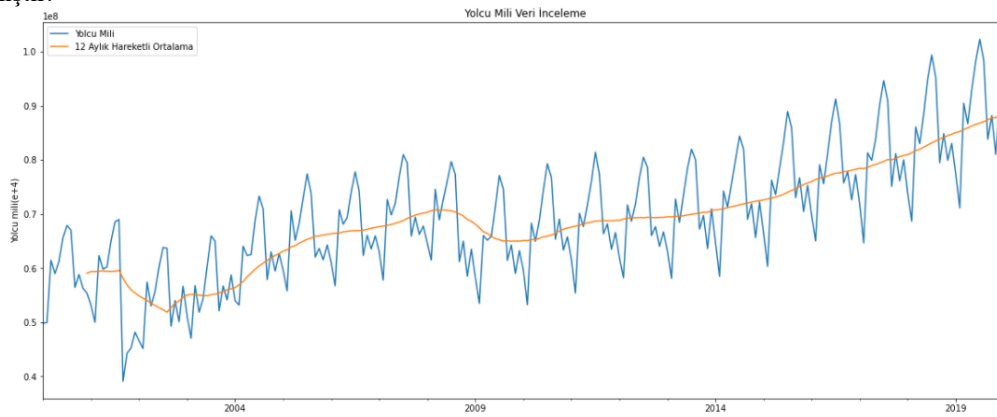
Şekil 9'u oluştururken kullanılan tahmin ve test verileri Tablo 5'te aşağıda paylaşılmıştır.

Tablo 5. Covid dönemi dahil modelin tahmin değerleri-Amerika

Ay	Yolcu mili(e+4)	Tahminler
2020-08-01	23886437	4.901438e+07
2020-09-01	23384462	6.787354e+07
2020-10-01	28273454	9.003389e+07

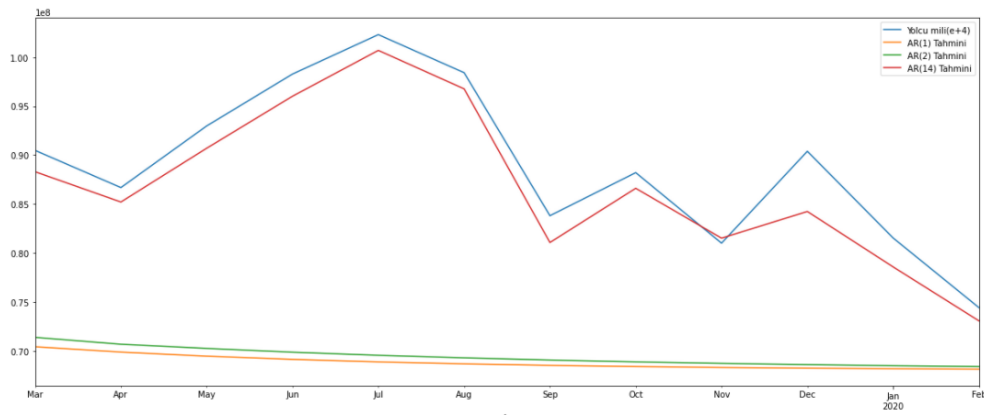
2020-11-01	28292601	9.921048e+07
2020-12-01	31081758	1.095932e+08
2021-01-01	28114490	1.027146e+08
2021-02-01	26550396	9.321919e+07
2021-03-01	42982241	7.896106e+07
2021-04-01	48137353	6.956822e+07
2021-05-01	58172779	6.367094e+07
2021-06-01	68903179	5.953058e+07
2021-07-01	78610304	5.676194e+07

AR modeli, ilk olarak Covid-19 dönemini içermeyen veri setinde maksimum olabilirlik (mle) yöntemi aracılığıyla çalıştırılmış ve farklı gecikme (lag) değerleri ile tahmin yapılmıştır. Test değerleri için son 1 yıllık veri kullanılmıştır. Bu tahminden önce de Şekil 10'da görüleceği üzere 12 aylık hareketli ortalama ile veri incelenmiştir.



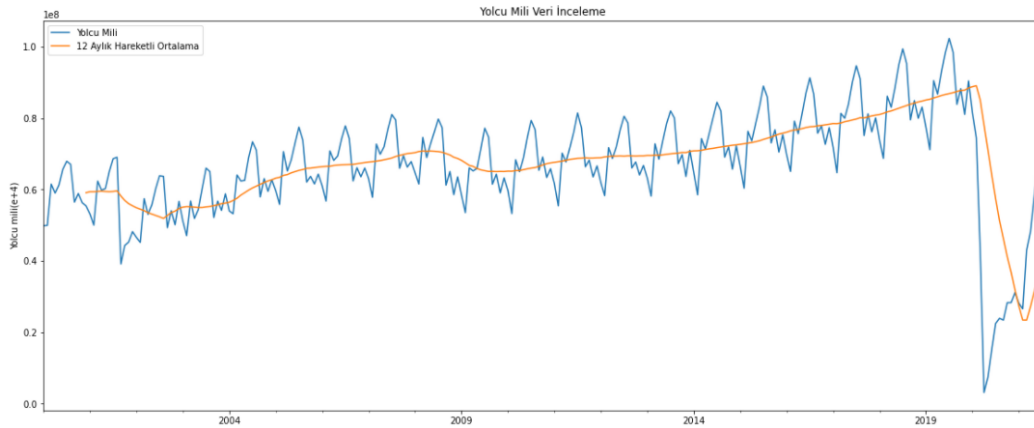
Şekil 10. Covid dönemi hariç-12 aylık hareketli ortalama

Maksimum gecikme değeri 1 ve 2 olarak model çalıştırılmış ardından da T-istatistiği aracılığıyla model çalıştırıldığında maksimum gecikme değeri 14 olarak görülmüştür. Şekil 11'de de görüleceği üzere mavi renkli çizgi ana veri setini, kırmızı renkli çizgi maksimum gecikme değeri 14 olan modelin tahminini, yeşil renkli çizgi maksimum gecikme değeri 2 olan modelin tahminini, turuncu renkli çizgi de maksimum gecikme değeri 1 olan modelin tahminini göstermektedir. Test verisine en yakın sonucun maksimum gecikme değeri 14'te olduğu görülmektedir.



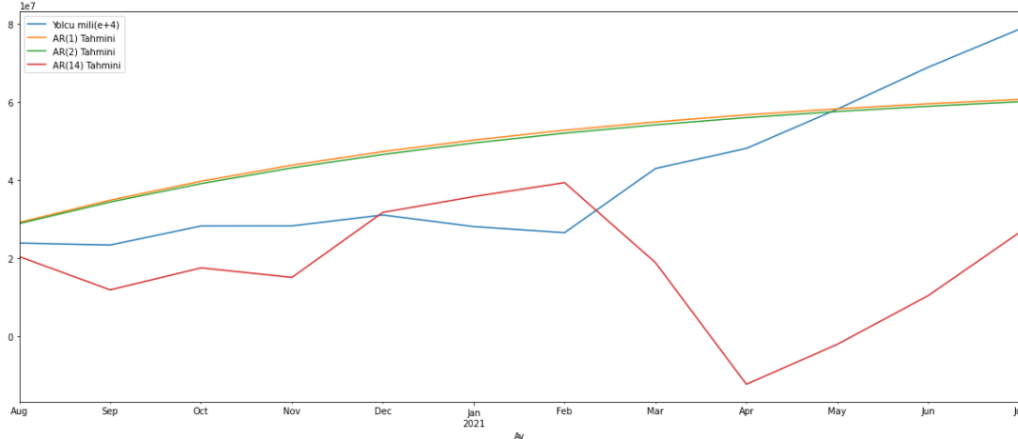
Şekil 11. Covid dönemi hariç modellerin tahmin değerleri

AR modeli, ikinci olarak Covid-19 dönemini içeren veri setinde maksimum olabilirlik (mle) yöntemi aracılığıyla çalıştırılmış ve farklı gecikme (lag) değerleri ile tahmin yapılmıştır. Test değerleri için son 1 yıllık veri kullanılmıştır. Şekil 12'de Covid döneminin dahil edildiği veri setinin 12 aylık hareketli ortalaması incelenmiştir.



Şekil 12. Covid dönemi dahil-12 aylık hareketli ortalama

Maksimum gecikme değeri 1 ve 2 olarak model çalıştırılmış ardından da T-istatistiği aracılığıyla model çalıştırıldığında maksimum gecikme değeri 14 olarak görülmüştür. Şekil 13'te görüleceği üzere görüleceği üzere mavi renkli çizgi ana veri setini, kırmızı renkli çizgi maksimum gecikme değeri 14 olan modelin tahminini, yeşil renkli çizgi maksimum gecikme değeri 2 olan modelin tahminini, turuncu renkli çizgi de maksimum gecikme değeri 1 olan modelin tahminini göstermektedir. Maksimum gecikme değeri 14'te test verisi ile büyük farklar mevcuttur.

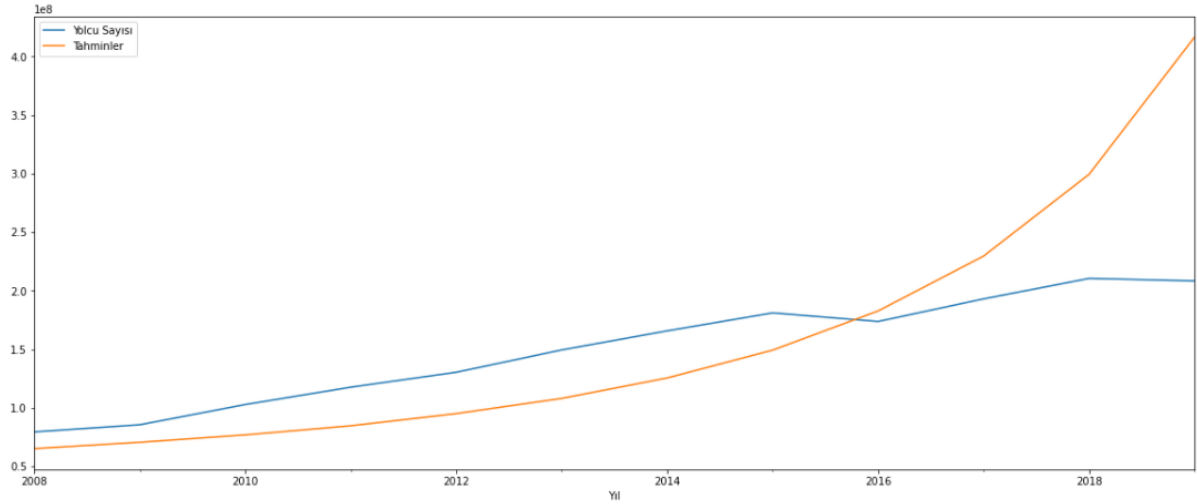


Şekil 13. Covid dönemi dahil modellerin tahmin değerleri

Türkiye'ye ait havayolu yolcu sayısı Covid-19 dönemini içeren ve Covid-19 dönemini içermeyen 2 ayrı veri seti olarak, 25 epoch ve 1 batch size değerleri kullanılarak eğitilmiştir. Tablo 6'da görüleceği üzere kurulan LSTM modeli tek katmanlı olup 150 nörondan oluşmakta ve çıkış katmanında tek bir çıkışı bulunmaktadır. Şekil 14'te Covid-19 dönemini içermeyen veri seti kullanılarak son 12 aya ait tahmin değerleri ve test verileri görülmektedir. Mavi renkli çizgi orijinal veriyi, turuncu renkli çizgi tahmin değerlerini göstermektedir. 2016 yılına kadar modelin tahmin performansı iyi görünmektedir fakat sonrasında hata değeri artmıştır. Modelin RMSE değeri $7E+7$ olarak hesaplanmıştır.

Tablo 6. Oluşturulan LSTM mimarisi-Türkiye

Model: "sequential"		
Layer (type)	Output Shape	Param #
Lstm (LSTM)	(None, 100)	40800
Dense (Dense)	(None, 1)	101
Total params	40,901	
Trainable params	40,901	
Non-trainable params	0	



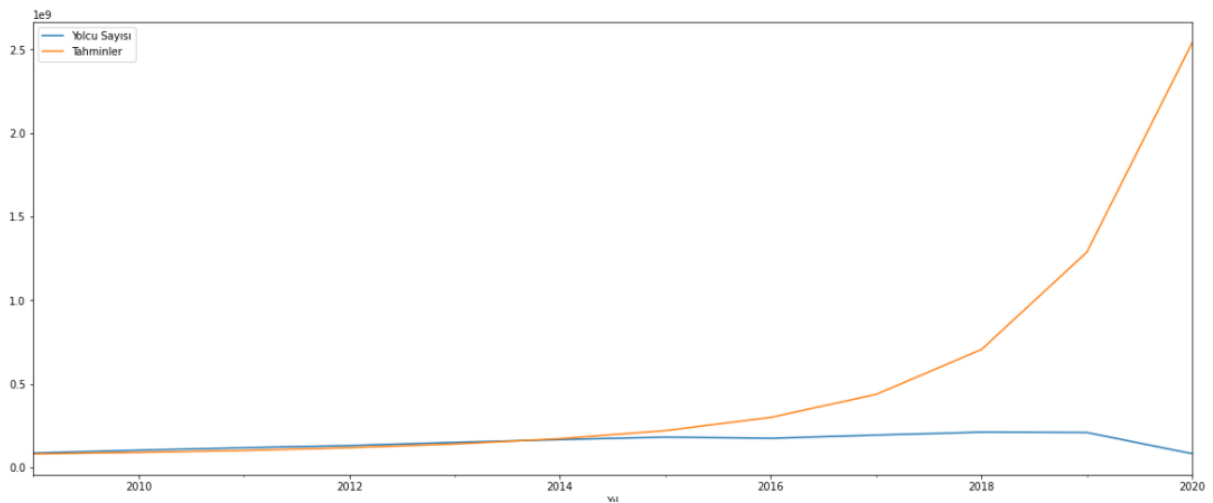
Şekil 14. Covid dönemi hariç modelin tahmini-Türkiye

Şekil 14'teki grafiği oluşturan tahmin ve test verileri Tablo 7'de görülmektedir.

Tablo 7. Covid dönemi hariç tahmin değerleri-Türkiye

Yıl	Yolcu Sayısı	Tahminler
2008-12-31	79438289	6.812055e+07
2009-12-31	85508508	7.434765e+07
2010-12-31	102800392	8.179747e+07
2011-12-31	117620469	9.102095e+07
2012-12-31	130351620	1.031828e+08
2013-12-31	149430421	1.186354e+08
2014-12-31	165720234	1.393961e+08
2015-12-31	181074531	1.676995e+08
2016-12-31	173743537	2.079297e+08
2017-12-31	193045343	2.658534e+08
2018-12-31	210498164	3.554585e+08
2019-12-31	208373696	5.104146e+08

Şekil 15'te Covid-19 dönemini içeren veri seti kullanılarak son 12 aya ait tahmin değerleri ve test verileri görülmektedir. Mavi renkli çizgi orijinal veriyi, turuncu renkli çizgi tahmin değerlerini göstermektedir. 2015 yılına kadar modelin tahmin performansı iyi görünmektedir fakat sonrasında hata değeri artmıştır. Modelin RMSE değeri $7,92E+8$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 15. Covid dönemi dahil modelin tahmini-Türkiye

Şekil 15'teki grafiği oluşturulan tahmin ve test verileri Tablo 8'de görülmektedir.

Tablo 8. Covid dönemi dahil tahmin değerleri-Türkiye

Yıl	Yolcu Sayısı	Tahminler
2009-12-31	85508508	8.941111e+07
2010-12-31	102800392	1.029353e+08
2011-12-31	117620469	1.215132e+08
2012-12-31	130351620	1.506113e+08
2013-12-31	149430421	1.948479e+08
2014-12-31	165720234	2.704819e+08
2015-12-31	181074531	4.129901e+08
2016-12-31	173743537	7.162584e+08
2017-12-31	193045343	1.388102e+09
2018-12-31	210498164	2.807325e+09
2019-12-31	208373696	5.669789e+09
2020-12-31	81616140	1.153224e+10

5. Sonuç

Bu çalışma ile derin öğrenme yaklaşımlarından LSTM mimarisi kullanılarak Covid-19 etkisindeki Amerika havayolu yolcu mili değerinin tahmini için bir model geliştirilmiştir. Geliştirilen modelde 2000 yılından 2021 yılına kadar olan veriler kullanılmış olup Covid-19 etkisinde LSTM mimarisinin çalışma performansı incelenmiştir. Kullanılan Amerika havayolu yolcu mili Covid dönemi dahil edilen veri 259 satırdan oluşmakta, $6,68E+7$ ortalama değerine ve $1,5E+7$ standart sapma değerine sahiptir. Diğer yandan Amerika havayolu yolcu mili Covid dönemi hariç tutulan veri 242 satırdan oluşmakta, $6,91E+7$ ortalama değerine ve $1,14E+7$ standart sapma değerine sahiptir. Türkiye için yolcu mili verilerine ulaşamamış olup, bunun yerine benzer nitelikli 1960 yılından 2020 yılına kadar olan yolcu sayısı verisi kullanılmıştır. Türkiye için Covid dönemi dahil edilen veri 61 satırdan oluşmakta, $4,29E+7$ ortalama değerine ve $5,95E+7$ standart sapma değerine sahiptir. Bunun yanında Covid dönemi hariç tutulan veri 60 satırdan oluşmakta, $4,22E+7$ ortalama değerine ve $5,98E+7$ standart sapma değerine sahiptir. Amerika'ya ait veriler aylık bazda olup, Türkiye'ye ait veriler ise yıllık bazdadır. Aylık çözünürlüğe sahip veri sayesinde Amerika için mevsimsel etkilerin de hesaba katılma fırsatı bulunmuş, fakat yıllık çözünürlükte olan Türkiye verisi için bu mümkün olmamıştır. Türkiye verisinin yıllık bazda olması daha az gürültüye sahip bir veri olmasını da sağlamıştır. Şekil 2 ve Şekil 5 kıyaslandığında bu durum açıkça görülmektedir. Amerika'ya ait veriler 2000 yılından itibaren başlamakta olup, Türkiye'ye ait veriler ise 1960 yılından başlamaktadır.

LSTM haricinde farklı bir model ile karşılaştırma amacıyla AR modeli ile de tahmin yapılmış ve bulgular LSTM ile elde edilen sonuçlar ile kıyaslanmıştır. Performansı yüksek olan LSTM mimarisi ile Türkiye havayolu yolcu sayısı için de tahmin yapılmıştır. LSTM ile yapılan çalışmada modelin performans metriği olarak ortalama kare hata (MSE) seçilmiş olup tek katmanlı 150 nörondan oluşan bir mimari kullanılmıştır. AR modeli ise maksimum olabilirlik yöntemi ile kurulmuş olup 14 maksimum gecikme sayısına sahiptir.

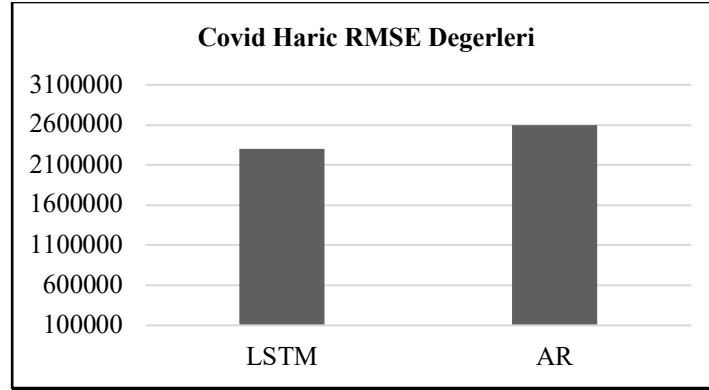
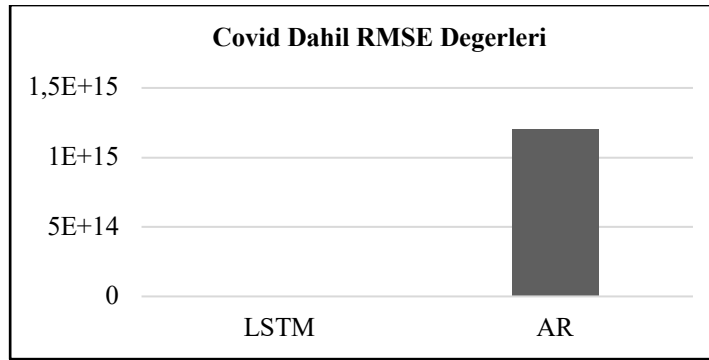
Amerika havayolu yolcu mili, LSTM mimarisi ile yapılan çalışma sonuçlarına göre Covid-19 dönemini içeren veri setinde kök ortalama kare hata (RMSE) değeri $4,84E+7$ olarak hesaplanmıştır. Covid-19 dönemini içermeyen veri setinde ise, kök ortalama kare hata (RMSE) değeri $2,3E+6$ olarak hesaplanmıştır. Veriler açıkça göstermektedir ki LSTM mimarisi ani değişimlerde düşük performans sergilemektedir.

Geçmiş verilerle eğitilen LSTM mimarisi trend ve mevsimsellik etkisi gösteren veri setlerinde yüksek performans sergileyerek, Covid-19 dönemini içermeyen Amerika Havayolu Yolcu Mili örneğinde olduğu gibi başarılı tahminler yapabileceğini kanıtlamıştır.

AR modeli ile yapılan çalışma sonuçlarına göre Covid-19 dönemini içeren veri setinde 14 maksimum gecikme sayısında kök ortalama kare hata (RMSE) değeri $1,2E+15$, Covid-19 dönemini içermeyen veri setinde ise RMSE değeri $2,6E+6$ olarak hesaplanmıştır. Tablo 9'da da görüleceği üzere, Covid-19 dönemini içeren ve içermeyen 2 ayrı veri setinde de LSTM modeli çok daha iyi sonuç vermiştir. Türkiye havayolu yolcu sayısı verileri için çalıştırılan LSTM mimarisi RMSE değerleri çok daha yüksek çıkmıştır. Veri sayısının az olması burada etken olmuştur.

Tablo 9. Yapılan tahminlerin Kök Ortalama Kare Hata değerleri

RMSE Değerleri	LSTM mimarisi	AR modeli
Covid Dönemi Hariç Veri Seti	2,3E+6	2,6E+6
Covid Dönemi Dahil Veri Seti	4,84E+7	1,2E+15

Tablo 10. LSTM ve AR modellerinin RMSE değerleri kıyaslaması-1**Tablo 11.** LSTM ve AR modellerinin RMSE değerleri kıyaslaması-2

Gelecek çalışmalarda veri setlerinde ani değişimlerde hangi derin öğrenme yaklaşımlarının başarılı olacağını araştırılması önerilmektedir. Farklı mimariler denenerek en yüksek performansı sergileyen yöntem ortaya çıkartılabilir. Hiper parametre optimizasyonu yapılarak mevcut veri seti için en uygun parametreler belirlenebilir. Buna ek olarak mevcut veri setini etkileyebilecek dış faktörler ile karşılaştırmalı, aynı anda birden fazla girdi kullanılarak da analizler yapılarak modeller zenginleştirilebilir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; Nalan Yüce, problem verilerinin elde edilerek problemin çözülmesi, bilimsel yayın araştırması ve makalenin oluşturulması; Bülent Sezen, problem çözüm sürecinin takibi, kontrolü ve makalenin hazırlanması konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Bu makalenin yazarları arasında herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Abbasimehr, H., Shabani & M., Yousefi, M. (2020). An optimized model using LSTM network for demand forecasting. *Computers & Industrial Engineering*, 143 (2020), 106435. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106435>

Abdar, M., Pourpanah, F., Hussain, S., Rezazadegan, D., Liu, L., Ghavamzadeh, M., Fieguth, P., Cao, X., Khosravi, A., Acharya, U. R., Makarencov, V. & Nahavandi, S. (2021). A review of uncertainty quantification in deep learning: Techniques, applications and challenges. *Information Fusion*, 76 (2021), 243-297. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2021.05.008>

- Alassafi, M. O., Jarrah, M. & Alotaibi, R. (2021). Time series predicting of COVID-19 based on deep learning. *Neurocomputing*, 468 (2022), 335-344. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2021.10.035>
- Bi, J-W., Li, H. & Fan, Z-P. (2021). Tourism demand forecasting with time series imaging: A deep learning model. *Annals of Tourism Research*, 90 (2021), 103255. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.annals.2021.103255>
- Brown, R. S. & Kline, W. A. (2020). Exogenous shocks and managerial preparedness: A study of U.S. airlines' environmental scanning before the onset of the COVID-19 pandemic. *Journal of Air Transport Management*, 89 (2020), 101899. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2020.101899>
- Cao, W., Sun, S. & Li, H. (2021). A new forecasting system for high-speed railway passenger demand based on residual component disposing. *Measurement*, 183 (2021), 109762. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.109762>
- Chimmula, V. K. R. & Zhang, L. (2020). Time series forecasting of COVID-19 transmission in Canada using LSTM networks. *Chaos, Solitons and Fractal*, 153 (2020), 109864. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.109864>
- Choi, S. & Kim, Y. J. (2021). Artificial neural network models for airport capacity prediction. *Journal of Air Transport Management*, 97 (2021), 102146. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2021.102146>
- Grosche, T., Rothlauf, F. & Heinzl, A. (2007). Gravity models for airline passenger volume estimation. *Journal of Air Transport Management*, 13 (2007), 175-183. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2007.02.001>
- Hanson, D., Delibasi, T. T., Gatti, M. & Cohen, S. (2021). How do changes in economic activity affect air passenger traffic? The use of state-dependent income elasticities to improve aviation forecast. *Journal of Air Transport Management*, 98 (2022), 102147. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2021.102147>
- Hotle, S. & Mumbower, S. (2021). The impact of COVID-19 on domestic U.S. air travel operations and commercial airport service. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 9 (2021), 100277. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100277>
- Iacus, S. M., Natale, F., Santamaria, C., Spyros, S. & Vespe, M. (2020). Estimating and projecting air passenger traffic during the COVID-19 coronavirus outbreak and its socio-economic impact. *Safety Science*, 129 (2020), 104791. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104791>
- İç, Y. T. ve Civelek, H. (2021). Development of a new model of gross domestic product forecasting. *Journal of Turkish Operations Management*, 5 (1), 564-575. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/jtom/issue/63460/883089>
- 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>
- Karami, Z. & Kashef, R. (2020). Smart transportation planning: Data, models, and algorithms. *Transportation Engineering*, 2 (2020), 100013. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.treng.2020.100013>
- Luo, J., Zhang, Z., Fu, Y., & Rao, F. (2021). Time series prediction of COVID-19 transmission in America using LSTM and XGBoost algorithms. *Results in Physics*, 27 (2021), 104462. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2021.104462>
- Singh, B. (2021). Predicting airline passengers' loyalty using artificial neural network theory. *Journal of Air Transport Management*, 94 (2021), 102080. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2021.102080>
- Solvoll, G., Mathisen, T. A. & Welde, M. (2020). Forecasting air traffic demand for major infrastructure changes. *Research in Transportation Economics*, 82 (2020), 100873. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2020.100873>
- Somu, N., Raman M R, G. & Ramamritham, K. (2020). A hybrid model for building energy consumption forecasting using long short term memory networks. *Applied Energy*, 261 (2020), 114131. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114131>
- Truong, D. (2021). Estimating the impact of COVID-19 on air travel in the medium and long-term using neural network and Monte Carlo simulation. *Journal of Air Transport Management*, 96 (2021), 102126. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2021.102126>

Ünsal, M. G. ve Kasap, R. (2020). Investigating Covid 19 data for G20, EU and OECD countries via using time series analysis & cluster analysis. *Journal of Turkish Operations Management*, 4 (2), 424-432. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/jtom/issue/59336/851834>

Yang, Z., Tang, R., Zeng, W., Lu, J. & Zhang, Z. (2021). Short-term prediction of airway congestion index using machine learning methods. *Transportation Research Part C*, 125 (2021), 103040. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2021.103040>

Zhang, G. P. (2003). Time series forecasting using a hybrid ARIMA and neural network model. *Neurocomputing*, 50 (2003), 159–175. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0925-2312\(01\)00702-0](https://doi.org/10.1016/S0925-2312(01)00702-0)



Journal of Turkish Operations Management

Capital budgeting of independent projects with budget limitation under intuitionistic fuzziness

Elif Haktanır*

Department of Industrial Engineering, Bahcesehir University, 34349, Besiktas, Istanbul, Turkey
e-mail: elif.haktaniraktas@eng.bau.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-3341-4360>
*Corresponding Author

Article Info

Article History:

Received: 08.07.2022
Revised: 20.09.2022
Accepted: 10.10.2022

Keywords:

Capital Budgeting,
Independent Projects,
Budget Limitation,
Intuitionistic Fuzzy Sets

Abstract

Companies must make the right investment moves at the right time to sustain their existence and growth. For this reason, it is a critical decision for companies to distribute the existing capital to which projects and to what extent. Investment alternatives can be classified into two groups as dependent and independent. In dependent investment projects, the decision of whether to invest in a project directly affects the investment decision of the other project. In independent projects, it is necessary to consider the budget constraint in accordance with the reality of life. No matter how big the companies mentioned are, it is impossible to talk about an endless source of investment. For this reason, present value analysis, which is one of the most common methods used when evaluating independent project investments, is discussed under intuitionistic fuzziness in this study. It is aimed to achieve the most realistic results by reflecting the ambiguity and vagueness in the thoughts of the decision makers. In addition, this study demonstrates the integrability of fuzzy sets into engineering economics analysis methods. With this study, the cash flow data has been fuzzified and alternatives with both equal and different expected lives have been formulated to provide maximum returns under a certain budget limit. In addition, the responses of different parameters to changes were measured with intuitionistic fuzzy sensitivity analysis.

1. Introduction

For-profit companies operating in competitive market economies must make a constant effort to maintain their presence in the market and increase their market value. Increasing international competition in the globalization process rapidly changes all markets and causes companies to turn from national markets to international markets. In an increasingly competitive environment, the demand structure and customer preferences are changing rapidly. In such an economic environment, companies will always have to invest to increase their profitability and guaranty their continuity in the market. Investment is needed to create new production opportunities and increase existing ones, or to adapt to changes in the demand structure and customer choices. Companies must invest to avoid the risks posed by technological developments, take advantage of the opportunities, or to modernize. Otherwise, it will not be possible for companies to continue their existence in the market and increase their market values. If a company that is very successful today cannot make the necessary investments on time, it will have to leave the market after a while.

Planning is as important as the investment itself in making investments. However, investment plans differ according to whether the investments are large or small, short-term, or long-term. While the plans for small

investments can be made by middle-level managers, since the investment is usually less than one year and has a small monetary volume, the plans for large investments are made by the senior management. Plans for large investments are made in more detail than small investments, since the investment usually lasts longer than one year and has larger cash flows in monetary terms and significantly affects the value and the continuity of the company. For this reason, the process of planning expenditures on assets whose returns are expected to exceed one year is characterized as a separate concept by the definition of capital budgeting. The word capital in this term refers to fixed assets in production, while the word budget refers to a certain period in the future.

Capital budgeting decisions must be taken with a great care, as they are so important to companies since the projects require large amounts of cash outflows and will be realized in the long run. The fact that the project covers a long period causes the decision makers to lose their flexibility. Because a significant part of the resources will be connected to this project for a long time. The success of the project depends on the recovery of the spent funds. Failures that may occur in a poorly designed project may lead to partial or complete failure of the expected income. In addition, allocating more resources than necessary both prevents the efficient use of resources and imposes a great burden on the company.

No matter how strong and large financial funds the enterprises have, they do not have the opportunity to finance and realize all alternative investment projects at the same time. For this reason, businesses must make a choice between investment offers that compete in terms of using their limited resources, rank them according to their importance and give up some investments for a while. In practice, businesses use different methods to evaluate investment projects. Depending on the method to be used in the selection of the investment project, different preferences may be encountered. For this reason, businesses must adopt a consistent method or see the results and decide according to each method to make a choice between investment proposals. Fixed asset investments can be classified as economically independent investments and economically dependent investments according to the effects on other investment projects.

Mutually exclusive projects are projects that cannot be realized together, but where only one project can be realized. If there are two projects as A and B, and these two projects cannot be realized, but one of these two projects can be realized, the projects A and B are alternative or mutually exclusive projects. When independent investments are considered mutually, it is assumed that there is an equal chance in these alternative projects. However, this may not be the case in practice. If there is equal chance of mutually exclusive investments, projects are evaluated within equal time periods. For this, reliable methods such as net present value (NPV) and internal rate of return are used. For example, if the firm adopts a long-lived project, it only looks at the NPV or internal rate of return; At the end of this period, the possibilities offered by alternative investments, which are short-lived, are ignored.

Dependent investments are when the expenditures required by an investment project and the cash inflows expected from the investment project are affected by the acceptance or rejection of other investment projects. Dependent investments occur when investment offers are mutually accepted. If investment decisions are thus interrelated, groups of consolidated units continue to depend on a single investment venture. In this case, mutual investments are accepted provided that the NPV is greater than zero. If the initial capital commitment amounts in the consolidated units are different, the profitability indexes on the investments are compared.

The subjective opinions of the decision maker in capital budgeting methods 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), has been accepted as a successful tool to overcome vagueness and ambiguity and has been successfully applied in various fields. 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. Ordinary fuzzy sets proposed by Zadeh have been frequently developed and extended by researchers in recent years. Intuitionistic fuzzy set (IFS) theory, which is the most widely applied in the literature and in many fields, was developed by Atanassov (1986). Studies have shown that IFSs are more effective in overcoming uncertainty than ordinary fuzzy set theory (Xu, 2007).

In Zadeh's ordinary fuzzy set theory, elements are represented by membership degree defined only in the range of 0-1, while in Atanassov's IFS theory, in addition to membership degree, non-membership degree is also defined. In ordinary fuzzy set theory, both membership and non-membership degrees can get values between 0 and 1. From this point of view, the sum of membership degree and non-membership degree is limited by 1. However, in IFS theory, the sum of these parameters does not require to be equal to 1. Atanassov defined a third parameter, called the degree of hesitation, to complete this sum to 1. In the literature, IFSs are used in various application areas

recently such as evaluating subjective workload (Can, 2018) and green supplier selection with an application in the machine manufacturing sector (Zarali, 2021).

The original contribution of this study to the literature is for the first time to evaluate capital budgeting problem under IFSs and to develop original equations in this field. The paper proposes capital budgeting for equal life projects and with different lives under IF environment. Also, a sensitivity analysis of the proposed approaches is presented. The proposed models can be easily extended by employing the other recent fuzzy set extensions such as picture fuzzy sets or spherical fuzzy sets. Through this study, it is aimed to prove the modelability and functionality of different engineering economics applications under fuzzy logic. By taking into account the uncertainties in economic decisions, the applicability of analyzes that reflect real life problems more accurately has been proven. In addition, this IF capital budgeting method developed can be successfully applied in many different case studies and evaluating real life problems.

Fuzzy logic has been integrated with capital budgeting analyses in various studies in the literature. Sergi et al. (2022) extended capital budgeting techniques using interval-valued Fermatean fuzzy sets and Sergi and Sari (2021) extended with single-valued Fermatean fuzzy sets. Sampaio Filho et al. (2018) presented a unified solution in fuzzy capital budgeting. de Souza Sampaio Filho et al. (2018) developed modified methods of capital budgeting under vagueness based on fuzzy numbers and interval arithmetic. Schneider and Kuchta (2018) introduced fuzzy capital budgeting for step type fuzzy interval projects. Silva et al. (2018) applied fuzzy goal programming to the process of capital budget in an economic environment under uncertainty. Etemadi et al. (2018) presented a goal programming capital budgeting model under uncertainty in construction industry using fuzzy analytic hierarchy process. Liu et al. (2017) showed fuzzy capital budgeting for project abandonment. Ucal Sari and Kahraman (2015) presented interval type-2 fuzzy capital budgeting. To the best knowledge of the authors, capital budgeting under budget limit has never been evaluated with fuzzy sets in the literature before.

The remaining sections of the paper are given as follows. Section 2 presents the preliminaries of IFSs. Section 3 presents the proposed intuitionistic fuzzy capital budgeting method for independent projects with budget limitation for both equal and unequal life projects, including a sensitivity analysis. Section 5 includes an illustrative application of the proposed approach on an aesthetic and beauty center's capital budgeting decision. Section 6 presents the conclusions and recommendations for future study.

2. Preliminaries: intuitionistic fuzzy sets

The membership degree of an element in the fuzzy sets can get a value between 0 and 1. Since there may be some hesitation degree, the non-membership degree may not be equal to 1 minus the membership degree. Thus, a generalization of ordinary fuzzy sets was proposed by Atanassov (1986) as intuitionistic fuzzy sets (IFS) which also considers the hesitation degree and defines it as 1 minus the sum of membership and non-membership degrees.

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 $\nu_{\tilde{A}}(x_0) = 0$)

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 $\nu_{\tilde{A}}(x)$, i.e.,

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

Definition 3. Suppose $\tilde{X} = (\mu_x, \nu_x)$ and $\tilde{Y} = (\mu_y, \nu_y)$ be two IFSs. Some basic mathematical operations are defined as follows [2].

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

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

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

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

Definition 4. Suppose $\tilde{X} = (\mu_x, v_x)$ is an 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.

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

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

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

$$Sc = Score(\tilde{X}) = \mu_{\tilde{X}} - v_{\tilde{X}} \tag{11}$$

3. Independent projects with budget limitation

This section will present the proposed IF capital budgeting approach for independent projects under budget limitation. The approach will be given separately for equal and unequal life projects. Finally, a sensitivity analysis will be shown.

3.1 Equal-life projects

First list all mutually exclusive bundles such as one project at a time, two at a time, etc. to choose among the projects with equal lives when the investment budget limit is l . The total investment of each feasible bundle cannot exceed this limit l and a bundle as “do-nothing (DN)” should be added. 2^m is the total number of bundles for m number of projects. Then, each bundle’s present value (PV) should be calculated with the given MARR. The bundle that gives the highest PV should be selected. The steps of capital budgeting using IF-PV analysis for equal-life projects are as follows.

Aggregate the first cost (FC), annual benefit (AB), annual cost (AC), and salvage value (SV) values for each year by using Equations (12-15), respectively.

$$\overline{NCF}_{agg,FC} = \left(\begin{matrix} w_1 FC_{j1} + w_2 FC_{j2} + w_3 FC_{j3}; \\ 1 - \prod_{e=1}^3 (1 - \mu_{je})^{w_e}, \prod_{e=1}^3 v_{je}^{w_e} \end{matrix} \right) \text{ for } j=0 \tag{12}$$

$$\overline{NCF}_{agg,AB} = \left(\begin{matrix} w_1 AB_{j1} + w_2 AB_{j2} + w_3 AB_{j3}; \\ 1 - \prod_{e=1}^3 (1 - \mu_{je})^{w_e}, \prod_{e=1}^3 v_{je}^{w_e} \end{matrix} \right) \text{ for } j=1, \dots, n. \tag{13}$$

$$\overline{NCF}_{agg,AC} = \left(\begin{matrix} w_1 AC_{j1} + w_2 AC_{j2} + w_3 AC_{j3}; \\ 1 - \prod_{e=1}^3 (1 - \mu_{je})^{w_e}, \prod_{e=1}^3 v_{je}^{w_e} \end{matrix} \right) \text{ for } j=1, \dots, n. \tag{14}$$

$$\overline{NCF}_{agg,SV} = \left(\begin{matrix} w_1 SV_{j1} + w_2 SV_{j2} + w_3 SV_{j3}; \\ 1 - \prod_{e=1}^3 (1 - \mu_{je})^{w_e}, \prod_{e=1}^3 v_{je}^{w_e} \end{matrix} \right) \text{ for } j=1, \dots, n. \tag{15}$$

where w_e is the weights of the experts depending on their experience levels.

List all mutually exclusive bundles with a total initial investment limited by l .

Sum the net cash flows \overline{NCF}_{jt} for all projects in each bundle j ($j = 1, 2, \dots, 2^m$) and each year t ($t = 1, 2, \dots, n_j$). Refer to the initial investment of bundle j at time $t = 0$ as \overline{NCF}_{j0} .

Calculate the \overline{PV}_j for each bundle at the MARR (Equation 16).

$$\overline{PV}_j = \sum_{t=1}^{t=n_j} \overline{NCF}_{jt} (P/F, i, t) - \overline{NCF}_{j0} \tag{16}$$

Select the bundle with the highest PV_j .

3.2 Unequal-life projects

Generally, in real case scenarios, independent projects do not have the same expected life. If the PV method is used to solve capital budgeting problems, it is assumed that each project will last for the longest lasting project. In addition, any positive net cash flow reinvestments are assumed to be in MARR from the moment they occur to the end of the longest-lived project.

Assume two independent projects have the cash flows in Table 1 and their useful lives are different. The least common multiple (LCM) of their lives is n_{LCM} .

Table 1. Two independent projects

	Alternative A	Alternative B
First Cost	$(\$FC_A; \mu_{FC_A}, v_{FC_A})$	$(\$FC_B; \mu_{FC_B}, v_{FC_B})$
Uniform Annual Benefit	$(\$UAB_A; \mu_{UAB_A}, v_{UAB_A})$	$(\$UAB_B; \mu_{UAB_B}, v_{UAB_B})$
Uniform Annual Cost	$(\$UAC_A; \mu_{UAC_A}, v_{UAC_A})$	$(\$UAC_B; \mu_{UAC_B}, v_{UAC_B})$
Useful Life	n_A	n_B
Salvage Value	$(\$SV_A; \mu_{SV_A}, v_{SV_A})$	$(\$SV_B; \mu_{SV_B}, v_{SV_B})$

Considering the analysis period based on the LCM lives the following table can be prepared. It is assumed that the useful life of n_B is double of the useful life of n_A .

$$n_{LCM} = LCM(n_A, n_B) = n_B$$

Table 2. Cash flow of the independent projects along LCM years

Year	Alternative A	Alternative B
0	$(-\$FC_A; \mu_{FC_A}, v_{FC_A})$	$(-\$FC_B; \mu_{FC_B}, v_{FC_B})$
1 to n_A	$(\$UAB_A; \mu_{UAB_A}, v_{UAB_A}) -$ $(\$UAC_A; \mu_{UAC_A}, v_{UAC_A})$	$(\$UAB_B; \mu_{UAB_B}, v_{UAB_B}) -$ $(\$UAC_B; \mu_{UAC_B}, v_{UAC_B})$
n_A	$(-\$FC_A; \mu_{FC_A}, v_{FC_A}) + (\$SV_A; \mu_{SV_A}, v_{SV_A})$	-
$(n_A + 1)$ to n_B	$(\$UAB_A; \mu_{UAB_A}, v_{UAB_A}) -$ $(\$UAC_A; \mu_{UAC_A}, v_{UAC_A})$	$(\$UAB_B; \mu_{UAB_B}, v_{UAB_B}) -$ $(\$UAC_B; \mu_{UAC_B}, v_{UAC_B})$
$n_B = n_{LCM}$	$(\$SV_A; \mu_{SV_A}, v_{SV_A})$	$(\$SV_B; \mu_{SV_B}, v_{SV_B})$

After the cash flows along the LCM years for all the alternatives are built, the same procedure in the previous section is applied.

3.3 Sensitivity surface approach

Sensitivity analysis allows us to see the effects of possible changes in investment parameters on the investment decision before making the investment. Thus, we determine how sensitive our decision is to the possible changes in investment parameters.

Table 3. Most likely parameter values of investment project

Parameter	Most Likely Estimates by Experts	Aggregated Estimate
\widetilde{FC}	$(FC_1; \mu_{FC_1}, v_{FC_1}), (FC_2; \mu_{FC_2}, v_{FC_2}), (FC_3; \mu_{FC_3}, v_{FC_3})$	$(FC_{agg}; \mu_{FC_{agg}}, v_{FC_{agg}})$
\widetilde{AB}	$(AB_1; \mu_{AB_1}, v_{AB_1}), (AB_2; \mu_{AB_2}, v_{AB_2}), (AB_3; \mu_{AB_3}, v_{AB_3})$	$(AB_{agg}; \mu_{AB_{agg}}, v_{AB_{agg}})$
\widetilde{AC}	$(AC_1; \mu_{AC_1}, v_{AC_1}), (AC_2; \mu_{AC_2}, v_{AC_2}), (AC_3; \mu_{AC_3}, v_{AC_3})$	$(AC_{agg}; \mu_{AC_{agg}}, v_{AC_{agg}})$
\widetilde{SV}	$(SV_1; \mu_{SV_1}, v_{SV_1}), (SV_2; \mu_{SV_2}, v_{SV_2}), (SV_3; \mu_{SV_3}, v_{SV_3})$	$(SV_{agg}; \mu_{SV_{agg}}, v_{SV_{agg}})$

Let's assume that the parameters that the experts are not sure about their estimated values are AB and AC. Then the PV equation for sensitivity analysis can be written as in Equation (17).

$$\widetilde{NPV} = -\widetilde{FC}_{agg} + \widetilde{AB}_{agg}(1+x)\left(\frac{P}{A}, i, n\right) - \widetilde{AC}_{agg}(1+y)(P/A, i, n) + \widetilde{SV}_{agg}(P/F, i, n) \tag{17}$$

To have an acceptable investment project it should be $NPV \geq 0$. Then, we obtain an inequality as follows.

$$B + Fx + Ry \geq 0 \tag{18}$$

When $x = 0$ in Eq. (18) $y = h$ and when $y = 0$ in Eq. (18) $x = \ell$.

Then the function in Eq. (18) can be illustrated as in Figure 1.

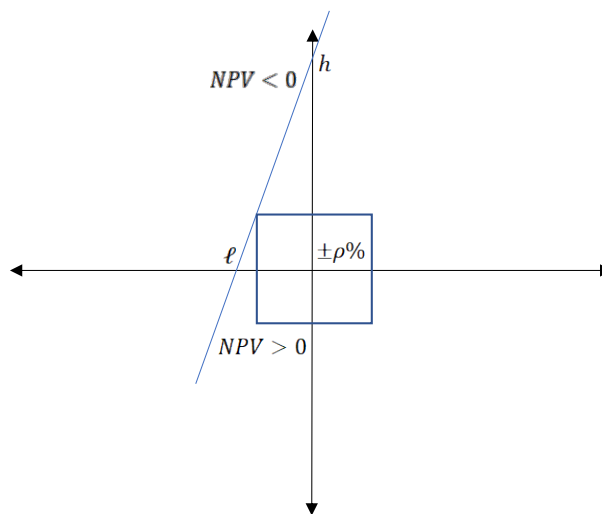


Figure 1. Sensitivity graph

Figure 1 illustrates that the considered project is acceptable up to $\pm\rho\%$ deviations in AB and AC simultaneously. Larger deviations than $\pm\rho\%$ may cause the project to give a negative PV.

4. Application

A business serving as an aesthetic and beauty center in Istanbul aims to attract more customers by providing digitalization in one of their manual processes. There are three alternative devices (A1, A2, and A3) that can be purchased for this purpose. The investment costs, annual costs and benefits of the alternatives, and the salvage values of the devices at the end of their 3-year useful life are evaluated by three experts under intuitionistic fuzziness and given in Table 4 below. Experts' weights are taken as 0.4, 0.4, and 0.2, respectively depending on their experience levels. The uncertainty in the initial cost is because the cost of the device to be purchased in foreign currency will vary depending on the current exchange rate and the personal predictions of the experts. 12%

return is expected. The total budget allocated by the aesthetic and beauty center for the initial investment of the device is \$30,000.

Table 4. IF cash parameters

Investment Alternatives	Experts	First Cost	Annual Benefit	Annual Cost	Salvage Value
A1	E1	(\$15,000; 0.85, 0.10)	(\$14,000; 0.85, 0.10)	(\$3,000; 0.85, 0.10)	(\$1,500; 0.85, 0.10)
	E2	(\$18,000; 0.90, 0.10)	(\$13,000; 0.85, 0.15)	(\$4,000; 0.90, 0.10)	(\$2,500; 0.90, 0.10)
	E3	(\$17,500; 0.80, 0.20)	(\$12,500; 0.95, 0.05)	(\$3,500; 0.80, 0.20)	(\$2,000; 0.80, 0.20)
A2	E1	(\$20,000; 0.85, 0.10)	(\$15,000; 0.85, 0.15)	(\$6,000; 0.85, 0.10)	(\$3,500; 0.85, 0.10)
	E2	(\$18,000; 0.85, 0.15)	(\$13,000; 0.95, 0.00)	(\$5,000; 0.85, 0.15)	(\$2,500; 0.85, 0.15)
	E3	(\$18,000; 0.95, 0.05)	(\$14,000; 0.95, 0.05)	(\$5,500; 0.95, 0.05)	(\$3,000; 0.95, 0.05)
A3	E1	(\$16,000; 0.85, 0.15)	(\$14,500; 0.85, 0.10)	(\$2,500; 0.85, 0.15)	(\$4,000; 0.85, 0.15)
	E2	(\$15,000; 0.95, 0.00)	(\$15,500; 0.90, 0.10)	(\$3,000; 0.95, 0.00)	(\$3,000; 0.95, 0.00)
	E3	(\$14,000; 0.95, 0.05)	(\$14,000; 0.80, 0.20)	(\$4,500; 0.95, 0.05)	(\$3,000; 0.95, 0.05)

There are $2^3 = 8$ possible bundles as presented in Table 5.

Table 5. Possible bundles and their first costs

Bundle <i>j</i>	Alternatives Included	First Cost
1	A1	\$-12,480.56
2	A2	\$-14,591.88
3	A3	\$-14,003.39
4	A1-A2	\$-27,072.44
5	A1-A3	\$-26,483.95
6	A2-A3	\$-28,595.26
7	A1-A2-A3	\$-41,075.82
8	DN	\$0

Except for bundle 7, since all of them are below the initial investment budget, the decision will be made by looking at their PVs. To calculate the PV of the alternatives, first the cash parameters are aggregated by using Equations (12-15) and the results are given in Table 6.

Table 6. Aggregated parameters

Investment Alternatives	Aggregated FC	Aggregated AB	Aggregated AC	Aggregated SV
A1	(\$16,639.99; 0.865, 0.115)	(\$13,286.50; 0.880, 0.102)	(\$3,471.25; 0.865, 0.115)	(\$1,949.03; 0.865, 0.115)
A2	(\$18,774.81; 0.880,0.102)	(\$13,971.38; 0.922, 0.000)	(\$5,481.77; 0.880, 0.102)	(\$2,966.38; 0.880, 0.102)
A3	(\$15,181.34; 0.922, 0.000)	(\$14,787.87; 0.865, 0.115)	(\$3,024.59; 0.922, 0.000)	(\$3,365.87; 0.922, 0.000)

Then the aggregated IF parameters are defuzzified by using the score function in Equation (11).

Table 7. Defuzzified parameters

Investment Alternatives	Defuzzified FC	Defuzzified AB	Defuzzified AC	Defuzzified SV
A1	\$12,480.56	\$10,326.34	\$2,603.56	\$1,461.84
A2	\$14,591.88	\$12,887.31	\$4,260.46	\$2,305.49
A3	\$14,003.39	\$11,091.40	\$2,789.91	\$3,104.70

Next, the PVs of the parameters are calculated by in Equations (12-15), respectively.

Table 8. PVs of the parameters

Investment Alternatives	FC	AB	AC	SV
A1	\$12,480.56	\$24,802.11	\$6,253.31	\$1,040.51
A2	\$14,591.88	\$30,953.15	\$10,232.91	\$1,641.00
A3	\$14,003.39	\$26,639.68	\$6,700.89	\$2,209.86

Finally, the total PVs of the bundles are calculated as in Table 9.

Table 9. Bundles and their PVs.

Bundle <i>j</i>	Alternatives Included	PV
1	A1	\$7,108.76
2	A2	\$7,769.37
3	A3	\$8,145.27
4	A1-A2	\$14,878.12
5	A1-A3	\$15,254.03
6	A2-A3	\$15,914.64
8	DN	0

Since the bundle with the highest PV is 6 among the seven alternatives whose initial investment cost is below the budget limit, this alternative should be selected.

4.1 Sensitivity analysis of the given problem

In the following, the same problem will be solved for different expected lives of the alternatives. Suppose that the expected life of A1 is 2 years, expected life of A2 is 3 years, and expected life of A3 is 6 years. The possible bundles and their first costs will be the same as in Table 5, which means there will be seven possible bundles except Bunde 7. So, it is needed to calculate the PVs of the bundles along the LCM of lives. First, the cash flow of the three alternatives along LCM of lives, which is 6 years, are given as in Table 10.

Table 10. Cash flow of alternatives projects along LCM of lives

n	A1	A2	A3
0	\$12,480.56	\$14,591.88	\$14,003.39
1	\$10,326.34 -\$2,603.56	\$12,887.31 -\$4,260.46	\$11,091.40 -\$2,789.91
2	\$10,326.34 -\$2,603.56 -\$12,480.56 +\$1,461.84	\$12,887.31 -\$4,260.46	\$11,091.40 -\$2,789.91
3	\$10,326.34 -\$2,603.56	\$12,887.31 -\$4,260.46 -\$14,591.88 +\$2,305.49	\$11,091.40 -\$2,789.91
4	\$10,326.34 -\$2,603.56 -\$12,480.56 +\$1,461.84	\$12,887.31 -\$4,260.46	\$11,091.40 -\$2,789.91
5	\$10,326.34 -\$2,603.56	\$12,887.31 -\$4,260.46	\$11,091.40 -\$2,789.91
6	\$10,326.34 -\$2,603.56 +\$1,461.84	\$12,887.31 -\$4,260.46 +\$2,305.49	\$11,091.40 -\$2,789.91 +\$3,104.70

Then the PVs of the projects are calculated as in Table 11. NPVs are given in the last row.

Table 11. Cash flow of alternatives projects along LCM of lives

n	A1	A2	A3
0	\$12,480.56	\$14,591.88	\$14,003.39
1	\$6,895.34	\$7,702.54	\$7,412.04
2	\$-2,627.50	\$6,877.27	\$6,617.90
3	\$5,496.92	\$-2,604.79	\$5,908.84
4	\$-2,094.63	\$5,482.52	\$5,275.75
5	\$4,382.11	\$4,895.11	\$4,710.49
6	\$4,653.21	\$5,538.66	\$5,778.73
NPV	\$29,186.02	\$42,483.20	\$49,707.13

Table 12 shows the bundles with their total PVs.

Table 12. Bundles and their PVs

Bundle <i>j</i>	Alternatives Included	PV
1	A1	\$29,186.02
2	A2	\$42,483.20
3	A3	\$49,707.13
4	A1-A2	\$71,669.21
5	A1-A3	\$78,893.15
6	A2-A3	\$92,190.33
8	DN	0

Since the bundle with the highest NPV is 6 among the seven alternatives whose initial investment cost is below the budget limit, this alternative should be selected.

In the following a sensitivity analysis approach will be presented for the first alternative (A1) with 3 years of expected life. The parameters that the three experts are not sure about their predicted values are \widetilde{AB} and \widetilde{AC} . For these two parameters a sensitivity surface approach analysis will be applied, and the riskless area of this investment will be determined.

First, the NPV equation is set as follows.

$$NPV = (16,639.99; 0.865, 0.115) + (13,286.50; 0.880, 0.102)(1 + x)(P/A, 12\%, 3) + (-3,471.25; 0.865, 0.115)(1 + y)(P/A, 12\%, 3) + (1,949.03; 0.865, 0.115)(P/F, 12\%, 3)$$

The IF parameter values in the above NPV equation are defuzzified by using Equation (11) as follows.

$$= -12,480.56 + 24,802.11(1 + x) - 6,253.31(1 + y) + 1,040.51$$

$$= 7,108.76 + 24,802.11x - 6,253.31y$$

The investment will be acceptable if $7,108.76 + 24,802.11x - 6,253.31y \geq 0$. From this inequality, we can obtain Figure 2 by substituting $x = 0$ and $y = 0$ and finding the corresponding y and x values, respectively. For $x = 0, y = 1.137$ and for $y = 0, x = -0.287$ are obtained.

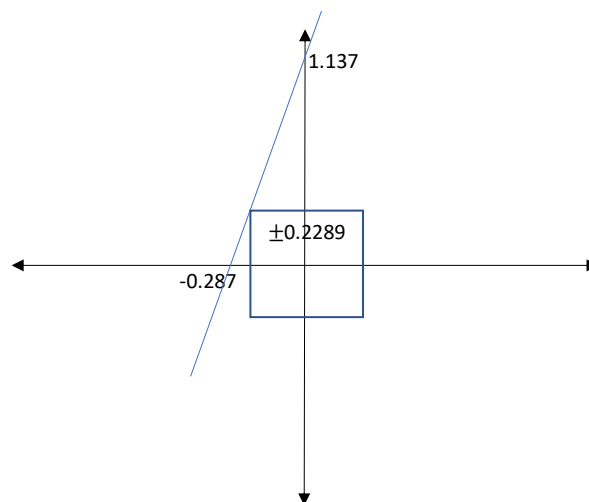


Figure 2. Sensitivity graph

Based on Figure 2 we can state that the simultaneous variations in AB and AC up to 23% make no risk for the investment. If the possible variation in the market conditions is at most 20%, for instance, there should be no hesitation to make the investment.

5. Conclusion

In today's world, it is almost impossible to talk about companies with endless resources. Regardless of the size of companies, their capital is limited as well as resources such as manpower, raw materials, etc. Capital budgeting is the process of decision making about capital investment in long-term assets. Since the amounts invested in long-term assets are often large, the research and decision process take a long time and requires many upfront transactions. Different methods are used to make decisions in the capital budgeting process. It is an important issue whether the time factor is considered in the methods used. For this reason, these methods can be divided into two groups as ignoring the time factor (static) and taking it into account (dynamic). Present value analysis is one of the most frequently used dynamic methods. Although there are many studies in the literature on this subject, no study has been found that deals with independent projects under budget constraints. With the new equations proposed in this study, a new perspective has been brought to capital budgeting under fuzziness. While the study included the evaluation of projects with both equal and different lives, the effect of the changes in the parameters on the result was examined with the sensitivity analysis.

With this study, it has been proven why the evaluation of engineering economics problems under blur will give more realistic results. Especially in long-term investments, investment parameters contain considerable uncertainty. As useful life increases in inflationary markets, values such as uniform annual benefit, uniform annual cost, and salvage value become uncertain. In addition, the first cost parameter is highly dependent on environmental factors such as exchange rate changes and inflation. Again, in long-term investments, the useful life may vary significantly over time compared to the initial estimate. In this study, the uncertainties in all these parameters were handled under IFSs and reflected in a realistic way.

The limitation of this study is that it does not take into consideration of various non-financial aspects of the projects which play an important role in successful and profitable implementation and possible modifications in capital budgeting decisions in time are not considered since it is hard to locate the market for capital goods.

In future studies, it is recommended to consider the equations proposed in this study with different fuzzy set extensions such as picture fuzzy sets, spherical fuzzy sets, or Fermatean fuzzy sets and present a comparison analysis. Also, it is recommended to expend the analysis with infinite life projects.

Conflicts of Interest

The author declared that there is no conflict of interest.

References

- Atanassov, K.T. (1986). Intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems* 20(1), 87-96. doi: [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(86\)80034-3](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(86)80034-3)
- Can, G.F. (2018). Intuitionistic fuzzy TLX (IF-TLX): Implementation of intuitionistic fuzzy set theory for evaluating subjective workload. *Journal of Turkish Operations Management* 2(1), 79-90. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/pub/jtom/issue/40793/514530>
- de Souza Sampaio Filho, A.C., Vellasco, M.M.B.R., & Tanscheit, R. (2018). Modified methods of capital budgeting under uncertainties: An approach based on fuzzy numbers and interval arithmetic. *Communications in Computer and Information Science* 853, 777-789. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-91473-2_65
- Etemadi, S., Koosha, H. & Salari, M. (2018). A goal programming capital budgeting model under uncertainty in construction industry. *Scientia Iranica* 25(2), 841-851. doi: <https://doi.org/10.24200/SCI.2017.4436>
- Sampaio Filho, A.C.D.S., Vellasco, M.M.B.R., & Tanscheit, R. (2018). A unified solution in fuzzy capital budgeting. *Expert Systems with Applications* 98, 27-42. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.01.002>
- Schneider, J., & Kuchta, D. (2018). Fuzzy capital budgeting for projects characterized by step type fuzzy intervals. *Journal of Multiple-Valued Logic and Soft Computing* 30(4-6), 303-334. Retrieved from <https://www.oldcitypublishing.com/journals/mvlsc-home/mvlsc-issue-contents/mvlsc-volume-30-number-4-6-2018/mvlsc-30-4-6-p-303-334/>

- Sergi, D., & Sari, I.U. (2021). Fuzzy Capital Budgeting Using Fermatean Fuzzy Sets. *Advances in Intelligent Systems and Computing* 1197 AISC, 448-456. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-51156-2_52
- Sergi, D., Sari, I.U., & Senapati, T. (2022). Extension of capital budgeting techniques using interval-valued Fermatean fuzzy sets. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems* 42(1), 365-376. doi: <https://doi.org/10.3233/JIFS-219196>
- Silva, A.F.d., Marins, F.A.S., Dias, E.X., & Miranda, R.d.C. (2018). Fuzzy Goal Programming applied to the process of capital budget in an economic environment under uncertainty. *Gestão & Produção* 25(1), 148-159. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/0104-530X2344-16>
- Liu, Y.H., Jiang, I.M., & Tsai, M.I. (2017). Making capital budgeting decisions for project abandonment by fuzzy approach. *Lecture Notes in Computer Science* 10386 LNCS, 277-284. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-61833-3_29
- Ucal Sari, I., & Kahraman, C. (2015). Interval Type-2 Fuzzy Capital Budgeting. *International Journal of Fuzzy Systems* 17(4), 635-646. doi: <https://doi.org/10.1007/s40815-015-0040-5>
- Xu, Z. (2007). Some similarity measures of intuitionistic fuzzy sets and their applications to multiple attribute decision making. *Fuzzy Optimization and Decision Making* 6(2), 109-121. doi: <https://doi.org/10.1007/s10700-007-9004-z>
- Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control* 8(3), 338-353. doi: [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)
- Zaralı, 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/pub/jtom/issue/63460/900810>



Journal of Turkish Operations Management

İki amaçlı en kısa yol problemi ve bir uygulaması

Hakan Gürsoy*, Ekrem DUMAN²

¹Hacettepe Üniversitesi İşletme Bölümü, Beytepe Kampüsü Çankaya Ankara

e-mail, hg2324@columbia.edu ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-7759-1502>

²Özyeğin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Nişantepe Mah. Orman Sok. İstanbul

e-mail, ekrem.duman@ozyegin.edu.tr ORCID No: <http://orcid.org/0000-0001-5176-6186>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 18.02.2022

Revize: 04.06.2022

Kabul: 25.11.2022

Anahtar Kelimeler:

En kısa yol problemi
İki amaçlı en kısa yol problemi
Martins algoritması
Etiketleme algoritmaları
A* algoritmaları

Özet

Bu çalışmada çok amaçlı en kısa yol probleminin özel bir durumu olan iki amaçlı en kısa yol problemi incelenmektedir. Gerçek hayatta sıkça karşılaşılan bu problem için literatürde birçok çözüm metodu önerilmiştir. Problemin çözümü tek bir sonuç değil bir çözüm kümesinden oluştuğu için bu metotlar uzun hesaplama ve işlem sürelerine sahiptir. Bu nedenle de literatürde çözüm kümesinin tamamını bulma garantisi olmasa da çok daha kısa sürede çözüm üreten sezgisel metotlar geliştirilmiştir. Bu çalışmada çözüm kümesinin tamamını veren metotlar ile sözü geçen sezgisel metotlar açıklanacak ve bu metotlar arasında karşılaştırma imkânı sunan bir uygulama yapılacaktır.

Bicriteria Shortest Path Problem and an Application

Article Info

Article History:

Received: 18.02.2022

Revised: 04.06.2022

Accepted: 25.11.2022

Keywords:

Shortest Path Problem
Bicriteria Shortest Path Problem
Martins Algorithm
Labeling Algorithms
A* Algorithms

Abstract

In this paper bicriteria shortest path problem, a specific case of shortest path problem, is studied. This problem can be seen frequently in real life, and there are methods that can produce solutions to the problem. Since the solution of the problem is a set of solution points, these methods need long computation times. Thus heuristic solutions, were also suggested, which does not guarantee to find the complete set of solutions, but solving the problem in a relatively shorter time compared to exact methods. In this paper we will explain both of exact methods and heuristic methods and describe an application to that compares them.

1. Giriş

En kısa yol problemi insanlığın ortaya çıkışından beri sürekli çözmeye çalıştığı problemlerden birisidir. Bu problemi kısaca, bir noktadan bir noktaya, belirli şartları sağlayarak en kısa mesafede varma problemi olarak tanımlamak mümkündür. Doğası gereği insan mümkün olduğunca en kısa yolu seçer.

En kısa yol problemi sadece güzergah hesaplama ya da rotalama problemlerinde değil, bir çok gerçek hayat probleminde de kullanılmaktadır. Bunlara örnek olarak robot navigasyonu, trafik planlama, mikroişlemci elektrik akım problemleri, ağlarda ip ayarlaması ve finansal piyasalarda arbitraj imkanlarının bulunması verilebilir (Ahuja v.d.,1988; Sedgewick, 2014).

Ek kısa yol probleminin çözümü için yapılan çalışmaların geçmişi 1950 ve 1960'lara dayanmaktadır. Bu çalışmalar sonucunda literatürde öncü olmuş 3 farklı metot geliştirilmiştir. Bunlar Bellman-Ford metodu (Bellman,1958; Ford,1956), Dijkstra metodu (Dijkstra, 1959) ve Floyd-Warshall metodudur (Floyd, 1962). Dijkstra'nın metodu bir düğümden başka bir düğüme en kısa yolun bulunması için geliştirilmiş hızlı bir algoritmadır. Uygun bir veri yapısı (heap gibi) kullanılması durumunda $O(N \log N)$ süre karmaşıklığına sahiptir, ancak algoritmanın çalışabilmesi için kenarların negatif olmaması gereklidir. (Sedgewick, 2014). En kısa yol problemlerinin ilk çözümlerinden olan Bellman-Ford metodunda ise negatif kenarların olması durumunda da çözüm bulunabilmektedir. (Sedgewick, 2014). Floyd-Warshall metodunda ise bütün düğümlerden bütün düğümlere en kısa yol bulunabilmektedir.

İki amaçlı en kısa yol problemi ise en kısa yol probleminin özelleştirilmiş bir halidir. İki amaçlı en kısa yol probleminde, genellikle birbiri ile çelişen (maliyet ve zaman gibi) iki farklı amaçta en kısa güzergahlar aranmaktadır. Tehlikeli madde taşımacılığı gibi bazı problemlerde ise amaçlardan bir tanesi en kısa yol olurken diğeri, en tehlikesiz yol olabilmektedir. Bu durumda ise ikinci amaçta toplama değil, en tehlikesiz yolun bulunması hedef olmaktadır.

Problemi detaylı olarak incelemeyen önce literatürde problem hakkında kullanılan iki kavramı tanımlamak gerekmektedir. Bunlardan ilki çözümün etkin olmasıdır. Etkin bir çözüm, kendisinden bütün amaçlar açısından daha iyi bir çözümün bulunmadığı bir çözümdür. Yani başka bir çözüm kümesi bazı amaçlar açısından daha iyi olabilir, ancak en azından bir amaç açısından daha iyi veya eşit sonuç vermeyecektir. (Skriver, 2000a). Bu çözümlere aynı zamanda Pareto optimal çözümler de denilmektedir. İkinci önemli kavram ise çözümün diğerleri tarafından domine edilip edilmediğidir. Domine edilme kavramı literatürde özellikle tanımlanmış ve önem verilmiş bir kavramdır. Bir çözüm etkin çözüm ise bu durumda domine edilmemiş bir çözümdür. Domine edilmiş olan çözümler etkin çözüm değildir. Domine edilmemiş çözümler ise mutlaka etkin çözüm olmak zorundadır (Skriver, 2000a).

Çok amaçlı en kısa yol problemlerinin çözümü için araştırmalar 1970'lerde başlamıştır. 2000'li yılların başına gelindiğinde literatürde çeşitli yöntemler için bir bilgi birikimi oluşmuştur. Bu minvalde Skriver (2000a) literatürdeki kesin metotları çalışmasında açıklamıştır. Kesin metotlar etiketleme ve ağaç/güzergah yöntemleri olarak ikiye ayrılmaktadır. Bunlardan etiketleme yöntemleri Hansen'in (1980) çalışması ile başlamıştır. Ancak esas bu konudaki ana çalışma Martins'in (1984) çalışması ile ortaya koyduğu Martins algoritmasıdır. Etiketleme yöntemleri literatürde pek çok çalışmada yer almıştır. Daha az kullanılan ağaç/güzergah yöntemleri ise iki aşamalı arama ve k-en kısa yol algoritmalarıdır.

Serafini'ye (1986) göre iki amaçlı en kısa yol problemi NP-Complete (polinomsal sürede çözümü olmayan) bir problemdir. Ancak eldeki çizgelerde döngüler bulunmuyorsa, polinomsal sürede çözülebilecektir (Ehrgott, 2005). Öte yandan polinomsal sürede çözülebilmesi de çok hızlı çözüleceği anlamına gelmemektedir. Zaten literatürde yapılan uygulamalarda çözüm sonuçlarının oldukça uzun zaman aldığı da görülmüştür. Bu nedenlerle yukarıda açıklanan kesin metotlar haricinde, literatürde çok amaçlı en kısa yol probleminin çözümü için çeşitli sezgiseller de önerilmiştir. Aşağıda literatürde yer alan sezgisellerden ulaştıklarımız yer almaktadır.

En kısa yol algoritmalarında kullanılan sezgisellerin en bilineni A^* algoritmasıdır. Bu algoritma ile her düğüm noktasına bir sezgisel fonksiyon değeri atanmaktadır. Arama ağacı oluşturulurken, bu sezgisel değeri ile o ana kadar alınan mesafenin toplamına göre bir A^* fonksiyon değeri oluşturulmaktadır. En küçük A^* değerleri takip edilerek, en kısa yol bulunabilmektedir. Literatürde yapılan çalışmalarda, yukarıda sözü geçen sezgisel fonksiyonunun belirli kriterleri taşıması durumunda, A^* algoritmasının kesin sonuca ulaşacağı vurgulanmıştır. Çok amaçlı en kısa yol probleminin çözümünü hedefleyen sezgisellerin ilk grubu A^* algoritmasını temel alarak oluşturulmuştur. Burada öne çıkan algoritmalar MOA^* , $NAMOA^*$, $NAMOA^*dr$ ve BOA^* algoritmalarıdır. MOA^* algoritması yukarıda sözü geçen A^* tabanlı algoritmaların ilkidir (Stewart ve White,1991). $NAMOA^*$ ise sezgisel fonksiyonunda değişiklik yapmak suretiyle MOA^* algoritmasını geliştirmiştir (Mandow ve Cruz., 2010). $NAMOA^*dr$ algoritması ise, $NAMOA^*$ algoritmasını oluşturan araştırmacılar tarafından, geçilmeyecek olan güzergahların elenmesi yoluyla, problemin boyutunun küçültülmesine yönelik bir geliştirme algoritmasıdır (Mandow, Pulido, Cruz, 2015). Bu algoritmaların tamamı çok amaçlı en kısa yol problemlerinin tamamında uygulanabilecek algoritmalar. BOA^* algoritması ise sadece iki amaçlı en kısa yol problemi için geliştirilmiştir (Ulloa, Yeohz, Baier, Zhang, Suaz, Koenig, 2020). Bu algoritma, daha önceden oluşturulan algoritmalara göre oldukça hızlı sonuç vermektedir.

A* tabanlı sezgiseller dışında da genel arama algoritmalarında kullanılan meta-sezgisellerin iki amaçlı en kısa yol probleminde uygulanmasını içeren çalışmalar da mevcuttur. Bunlara örnek olarak damlacık (ripple) algoritması verilebilir (Hu, Gong, Ming, Zhang, Li, Leeson, Liao, 2020). Damlacık algoritması, su damlalarının suyun içerisinde dağılmasını taklit eden bir algoritmadır. Tek amaçlı arama problemlerinde sıkça kullanılan bir algoritmadır. İki amaçlı en kısa yol probleminde de uygulaması mevcuttur. Damlacık algoritması haricinde genetik algoritma tabanlı çalışmalar da mevcuttur (Cheikh, Bassem, Taicir 2010).

Yukarıda belirttiğimiz yöntemleri literatürdeki sınıflandırmaya göre özetlemek için Tablo 1 kullanılmıştır.

Tablo 1. Çözüm Yöntemleri Sınıflandırma Tablosu

Kesin Yöntemler		Sezgiseller	
Etiketleme Yöntemleri	Güzergah/Ağaç yöntemleri	A* tabanlı yöntemler	Diğer sezgiseller
<i>Etiket Belirleme</i>	<i>İki aşamalı çözüm</i>	<i>MOA*</i>	<i>Genetik Algoritma</i>
<i>Etiket Düzeltme</i>	<i>K-En Kısa Yol</i>	<i>NAMOA*</i>	<i>Damlacık Algoritması</i>
		<i>BOA*</i>	

Çalışmamız, literatürde çok amaçlı en kısa yol probleminde ilişkin olarak kesin yöntemler ve sezgiselleri bir arada açıklayan ve bu kapsamda yapılmış çalışmaları en geniş şekilde kapsamaya çalışan bir makaledir. Bildiğimiz kadarıyla hem kesin yöntemler hem de en yeni sezgisel yöntemleri bir arada kapsayan bir yayın bulunmamaktadır. Çalışmamızın ikinci katkısı ise bu yöntemlerin literatürde sıkça kullanılmış olan veri setleri kullanılarak karşılaştırılmasıdır. Bu karşılaştırma sonucunda hem geleceğe dönük araştırma konuları ortaya çıkmakta hem de yöntemleri kullanacak olan uygulamacılara öneriler getirilmektedir.

Konu hakkında genel bir tanımlama ve literatür taraması yapılan bu bölümden sonra, çalışmanın ikinci kısmında problem daha detaylı anlatılacak ve model yer alacaktır. Bundan sonra gelen üçüncü bölümde çözüm yöntemlerinin sınıflandırılması ve kısaca tanımlanmasına ayrılmıştır. Bu yöntemlere ilişkin uygulamanın ve karşılaştırmanın yapıldığı dördüncü bölümün ardından sonuç bölümü ile makale tamamlanacaktır.

2. Problemin tanımlanması

Çalışmamızın giriş bölümünde kısaca değinildiği üzere iki amaçlı en kısa yol problemi, tek amaçlı en kısa yol problemini temel almaktadır. Ancak burada çözüm kümesi tek bir nokta değil, bir pareto yüzeyi olmaktadır.

Aşağıda Tablo-2’de iki amaçlı en kısa yol problemi için matematiksel gösterim yer almaktadır. $G=(N,E)$ şeklinde bir çizge (graph) olsun. $N=\{1,...,n\}$ düğümlerin (node) oluşturduğu kümeyi, $E=\{(i,j) \mid i,j \in N\}$ ise kenarların (edge) gösteren kümedir. E kümesinin elemanlarının uzunlukları ise w_{ij} ($i,j \in N$) olarak gösterilecektir. Başka bir söyleyişle, w_{ij} , i düğümünden j düğümüne olan bağlantının uzunluğudur. Aşağıdaki gösterimde ikinci amaç için ağırlıklar ise v_{ij} olarak gösterilmektedir. Burada v_{ij} değişkenlerinde yer alan ağırlıklar iki amaçlı en kısa yol probleminde ilişkin amaçların çeşidine göre farklı nitelik alabilir. Örneğin ikinci amaç en kısa süre ise v_{ij} değeri bir süre değeri, ikinci amaç maliyet ise v_{ij} parasal bir değer olacaktır. *bas* ve *bit* ise sırasıyla başlangıç ve bitiş düğümlerini göstermektedir. Gösterimdeki “Min”, pareto optimalliği temsil etmektedir (Shi, Zhou, Wang, Tao, Liu.2017).

Tablo 2. Matematiksel Model

Amaç Fonksiyonu:	
Min	
$\sum_{i,j \in E} x_{ij} w_{ij}$	(1)
$\sum_{i,j \in E} x_{ij} v_{ij}$	(2)
Kısıtlar:	
$\sum_{j \in N} x_{ij} - \sum_{j \in N} x_{ji} = 0 \quad \forall i \in N - \{bas, bit\}$	(3)
$\sum_{j \in N} x_{bas j} - \sum_{j \in N} x_{j bas} = 1$	(4)
$\sum_{j \in N} x_{bit j} - \sum_{j \in N} x_{j bit} = -1$	(5)

$$w_{ij}, v_{ij} \geq 0, \forall (i, j) \in E \quad (6)$$

$$x_{ij} \in 0,1, \forall (i, j) \in E \quad (7)$$

Matematiksel modelde iki amaç fonksiyonu bulunmaktadır. İlk amaç fonksiyonu (1 numaralı fonksiyon) birinci amacın minimize edilmesini hedeflemektedir. İkinci amaç fonksiyonu (2 numaralı fonksiyon) ise ikinci amacın minimize edilmesini hedeflemektedir. İki amaç fonksiyonu da benzer şekildedir; her kenara ilişkin amaç ağırlık değeri ile o amacın çözümde yer alıp almayacağını belirleyen x_{ij} değişkeninin çarpımlarının, bütün kenarlar için toplanması ile oluşan fonksiyonlardır.

Kısıtlara gelinirse, ilk kısıt (3 numaralı denklem) bir akış koruma kısıtıdır. Başlangıç ve bitiş düğümleri hariç herhangi bir düğüme giren ve o düğümden çıkan akış eşit olmalıdır. İkinci kısıt (4 numaralı denklem) başlangıç düğümü için akış koruma kısıtını vermektedir. Bu kısıta göre, başlangıçtan çıkan akış ile başlangıca giren akış arasında bir fark olmalıdır. Bu durumun tersi ise üçüncü kısıtta (5 numaralı denklem), yani bitiş düğümü için akış koruma kısıtında yer almaktadır. Dördüncü kısıt (6 numaralı denklem), kenarların ağırlıklarının negatif olmamasını gerektiren kısıttır. Bu kısıttan anlaşılacağı üzere problemimizde negatif ağırlıklar yer almamaktadır. Ancak bilindiği üzere, tek amaçlı en kısa yol probleminde negatif ağırlıkların yer aldığı modeller ve bu modelleri çözen metotlar bulunmaktadır. Örneğin tek amaçlı en kısa yol probleminde Dijkstra'nın (1959) algoritması negatif ağırlıklara izin vermezken Bellman-Ford (Bellman,1958; Ford,1956) ve Floyd-Warshall (Floyd, 1962) algoritmaları negatif ağırlıklara (negatif ağırlıklı döngüler olmaması şartıyla) izin vermekte ve çözüm üretmektedir (Sedgewick, Wayne, 2014). Çift amaçlı en kısa yol algoritmasının negatif ağırlıklara izin verecek şekilde genişletilmesi de mümkündür. Son kısıt (7 numaralı denklem) ise herhangi bir kenarın çözümde yer alıp almadığını belirleyen x_{ij} değişkeninin ikili (binary) değişken olduğunu belirleyen kısıttır.

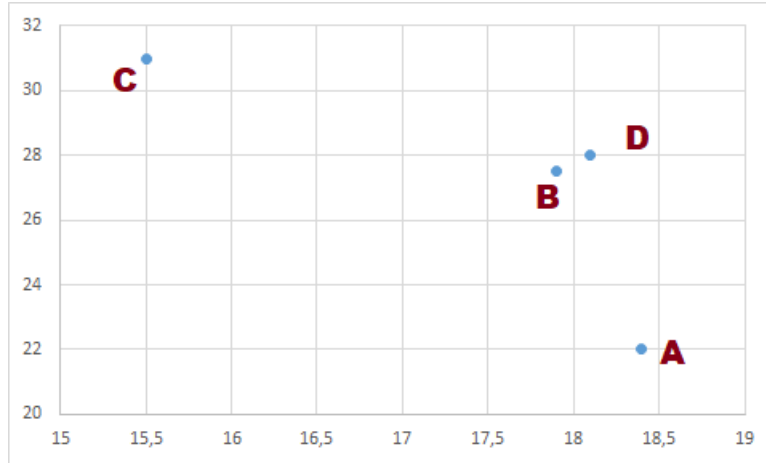
Yukarıda da belirtildiği üzere, bu modelin çözümü bir pareto yüzey ortaya koymaktadır. Pareto yüzeyde, domine edilmemiş bütün çözümler yer alacaktır. Tablo-3'te örnek bir çözüm kümesi ile domine edilmiş ve edilmemiş çözümler gösterilecektir.

Tablo 3. Örnek Çözüm Kümesi

Güzergahın Adı	Mesafe (km)	Ortalama süre (dk)
A	18,4	22
B	17,9	27,5
C	15,5	31

Bu güzergahların herhangi birisinin diğerleri tarafından domine edilip edilmediği literatürde özellikle tanımlanmış ve önem verilmiş bir kavramdır. Bir çözüm, diğer çözümler ile karşılaştırıldığında bütün amaçlar açısından daha kötü sonuç veriyorsa etkin olmayan bir çözümdür, aksi halde etkin bir çözümdür. Bir çözüm etkin çözüm ise bu durumda domine edilmemiş bir çözümdür. Domine edilmemiş çözümler ise mutlaka etkin çözüm olmak zorundadır (Skriver, 2000a). Örneğimizde, A güzergahı en kısa süreye sahiptir, C güzergahı ise en kısa mesafeye, B güzergahı ise A'dan daha kısa mesafeye sahipken C'den daha kısa sürede bitmektedir. Bu üç güzergâh da diğerlerini domine edememektedir, zira her iki amaçta da diğer herhangi bir güzergahtan daha üstün olan bir güzergâh bulunmamaktadır. Bu örneğimizde farazi bir D güzergahı mevcut olsa (18,1 km uzunluğunda ve 28 dk'da tamamlandığını varsayalım) bu güzergâh her ne kadar A ve C güzergahları tarafından domine edilmese de B güzergahı tarafından domine edilmektedir çünkü B güzergahı, D güzergahına göre hem daha kısa mesafeye sahiptir hem de daha kısa sürede tamamlanmaktadır. Bu nedenle B güzergahının bulunduğu bir güzergâh listesinde D güzergahı yer alamayacaktır.

Yukarıdaki örneği bir de eksenlerinde amaçların yer aldığı bir serpm diyagramında (Şekil-1) gösterelim. Aşağıda yer alan diyagramda, D noktası B noktasına göre hem yukarıda hem de sağda olduğundan domine edilmiş durumdadır. Diğer noktalar ise, daha aşağı ve daha sollarında bir nokta olmadığından domine edilmiş olmayacaktır (domine edilmemiş noktalar). Domine edilmemiş olan noktalara pareto optimal noktalar, bu noktaların tamamının oluşturduğu yüzeye ise pareto yüzeyi de denilmektedir.



Şekil 1. Etkin ve etkin olmayan noktaların gösterimi

Çalışmamızın ilerleyen kısımlarında çalışılacak olan yöntemler işte yukarıda tanımlanan pareto yüzeyi ya da çözüm kümesini bulmaya çalışacaktır. Kesin metotlar bu çözüm kümesinin tamamının bulunmasını garanti ederken, sezgisel metotlar bu kümenin tamamını bulmayı garanti etmemektedir.

Yukarıda yer alan örneğimizde, literatürde en sık kullanılan amaç ikilisi olan mesafe/süre ikilisi kullanılmıştır. Bu örnek haricinde iki amacın bir biri ile daha çok çeliştiği pek çok problem ele alınabilir. Örneğin; paralı otoyol ve köprüler ile ücretsiz yolların yer aldığı bir güzergahta süre ve maliyet amaçları çelişecektir. Keza ucuz taşıma yolları (örneğin deniz), orta maliyette taşıma yolları (kara ve demiryolu) ya da pahalı taşıma yollarının (havayolu) kullanılabilirdiği bir taşımacılık probleminde yine süre ve maliyet amaçları çelişecektir. Bir öğrencinin eğlenceye ayıracağı zaman ile derslerden alacağı not ortalaması çelişecektir, bu durumda yüksek not almak için eğlenceye daha az zaman ayırabilecek ya da daha yüksek not almak için eğlenceye daha az zaman ayırabilecektir. Bir elektronik devre tasarımında daha hızlı ya da daha yüksek kapasiteli devre elemanları kullanılması maliyetleri artıracaktır. Bu durumda yine devrenin hız/kapasitesi ile maliyetler çelişecektir. Bu örneklerin tamamında bir pareto optimal çözüm kümesi ve pareto optimal çözüm yüzeyi oluşacaktır. Bu çözümlerin her birisi etkindir ve dolayısıyla hiç biri diğerini domine etmemektedir. Görülebileceği üzere iki amaçlı en kısa yol probleminin gerçek hayatta bir çok örneği bulunabilmektedir.

Şu ana kadar iki amaçlı en kısa yol problemlerinin en genel hali olan en küçük toplam-en küçük toplam problemi anlatılmıştır. En küçük toplam-en küçük toplam probleminde iki amacın da en kısa olması hedeflenmiştir. Bunun haricinde literatürde en küçük toplam-limit ve en küçük toplam-en küçük azami değer tarzı iki amaçlı problemler de ortaya konulmuştur. Bunlardan en küçük toplam-limit türü problemlere örnek olarak, belli bir yoldan geçebilecek ağırlığın sınırlı olmasına ilişkin problemler örnek olarak verilebilir. Bu problemlerde güzergah üzerindeki yollardan geçebilecek araçların ağırlık sınırları mevcuttur. Bu tür problemlere verilebilecek diğer bir örnek ise belli noktalardan geçebilecek tehlikeli madde türünün sınırlı olmasına ilişkin problemlerdir (Erkut,1998).Bu problemlerde belli maddeleri taşıyan araçların, güzergahtaki bazı yolları kullanmasına ya da şehirlerden geçmelerine izin verilmez. En küçük toplam-en küçük azami değer türü problemlere örnek olaraksa belli bir yolda gidilen en yüksek eğimlerin minimize edilmesi örnek verilebilir. Bu iki tür problemde ikinci amacın toplamı değil, güzergah içinde ulaştığı değerler dikkate alınmaktadır. Bu iki tür problem çalışmamızın konusu dışında kalmaktadır.

3. Problemin çözüm yöntemleri

Çalışmamızın birinci bölümünde, literatürde çok amaçlı en kısa yol problemine ilişkin yapılan çalışmalarda ulaşılan yöntemlerin kesin yöntemler ve sezgiseller olarak ikiye ayrıldığı belirtilmişti. Kesin yöntemler, problemin çözümü olan pareto optimal noktaların tamamına ulaşan yöntemlerdir. Sezgiseller ise daha hızlı algoritmalar kullanmakta fakat pareto optimal noktaların tamamına ulaşma garantisi vermemektedirler. Bu bölümde bu yöntemler söz konusu ayrımına göre açıklanacaktır.

3.1 Kesin Yöntemler

Yukarıda da belirtildiği üzere kesin yöntemler etiketleme yöntemleri ve ağaç/güzergah yöntemleri olarak ikiye ayrılmaktadır.

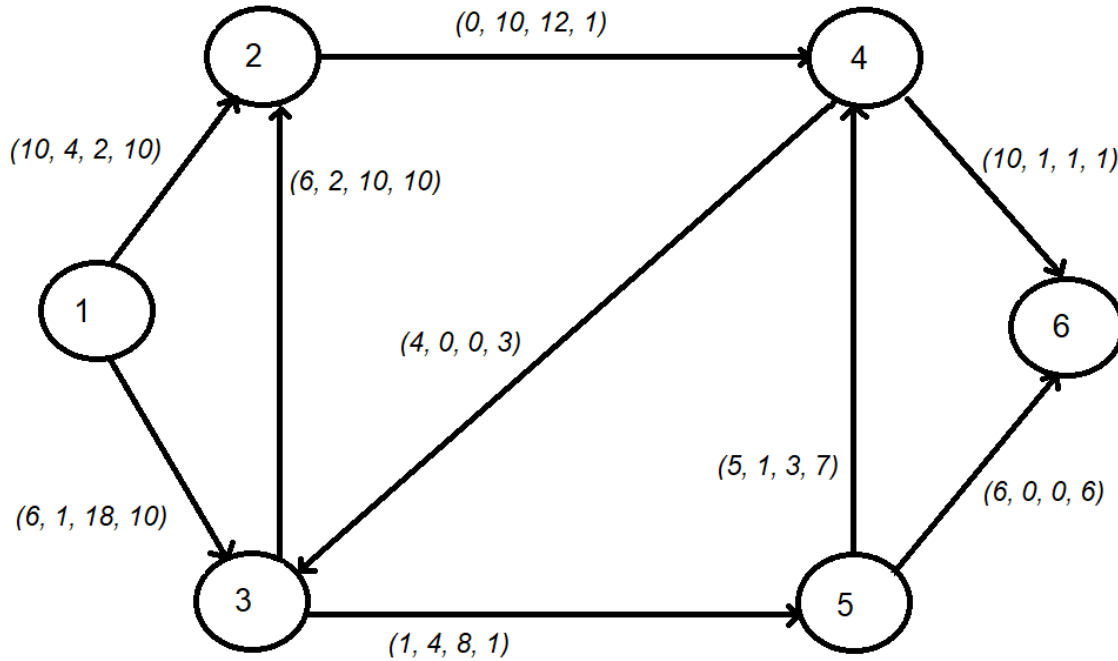
3.1.1 Etiketleme Yöntemleri:

Etiketleme yöntemleri etiket belirleme (label setting) ve etiket düzeltme (label correction) olarak ikiye ayrılmaktadır.

3.1.1.1 Etiket belirleme

Etiket belirleme yöntemleri Martins (1984) algoritmasına dayanmaktadır. Aşağıda bu yöntem adımları ile anlatılacaktır.

Bu algorithmada her aşamada bulunulan konumu özetleyen etiketler üretilmektedir. İki amaçlı bir problem için üretilen etiket şu şekilde olmaktadır: $\langle W1, W2, (P, P_{no}) \rangle$. Etiketinin içerisinde gösterilen $W1$ ilk amaç açısından $W2$ ise ikinci amaç açısından başlangıç düğümünden geline düğüme kadar ulaşılan toplam ağırlıkları göstermektedir. P , ilgili düğüme geline düğümün numarasını, P_{no} ise önceki düğümün kaçınıcı etiketi temel alınarak şu andaki etiketin oluşturulduğunu göstermektedir. Örneğin, $\langle 15, 7, (4, 12) \rangle$ şeklindeki bir etiket; 4'üncü düğümün 12'nci etiketi temel alınarak üretilmiş olan, ilk amaç açısından 15 ikinci amaç açısından ise 7 ağırlığa sahip bir güzergahı gösteren etiket olarak okunmalıdır. Başlangıç düğümünde tek etiket bulunmaktadır bu etiket ise $\langle 0, 0, (-, -) \rangle$ şeklinde olmaktadır. Bu bilgilere göre Martins'in (1984) çalışmasında yer alan ve birçok çalışmada kullanılan örneği aşağıda açıklayacağız. Şekil-2 tarafımızca yeniden çizilmiştir, ancak içerik olarak Martins'in (1984) çalışmasındaki şeklin aynısıdır.



Şekil 2. Dört kriterli çizge

Kaynak: Martins :1984

Yukarıda yer alan Şekil-2 üzerinden etiket seçimi algoritması açıklanacaktır. Algoritmanın basamakları şu şekildedir (Martins , 1984):

Basamak 0: Başlangıç düğümüne geçici etiket olarak $\langle 0, 0, 0, 0, (-, -) \rangle$ atanacaktır.

Basamak 1: a- Eğer geçici düğüm kümesi boş ise 3 nolu basamağa git. Boş değilse, geçici etiketler kümesinden alfabetik olarak en küçük düğüme seç bu etiketi kalıcı etiketler kümesine at. Bu noktada alfabetik olarak (leksikografik) en küçük düğüm şu şekilde belirlenecektir. İlk amaç açısından en küçük olan alfabetik olarak en küçüktür, eğer bu şekilde birden fazla etiket varsa, ikinci amaç ağırlığı en küçük olan etiket en küçüktür, bu şekilde birden fazla etiket varsa bu durumda bir sonraki ağırlığa bakılır, aynı şekilde son ağırlığa kadar gidilir. Eğer bütün ağırlıklar eşitse bu etiketlerden herhangi biri alfabetik olarak en küçük olarak kabul edilir.

b- Alfabetik olarak en küçük geçici etiket, kalıcı etiket olarak etiketlendikten sonra ve kalıcı etiketler kümesine alındıktan sonra, bu etiket kullanılarak geçici etiketler kümesine yeni etiketler eklenecektir. Burada, örnek olarak kalıcı etiket olarak kullanılan etiketin i 'nci düğüme ait olduğunu varsayalım. Bu düğümden çıkan bütün kenarlar için birer etiket oluşturulacaktır. Bu geçici etiketler oluşturulurken, şöyle bir hesaplama yapılacaktır. Kalıcı etiketimizdeki amaç ağırlıkları sırasıyla $\langle c_1, c_2, \dots, c_n \rangle$ olsun. Bu düğümden çıkan herhangi bir kenarın ağırlıklarının $\langle w_1, w_2, \dots, w_n \rangle$ olduğunu varsayalım. Bu durumda yeni oluşturulacak etiketin ağırlıkları sırasıyla $\langle c_1 + w_1, c_2 + w_2, \dots, c_n + w_n \rangle$ olacaktır. Bu aşamada başlangıç düğümünden yeni geçici etiketin oluşturulduğu düğüme gelen bütün geçici etiketler tek tek kontrol edilecek ve domine edilmiş olanlar geçici etiket listesinden silinecektir.

Basamak 2: Basamak 1'e dön.

Basamak 3: Başlangıç düğümünden başlayıp, bitiş düğümüne giden bütün domine edilmemiş etiketleri tespit et.

Basamak 4: Algoritmayı durdur.

Yukarıdaki şekilde gösterilen harita üzerinde bu algoritmayı uygulayalım. Aşağıda yer alan Tablo-4, Martins'in (1984) çalışmasında yer alan tablodan alınmıştır. Gölgelenmiş hücreler kalıcı etiketleri, açık renkliler ise geçici etiketleri göstermektedir. Örneğin 4'üncü düğümün ikinci etiketi domine edilmemiştir, zira ilgili düğümüne ilişkin olarak oluşturulan hiç bir etiket bütün amaçlarda daha düşük ağırlıklara sahip değildir. Aynı düğümün üçüncü etiketi ise domine edilmiştir, zira ilk etiket her amaç için daha düşük ağırlıklara sahiptir. Aynı düğümün iki ve üçüncü etiketleri ise birbirlerini domine etmemektedirler.

Tablo 4. Martins Algoritması Çözüm Süreci

Düğüm	Etiket 1	Etiket 2	Etiket 3	Etiket 4
1	<0,0,0,0,(-,-)>			
2	<10,4,2,10,(1,1)>	<12,3,28,20,(3,1)>	<20,16,24,24,(3,2)>	
3	<6,1,18,10,(1,1)>	<14,14,14,14,(4,2)>	<16,6,29,21,(4,1)>	
4	<12,6,29,18,(5,1)>	<10,14,14,11,(2,1)>	<12,13,40,21,(2,2)>	<20,19,25,22,(5,2)>
5	<7,5,26,11,(3,1)>	<15,18,22,15,(3,2)>		
6	<13,5,26,17,(5,1)>	<20,15,15,12,(4,2)>	<22,7,30,19,(4,1)>	<21,18,22,21,(5,2)>

Algoritma ilk çalıştığında öncelikle 1'nci düğümün ilk etiketi oluşturulacaktır. Bu etiket kullanılarak, 1'nci düğümünden çıkan iki kenar için, 2 ve 3'üncü düğümlerin ilk etiketleri oluşturulacaktır. 1'nci düğümün ilk etiketi kalıcı etiketler arasına alınacaktır. Bunlar arasında alfabetik olarak en küçük olan 3'üncü düğümün ilk etiketi kullanılarak, bu düğümünden çıkan iki kenar için 2'nci düğümün ikinci etiketi ile 5'nci düğümün ilk etiketi hazırlanacaktır. 3'üncü düğümün ilk etiketi kalıcı düğümler arasına alınacaktır. Bu şekilde devam edilerek, bitiş düğümü olan 6'ncı düğümün etiketleri hazırlanacaktır. En sonra hiç geçici etiket kalmadığında algoritma bitecek ve yukarıdaki tablo oluşacaktır. Burada bitiş düğümüne ait iki kalıcı etiket ise domine edilmemiş iki adet güzergahı gösterecektir. Bu güzergahlar belirlenirken, geriye doğru iz takibi (back tracking) algoritması kullanılacaktır. Örneğin 6'ncı düğümün ilk etiketine bakıldığında 5'nci düğümün ilk etiketinden oluşturulduğu görülecektir. 5'nci düğümün ilk etiketi 3'üncü düğümün ilk etiketinden, bu ise başlangıç düğümünün ilk etiketinden oluşturulmuştur. Bu durumda güzergah $1 \Rightarrow 3 \Rightarrow 5 \Rightarrow 6$ şeklinde olacaktır. Bu güzergahın toplam amaç ağırlıkları ise $\langle 13,5,26,17 \rangle$ şeklinde olacaktır. Tek tek ilgili üç kenara ($1 \Rightarrow 3$), ($3 \Rightarrow 5$) ve ($5 \Rightarrow 6$) ait amaç ağırlıkları toplandığında bu sonucun doğru olduğu görülecektir.

3.1.1.2 Etiket düzeltme

Etiket düzeltme yöntemlerinde ise Skriver'in (2000b) çalışması en başarılı sonuçları verdiği için bu yöntem üzerinden anlatılacaktır. Bu yöntem zaten etiket bazlı yöntemlerin de en hızlısıdır. Bu nedenle çalışmamızda yer alan analiz kısmında bu algoritma kullanılmaktadır.

Etiket düzeltme algoritmaları, Skriver (2000b) öncesinde de çalışılmış algoritmalarındandır. Brumbaugh ve Smith (1989) tarafından yapılan uygulaması literatürde en çok bilinenlerdendir. Skriver ise bu algoritma üzerinde iyileştirmeler yapmış ve kendi algoritmasını oluşturmuştur. Bu nedenle öncelikle Brumbaugh-Smith algoritmasını aşağıda açıklayacağız.

Bu algoritmanın etiketleri hazırlama kısmı, etiket düzenleme algoritmasına benzerdir. Ancak burada seçimler sırasında etiketler üzerinden değil, düğümler üzerinden gidilmektedir. İncelenmesi gereken düğümler kümesi boş kalana kadar, sırasıyla bu kümeden bir adet düğüm alınmakta, bu düğümünden çıkan kenarlar teker teker incelenmektedir. Bu inceleme sonucunda ortaya çıkarılan yeni etiketler ile eski etiketler, etiket kümesinde birleştirilmektedir. Aynı etiketten birden fazla ortaya çıkmaması için de, aynı özelliklere sahip bir etiket varsa, birleştirmeye dahil edilmemektedir. İşte bu algoritmanın en büyük işlem yükünü bu birleştirme algoritması içermektedir.

Yukarıdaki algoritmada Skriver (2000b) tarafından yapılan iyileştirmeler, Tung ve Chew'in (1988) çalışmasında kullanılan ve ileride A^* bazlı çalışmalarda da kullanılan, bulunulan düğümünden varış düğümüne her amaç için en kısa yol uzunluklarının tespitini kullanan bir iyileştirmedir. Böylelikle bazı kenarlar hiç kümeye dahil edilmeyecektir. Skriver'in (2000b) çalışmasında kullanılan iyileştirme algoritması şu şekildedir:

Bir i düğümünden, bir j düğümüne giden kenarın etiketleme işlemine katılıp katılmayacağını kontrol edilecektir. Burada i düğümü için $w_1(i) < w_2(i) < w_3(i) < \dots < w_k(i)$ ve $v_k(i) < \dots < v_3(i) < v_2(i) < v_1(i)$ şeklinde (w ilk amacın maliyeti, v ise ikinci amacın maliyeti olsun) bir etiket kümesi olduğunu varsayalım. j düğümü için ise $w_1(j) < w_2(j) < w_3(j) < \dots < w_q(j)$ ve $v_q(j) < \dots < v_3(j) < v_2(j) < v_1(j)$ şeklinde bir etiket kümesi olduğunu varsayalım. i ve j düğümleri arasında yer alan kenarın amaç ağırlıkları ise sırasıyla a ve b olsun. Bu durumda ortaya çıkacak durumları değerlendirelim.

Eğer $w_1(i) + a > w_q(j)$ ise bu durumda eğer $v_k(i) + b > v_q(j)$ ise, üretilecek her etiket domine edilecek, dolayısıyla birleşme işlemi herhangi bir değişikliğe neden olmayacaktır. Bu nedenle ilgili kenar etiketleme işlemine alınmayacaktır.

Benzer şekilde, eğer $v_k(i)+b > v_1(j)$ ise bu durumda eğer $w_1(i)+a > w_1(j)$ ise, üretilecek her etiket domine edilecek, dolayısıyla birleşme işlemi herhangi bir değişikliğe neden olmayacaktır. Bu nedenle ilgili kenar etiketleme işlemine alınmayacaktır.

Aksi durumlarda ise birleşme işlemi yapılabilecektir. Bu birleşme işleminin sözde kodu Tablo 5'te gösterildiği şekildedir. (Skriver,2000b)

Tablo 5. Etiket Düzeltme Algoritması Birleşme Sözde Kodu

<p><i>Eğer $w_1(i)+a < w_q(j)$ ise bir şey yapma; (çünkü (i,j) düğümü gelecek vaadediyor)</i> <i>değilse (yani \geq ise)</i></p> <p style="padding-left: 40px;"><i>Eğer $v_k(i)+b < v_q(j)$ ise bir şey yapma; (çünkü (i,j) düğümü gelecek vaadediyor)</i> <i>değilse j'yi i'nin çıkışlarından çıkar (çünkü (i,j) düğümü domine edilmiştir)</i></p> <p><i>Eğer $v_k(i)+b < v_1(j)$ ise bir şey yapma; (çünkü (i,j) düğümü gelecek vaadediyor)</i> <i>değilse (yani \geq ise)</i></p> <p style="padding-left: 40px;"><i>Eğer $w_1(i)+a < w_1(j)$ ise bir şey yapma; (çünkü (i,j) düğümü gelecek vaadediyor)</i> <i>değilse j'yi i'nin çıkışlarından çıkar (çünkü (i,j) düğümü domine edilmiştir).</i></p>
--

Kaynak: Skriver : 2000b

Bu şekilde oluşturulan etiketlerden varış noktası için oluşturulan domine edilmemiş etiketler, çözüm kümesini oluşturacaktır.

3.1.2 Ağaç/Güzergah yöntemleri

Ağaç/güzergah yöntemleri ise iki aşamalı çözümler ve K adet en kısa yol algoritması olarak ikiye ayrılmaktadır.

3.1.2.1 İki aşamalı çözümler:

İki aşamalı çözümler, ağaç araması algoritmaları kullanılarak yapılan algoritmalarlardır. Bu algoritmalarda, iki amaç açısından en kısa yollar bulunduğundan sonra, bu yollarda ulaşılan değerlerin ara değerleri aranmaktadır. Literatürde çok fazla uygulaması bulunmamaktadır. Örnek olarak Murthy ve Olson'un (1991) çalışması gösterilebilir. Bu çalışmaya ilişkin yapılan karşılaştırmalarda, bu algoritmanın ilk aşamasının bile etiket düzeltme algoritmalarından yavaş olduğu sonucuna varılmıştır (Skriver,2000a). Bu algoritmanın diğer algoritmalar ile kıyaslandığı diğer bir çalışma da (Raith ve Ehrgott., 2009), bu yöntemi etiket belirleme ve etiket düzeltme yöntemlerine göre daha yavaş olarak değerlendirmiştir.

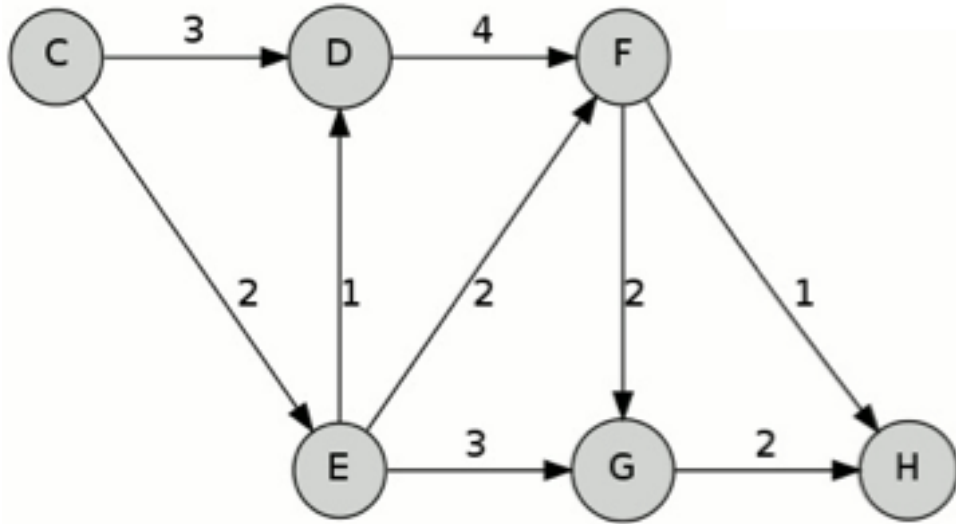
3.1.2.2 K adet en kısa yol algoritması

Bu algoritma Yen'in (1971) tek amaçlı en kısa K adet yola ulaşma probleminin üzerine bina edilmiştir. Söz konusu problemde, sadece en kısa yol değil, bulunan yollar uzunluklarına göre sıralandığında en kısıdan başlamak suretiyle elde edilen K adet yolun sıralanmasına dayanmaktadır.

K adet en kısa yol bulunurken iki aşamalı bir algoritma kullanılır. İlk aşamasında en kısa yol bulunur. Bu en kısa yol, en kısa yollar kümesine eklenir. İkinci aşamasında ise ara bir noktada bulunduğu varsayılır.

Bu noktada daha önceden n-1 adet en kısa yol olduğu varsayılarak, n'nci ($n \leq K$) en kısa yol aranmaktadır. Bu güzergah belirlenirken daha önce ortaya çıkan n-1 adet en kısa yol ele alınır. Bu güzergahlarda geçilen kenarların ağırlıkları, sırasıyla sonsuz yapılır ve en kısa yol algoritması uygulanır. Bu şekilde elde edilen yeni güzergahlar bir kümeye atılır, bunların en kısa olanı n'nci en kısa yol olarak en kısa yollar kümesine alınır. (Yen, 1971)

Bu algoritmayı bir örnek üzerinden göstermek faydalı olacaktır. Şekil-3'te görülen örnek Wikipedia (2021)'den alınmıştır.



Şekil 3. K en kısa yol için çizge

Kaynak: Wikipedia (2021)

Bu örnekte C düğümünden H düğümüne en kısa 3 güzergâh bulunacaktır. Açık ki, herhangi bir en kısa yol algoritması ile C-E-F-H güzergahı en kısa yol olarak tespit edilebilir. Bu güzergahın uzunluğu ise $2+2+1 = 5$ birim olacaktır.

İkinci en kısa yol bulunurken, sırasıyla yukarıdaki güzergahta kullanılan kenarların (C-E, E-F, F-H) değerleri sonsuza eşitlenecek (böylelikle kaldırılacak) ve başlangıçtan ilgili kenarın başlangıç düğümüne ardından da o düğümünden bitişe birer kere en kısa yol algoritması çalıştırılacak ve bunların toplamı aday güzergah kümesine atılacaktır. Burada önce C-E kenarı çıkarılacak, böylelikle bu kenar kullanılmadan C'den bitişe en kısa yol olan C-D-F-H güzergahı bulunacaktır. Başlangıç zaten C olduğundan bu güzergah 8 birim uzunluğundaki C-D-F-H olacaktır. Bu güzergah ikinci en kısa yol aday kümesine atılacaktır. Ardından E-F kenarı çıkarılacaktır. Bu kenarın başlangıç düğümü olan E'den H'ye en kısa yol E-G-H olacaktır. Böylelikle ikinci en kısa yol aday kümesine 7 birimlik C-E-G-H güzergahı atılacaktır. Son olarak F-H kenarı çıkarılacaktır. F'den bitişe en kısa yol F-G-H güzergahıdır. Böylelikle 8 birimlik C-E-F-G-H güzergahı, en kısa ikinci yol aday kümesine atılacaktır. Bu kümedeki en kısa güzergah olan C-E-G-H, ikinci en kısa güzergah olacaktır. İkinci aşamanın sonunda en kısa yol C-E-F-H, en kısa ikinci yol ise C-E-G-H olarak tespit edilmiştir.

Üçüncü en kısa yolu tespit ederken, bu sefer ikinci en kısa yol ele alınacaktır. İkinci en kısa yol aday kümesinde kalan yollar, üçüncü en kısa yol aday kümesine otomatik olarak alınacaktır. İkinci en kısa yolun ilk kenarı C-E, çıkarılacaktır. Bu durumda C'den H'ye en kısa yol 8 birimlik C-D-F-H olacaktır. Bu güzergah zaten en kısa yol aday kümesinde olduğundan bu artık eklenmeyecektir. Ardından E-G kenarı çıkarılacaktır. Bu durumda E'den H'ye en kısa yol C-E-F-H olacaktır, bu ise en kısa yol kümesinde yer aldığından tekrar eklenmeyecektir. Son olarak G-H kenarı çıkarıldığında ise en kısa yol oluşmayacaktır. Bu durumda en kısa yol aday kümesindeki en kısa yol olan C-D-F-H üçüncü en kısa yol olacaktır.

Bu problem her ne kadar tek amaçlı bir en kısa yol problemi olsa da, çözüm tek bir güzergah değil de birden fazla güzergahtan oluşan bir çözüm kümesi olduğu için, bir takım değişiklikler ile çift amaçlı en kısa yol probleminin çözümünde kullanılacak hale gelmektedir. Burada ki mantık K sayısının sabit tutulmasına dayanmaktadır. Öncelikle iki amaç açısından da en kısa yollar bulunmaktadır. Ardından, amaçlardan birisi kullanılarak, diğer amaç için en kısa yol elde edilene kadar bu algoritma çalıştırılmaktadır. Algoritma bulunan güzergahları sırası ile bulduğu için, diğer amaç açısından en kısa yol bulunduğu anda, iki amaçlı en kısa yol problemi için bütün çözüm kümesi elde edilmektedir. (Climaco ve Martins,1982)

3.2 Sezgiseller

Literatür taraması kısmında da belirttiğimiz üzere, problemde yoğun olarak A* temelli algoritmalar çalışılmış, bunun yanında damlacık, genetik tabanlı sezgiseller de kullanılmıştır. Literatürde en çok A* temelli algoritmalar çalışıldığı için aşağıda bunların en bilinenlerine yer verilmiştir.

3.2.1 A* Temelli Algoritmalar

A* en kısa yol algoritmaları için kullanılan bir sezgisel paradigmasıdır. Hart et al tarafından (Hart, Nilsson ve Raphael, 1968) geliştirilmiş olan bu paradigma aslında doğrudan bir çözüm yöntemi sunmak yerine bir çözüm

yönteminin sahip olması gereken özellikleri belirlemiştir. Bu paradigmaya göre, en kısa yol tespiti için ilerlenecek düğüm seçilirken bir A^* fonksiyon değeri tespit edilmeli, eldeki aday düğümlerden en küçük A^* fonksiyon değerine sahip olanına ilerlenmelidir. Bu A^* fonksiyonu ise (örneğin $F(N)$, N burada bir düğümü ifade etmektedir.), başlangıçtan ilgili düğüme gelene kadar gerçekleşen yol maliyeti (Bu $C(N)$ olsun) ile ilgili düğümden sonuç düğüme gidişe ilişkin sezgisel fonksiyon ($H(N)$ olsun) değeri toplamı olacaktır. Yani ilerlenecek düğüm seçilirken $F(N)=C(N) + H(N)$ değeri en düşük olan düğüme ilerlenecektir. $C(N)$ gerçekleşmiş bir değeri, $H(N)$ ise sezgisel ile bulunan bir değeri ifade etmektedir. Eğer $H(N)$ tutarlı bir fonksiyon ise, A^* algoritması kesin çözüm sunacaktır. (Hart et al., 1968).

3.2.1.1 MOA*

Bu algoritma, çok amaçlı A^* (multi objective A^*) olarak isimlendirilmiştir. A^* tabanlı çok amaçlı en kısa yol algoritmalarının, bilgimiz dahilinde, ilkidir. Stewart ve White tarafından (1991) geliştirilmiştir. NAMOA* algoritması temel olarak bu algoritmayı almaktadır. Ancak aralarında küçük farklılıklar vardır. NAMOA* algoritması yapılan çalışmalarda performans olarak MOA*'dan daha iyi sonuçlar verdiği için aşağıda bu algoritma daha detaylı olarak açıklanacaktır.

3.2.1.2 NAMOA* ve NAMOA*dr

Bu algoritmalar ise Mandow et al (2010) tarafından geliştirilmiştir. Yine Mandow et al (2015) tarafından algoritmayı hızlandırılacak geliştirmeler yapılmıştır. İkinci algoritma, ilk algoritmanın boyutlarını küçültmek suretiyle hızlandırılmış şeklidir. NAMOA* algoritması temel olarak MOA* algoritmasını almaktadır, ancak MOA* düğüm seçme temelinde ilerlerken, NAMOA* etiket seçme temelinde ilerlemektedir.

NAMOA* algoritması da aslında temelde bir etiket seçme algoritmasıdır. Martins (1984) algoritmasında olduğu gibi herhangi bir etiket işlenirken, o etiketin sahibi olan düğümden gidilen her düğüm için yeni bir etiket düzenlenmektedir. Ancak burada geçici etiket, kalıcı etiket ayrımı yapılmamaktadır. Her etiket düzenlendiğinde, bu etiketler bir kümenin içine atılmakta, bu kümedeki etiketlerden, A^* fonksiyon değerleri en küçük olan etiket seçilerek devam edilmektedir. Bu şekilde sonuç düğüme varıldığında, oluşturulan etiket, sonuç düğümü için çözüm kümesinin elemanlarından birisi olmaktadır. Doğal olarak her etiketten yeni etiket üretilmeyecektir, eğer bir etiket, bulunduğu düğümden daha önceden oluşturulan etiketler tarafından domine edilmekteyse, artık o etiket işlenmeyecektir (Mandow et al, 2010).

Bu algoritmanın hızlı çalışabilmesi için etiket kümesinin içindeki en düşük alfabetik A^* değerine sahip etiketin seçilmesinden yığın ağacı (heap tree) veri yapısı kullanılmalıdır. Aksi takdirde orta boyutlu bir çizgede, etiket kümesinin büyüklüğü 10.000'lerle ifade edilebilecek boyuta kısa sürede gelmektedir. Bu kümenin en küçüğünü seçmek için yığın ağacı kullanılması durumunda toplam işlem sayısı 15-20 adet civarında olacakken ($O(\log N)$), normal seçme yöntemleri ile işlem sayısı da küme büyüklüğü ile orantılı olacaktır ($O(N)$). NAMOA* algoritması sezgisel olarak ilgili düğümden sonuç düğüme amaçların her birisi için en kısa yol değerini kullanmaktadır (Mandow et al, 2010).

Bu algoritmanın sözde kodu aşağıda Tablo-6'da görüldüğü gibidir. Bu sözde kodda S , düğümlerin, E kenarların oluşturduğu küme, c ise kaç tane amaç varsa o kadar ağırlıktan oluşan ve kenarların ağırlıklarını içeren kümedir. G_{op} kümesi her hangi bir düğüm için açık olan etiketlerin tutulduğu küme, G_{cl} kümesi ise her hangi bir düğüm için kapalı olan etiketlerin tutulduğu kümedir. Açık etiketler, yeni etiket üretimi için açık olan etiketlerdir, kapalı etiketler ise artık etiket üretimine kapatılmış etiketlerden oluşmaktadır. Bu kümede sonuç düğümü için en son kalan etiketler pareto optimal çözüm kümesini verecektir. Aşağıdaki iki algoritma da A^* tabanlı olduğu için bir sezgisel fonksiyon (h^*) ve o ana kadarki mesafeyi tutan c fonksiyonundan oluşan bir f^* fonksiyonu mevcut olacaktır. Bu fonksiyonlar çalışmamızın A^* kısmında açıklanmıştır.

Tablo 6. NAMOA* sözde kodu

Girdi : Bir arama problemi ($S, E, c, S_{bas}, S_{bit}$) ve tutarlı bir h^* sezgisel fonksiyonu
Çıktı: Pareto optimal çözüm kümesi
$SOL \leftarrow \emptyset$
her $s \in S$ için yap
$G_{op}(s) \leftarrow \emptyset; G_{cl}(s) \leftarrow \emptyset$ (başlangıç atamaları)
$G_{op}(s) \leftarrow \{(0,0)\}$ ata((0, 0)) $\leftarrow \emptyset$ (herhangi bir etiket için ata düğümünü tutacaktır) Open kümesini oluştur ve başlangıç etiketini, ($S_{bas}, (0, 0), h(S_{bas})$) ekle
Open $\neq \emptyset$ sürece yap
Open kümesi içindeki alfabetik (lexicographic) olarak en küçük f^* değerine sahip etiketi al
Bu etiketi G_{op} kümesinden çıkar ve G_{cl} kümesine ekle
eğer $s = S_{bit}$ ise
Bu etiketi SOL kümesine ekle ve Open kümesi içinden f değeri bu f^* değeri tarafından domine edilmiş bütün etiketleri çıkar.

Devam et
her $t \in \text{komşular}(s)$ için yap
$g_t \leftarrow g_s + c(s,t)$ (s düğümünden komşuluğunda olan diğer düğümlere etiket oluştur) Eğer bu etiket domine edilmemiş bir etiket ise:
g_t etiketin g_s etiketini ata olarak ekle
Devam et
Eğer oluşan etiket domine edilmiş bir etiket ise etiketi yoksay ve sonraki komşuya geç
Aksi halde, bu yeni etiket tarafından domine edilmiş olan bütün etiketleri open ve closed kümelerinden çıkar ve bu etiketi Open kümesine ekle, bu etiketin atası olarak g_s etiketini ekle
SOL kümesini çözüm olarak sun

Kaynak: (Ulloa et al. 2020)

3.2.1.3 BOA*

Bu algoritma ise Ulloa et al (2020) tarafından geliştirilmiştir. Sadece 2 amaçlı olması durumunda çalışmaktadır. Ancak problemin boyutunu oldukça küçülttüğünden, çok hızlı sonuç vermektedir. Bu algoritmada NAMOA* algoritmasına göre yapılan geliştirme sayesinde problem neredeyse tek amaçlı bir en kısa yol algoritması seviyesine gelmiştir. Algoritma A* temelli olduğu için bir A* fonksiyonu kullanmaktadır, sezgisel olarak da aynen NAMOA*'ın kullandığı gibi ilgili düğümden sonuç düğümüne olan en kısa yol değerlerini sezgisel fonksiyon değeri olarak kullanmaktadır. Etiket kümesinin en küçük değerli etiketini seçmek için de aynen NAMOA* gibi yığın ağacı veri yapısını kullanmaktadır. Ancak herhangi bir etiketin domine edilip edilmediğinin kontrolü sırasında, ilgili düğüm için önceden oluşan bütün etiketleri kontrol etmek yerine, ilgili düğüm için başlangıçtan ilgili düğüme ikinci amaç açısından daha önceden ulaşılan en kısa mesafe değerini kontrol etmekle yetinmektedir (Ulloa et al 2020). Zira, etiketler seçilirken ilk amaç açısından en küçüğünden başlanarak ilerlenmektedir. Dolayısıyla, herhangi bir etiket daha önceden işlendiyse, mutlaka daha küçük ilk amaç değerine sahip olmalıdır. Bu durumda şu anda işlenen etiket, daha önceden ulaşılan en küçük ikinci amaç değerinden daha küçük değilse, zaten domine edilmiş bir etiket olacaktır. Bu sayede bütün etiketlerin ikinci amacı ile karşılaştırmak yerine, söz konusu etiket için daha önce ulaşılan en küçük ikinci amaç değeri ile karşılaştırılarak kontrol süresi sabitlenmektedir. Bu da algoritmayı çok hızlı hale getirmektedir.

BOA* algoritmasının sözde kodu aşağıda Tablo-7'de görüldüğü gibidir.

Tablo 7. BOA* algoritması sözde kodu

Girdi : Bir arama problemi ($S, E, c, S_{bas}, S_{bit}$) ve tutarlı bir h^* sezgisel fonksiyonu
Çıktı: Pareto optimal çözüm kümesi
$SOL \leftarrow \emptyset$
her $s \in S$ için yap
$g_2^{\min}(s) \leftarrow \infty$ (her düğümün g_2 değerini sonsuza eşitle)
Başlangıç düğümü için atamaları yap: etiket oluştur, c fonksiyon değerini sıfıra eşitle, ebeveyn kümesinde ebeveyn kümesini boş küme yap.
Open kümesini oluştur ve başlangıç düğümü için oluşturulan etiketi ekle
Open $\neq \emptyset$ sürece yap
Open kümesi içindeki alfabetik (lexicographic) olarak en küçük f^* değerine sahip etiketi al
Eğer ilgili etiketin g_2 değeri, o düğüm için oluşan en küçük g_2 değerinden büyükse ya da o etiketin f_2 değeri, o düğüm için oluşan en küçük g_2 değerinden büyükse bu etiketi atla, bir sonraki etikete geç
Değilse o düğüm için $g_2^{\min}(s)$ değerini bu etiketin g_2 değeri olarak yenile.
Eğer etiketin ulaştığı düğüm bitiş düğümü ise
Bu etiketi çözüm kümesine ekle ve bir sonraki etikete geç
her $t \in \text{komşular}(s)$ için yap
t için yeni etiket oluştur. Bu etiket için f ve g değerlerini hesapla. Eğer ilgili etiketin g_2 değeri, o düğüm için oluşan en küçük g_2 değerinden büyükse ya da o etiketin f_2 değeri, o düğüm için oluşan en küçük g_2 değerinden büyükse bu etiketi atla, bir sonraki etikete geç
Değilse ilgili etiketi Open kümesine ekle
SOL kümesini çözüm olarak sun

Kaynak: (Ulloa v.d. 2020)

3.2.2 Diğer Sezgiseller

Çalışmamızın 1'nci bölümünde de bahsedildiği üzere, literatürde temel olarak A* tabanlı algoritmalar çalışılmış olsa da damlacık algoritması ve genetik algoritma tabanlı çalışmalar da mevcuttur. Ancak bu çalışmaların A* tabanlı sezgisellere göre yavaş kaldığı çeşitli çalışmalarda gösterilmiştir. Bu nedenle bu çalışmada ki uygulamalarımızda A* tabanlı sezgisellere yer verilmiştir.

4. Uygulama

Çalışmamızın bu bölümü iki kısımdan oluşmaktadır. İlk kısımda önceki bölümde açıklanan yöntemlerden etiket düzeltme, NAMOA* ve BOA* algoritmaları çeşitli veri setleri kullanılarak karşılaştırılacaktır. İkinci kısımda ise literatürde yapılan benzer karşılaştırmalar ele alınacaktır.

4.1 Veri Setleri Kullanılarak Karşılaştırma:

Çalışmamızda temel olarak iki farklı kaynaktan alınan veri seti kullanılacaktır. İlk kaynak, Princeton Üniversitesine (Princeton) ait açık kaynaklarda yer alan 4 farklı büyüklükteki tek amaçlı en kısa yol verisi temel alınarak hazırlanan çeşitli haritalar kullanılacaktır. Söz konusu haritalar Sedgewick ve Wayne'in (2014) kitabında da kullanılan haritalardır. Princeton üniversitesi açık kaynaklarında bulunan haritalar tek amaçlı en kısa yol haritalarıdır. Bu haritalara python programlama dili kullanılarak rastgele (randomize) ikinci amaç ağırlıkları eklenmiştir. Söz konusu işlem sonucunda haritalarda yer alan iki farklı amacın çelişip çelişmediğinin kontrolü amacıyla iki amaca ilişkin ağırlık değerlerinin korelasyonları alınmıştır. Bu korelasyon değerleri aşağıda Tablo-8'de gösterilmektedir.

Tablo 8. Amaç değişkenleri korelasyon tablosu

Veri Adı	Amaçlar arası korelasyon değeri
mediumEWD	-0.4783
1000EWD	-0.4413
10000EWD	-0.3876
Rome	-0.1105

Diğer veri kaynağı ise, ABD Ayrık Matematik ve Teorik Bilgisayar Bilimleri Enstitüsünün düzenlediği, ABD gerçek karayolu verileri üzerinde en kısa yol algoritmalarına ilişkin olarak düzenlenmiş olan (Dimacs,2005) yarışmada kullanılan çeşitli eyalet veya bölge haritalarıdır. Dimacs haritalarında ise Amerikan Nüfus İdaresi (Census Bureau) verileri esas alındığı için iki amaç (mesafe ve yolculuk süresi) de hazır olarak yer almaktadır. Bu haritalarda iki amaç, tek bir dosyada birleştirilmiştir.

Aşağıda yer alan Tablo 9'da çalışmamızda kullanılacak olan haritalardaki düğüm ve kenar sayıları yer almaktadır. Ayrıca kenar sayısının düğüm sayısına oranı da ortalama bir yoğunluk ölçütü olarak tabloya eklenmiştir.

Tablo 9. Çalışmada kullanılan haritalar

Veri Adı	Düğüm Sayısı	Kenar Sayısı	Kenar Sayısı/ Düğüm Sayısı
mediumEWD	250	2.546	10,18
1000EWD	1.000	16.866	16,87
10000EWD	10.000	123.462	12,35
Rome	3.353	8.870	2,65
Dimacs NewYork	264.346	733.846	2,78
Dimacs Bay Area	321.270	800.172	2,49
Dimacs Colorado	435.666	1.075.066	2,47
Dimacs Florida	1.070.376	2.712.798	2,53
Dimacs N.West US	1.207.945	2.840.208	2,35
Dimacs N.East US	1.524.453	3.897.636	2,56

Uygulamamızda, kesin algoritmaların en hızlısı olan etiket düzeltme algoritması kullanılmıştır. Sezgisellerden ise literatürde en çok çalışılan sınıf olan A* algoritmalarından ikisi (NAMOA* ve BOA*) kullanılmıştır. Böylece literatürde yer alan sezgiseller ile kesin yöntemlerin karşılaştırılması sağlanmış, hem süre karşılaştırması yapılmış hem de çözüm kümesinin tamamına ulaşıp ulaşılamadığı kontrol edilmiştir.

Uygulamada verilerin seçiminde yığın ağacı veri yapısı kullanılmış, Intel i7-6700HQ 2.6 GHz işlemci, 16 GB Ram'e sahip bilgisayarlardan oluşan bir bilgisayar laboratuvarında aynı anda çalıştırılmıştır. Programlar Phyton programlama dili ile yazılmış, zaman ölçümleri, program tarafından otomatik olarak yapılmış ve çıktı dosyasına eklenmiştir.

Bu uygulama sonucunda, uygulamasını yapmış olduğumuz haritalar için elde ettiğimiz sonuçlar Tablo 10'da yer almaktadır. Tabloda her bir algoritma türü ve harita için çözüm süresi ile çözüm kümesi büyüklüğü yer almaktadır. Kesin çözüm algoritmalarının bu çözümlerin tamamına ulaşması beklenmektedir. Sezgisellerde ise kullanılan A*

sezgisel fonksiyonu, A* algoritmalarında “tutarlı” olarak belirtilen özellikleri taşıdığı için, bütün çözüm kümesinin bulunması beklenmektedir. Çözüm kümesi büyüklüğü sütununda işte bu çözüm kümesinde yer alan çözümlerin sayısı yer almaktadır. Aşağıda Tablo-10’dan da görülebileceği üzere, kesin yöntem olan etiket düzeltme yönteminde ulaşılan etiket adedine (domine edilmemiş çözüm sayısı) kadar diğer yöntemlerde de ulaşılmıştır.

Çözüm süresi olarak bir algoritmanın 70 saate kadar çalışmasına izin verilmiş, algoritmanın çözememesi durumunda, program durdurulmuş ve tablodaki ilgili yere not düşülmüştür.

Tablo 10. Çözüm özet tablosu

Harita Adı	Etiket Düzeltme		NAMOA*		BOA*	
	Süre	Çözüm Kümesi Büyüklüğü	Süre	Çözüm Kümesi Büyüklüğü	Süre	Çözüm Kümesi Büyüklüğü
mediumEWD	5.5 sn	19 etiket	0.4 sn	19 etiket	0.1 sn	19 etiket
1000EWD	3.990 sn	15 etiket	9.2 sn	15 etiket	0.4 sn	15 etiket
10000EWD	-	-	1.970 sn	311 etiket	65 sn	311 etiket
Rome	40 sn	27 etiket	1.5 sn	27 etiket	0.3 sn	27 etiket
Dimacs NewYork	-	-	127.000 sn	157 etiket	38 sn	157 etiket
Dimacs Bay Area	-	-	7.800 sn	58 etiket	19 sn	58 etiket
Dimacs Colorado	-	-	-	-	75 sn	166 etiket
Dimacs Florida	-	-	-	-	157 sn	63 etiket
Dimacs N.West US	-	-	-	-	5.500 sn	95 etiket
Dimacs N.East US	-	-	-	-	56.000 sn	677 etiket

-: 70 saatlik çalışmanın sonunda sonuca ulaşılamadığı için program kesilmiştir.

Yukarıdaki Tablo 10 sonuçlarından görülebileceği üzere, yöntemlerin tamamı çözüm buldukları haritalarda aynı sayıda etiket sayısına ulaşmıştır. Bu çözüm kümesinin tamamına ulaşıldığını göstermektedir. Süre açısından BOA* algoritması diğer iki yonteme göre her durumda daha hızlı çözüm elde etmiştir. NAMOA* algoritması ise her durumda etiket düzeltme algoritmasına göre hızlı çözüm elde etmiştir. Ancak BOA* algoritmasına göre, harita büyüdükçe yavaş kalmıştır. Bu bilgiler kapsamında iki amaçlı en kısa yol problemlerinde BOA* algoritmasının kullanılmasının uygun olduğu düşünülmektedir. Öte yandan amaç sayısı ikiden fazla olduğunda BOA* algoritması da kullanılamayacağı için, NAMOA* algoritmasının kullanılması uygun olacaktır.

Çözüm süreleri irdelendiğinde, kenar ve düğüm sayısı ile birlikte sürelerin arttığı görülmektedir. Ancak bazı haritalarda düğüm ve kenar sayıları daha az olmasına rağmen çözüm sürelerinin yüksek olduğu görülmektedir. Örneğin BOA* algoritması 10000EWD haritasını, NY haritasına ve Bay Area haritasına göre daha yavaş çözmüştür. Öte yandan hem NAMOA* hem BOA* algoritmaları Bay Area haritasını NY haritasına göre daha hızlı çözmüştür. Buradan çözüm sürelerinin sadece kenar/düğüm sayılarına göre değil aynı zamanda haritaların yapısına göre de değiştiği söylenebilir. Haritaların yapısı, karmaşıklığı ve bunun çözüm süresine etkisi ileride yapılacak çalışmalar için araştırma konusu olabilecektir.

Bu çalışmamızda çalışılan modellerde çift amaçlı en kısa yol problemlerinde en çok kullanılan en küçük toplam-en küçük toplam türü çözüm yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemlerde iki amacın de en düşük değeri hedeflenmektedir. Bunun haricinde en küçük toplam-limit değer, ve en küçük toplam-en küçük azami değer türü problemler de mevcuttur. Ancak bu türlere ilişkin olarak bildiğimiz kadarıyla geliştirilmiş bir sezgisel mevcut değildir. Yani yukarıda anlatılan yöntemler ve yapılan uygulama, iki amaçlı en kısa yol problemlerinin en geneli için yapılmıştır. Öte yandan problemin daha özel durumları için de sezgiseller geliştirilebileceği gibi yukarıda sözü edilen sezgisellerin bu durumlara uyarlanması da ilerleyen çalışmalara konu olabilecektir.

4.2 Diğer Çalışmalarda Yapılan Uygulamalarla Karşılaştırma:

4.2.1 (Ulloa v.d., 2020) çalışması

Bu çalışma BOA* algoritmasının geliştirildiği makaledir. Bu makalede yapılan çalışmada iki ve çok amaçlı sezgisel metotlar karşılaştırılmıştır. Çalışmamızda kullandığımız BOA* ve NAMOA* algoritmaları söz konusu çalışmada karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sırasında, çalışmamızda kullanılan Dimacs NY, Dimacs Bay Area, Dimacs Colorado ve Dimacs Florida haritaları kullanılmıştır. Söz konusu çalışmada, bu çalışmaya benzer şekilde BOA* algoritmasının, NAMOA* algoritmasına göre çok daha hızlı çözüm bulduğu tespit edilmiştir.

4.2.2 (Pulido v.d., 2015) çalışması

Bu çalışmada NAMOA* algoritmasını geliştiren yazarlar tarafından, NAMOA* algoritmasından türetilen NAMOA* DR algoritması geliştirilmiştir. Bu çalışmada NAMOA* ve NAMOA* DR algoritmaları çalışmamızda kullanılan Dimacs NY haritası kullanılarak karşılaştırılmıştır. Çalışmamızda kullanılan benzer bir bilgisayar kullanılarak yapılan karşılaştırmada, NAMOA* algoritması, çalışmamıza elde edilen sürelerle yakın sürelerde

sonuçlar vermiştir. Bu çalışmada kullanılan boyut küçültme (DR) metodolojisinin ileride yapılacak çalışmalarda kullanılması mümkündür.

4.2.3 (Skriver, 1999) çalışması

Bu çalışma nispeten eski bir çalışmadır. Çalışmanın önemi ise kesin yöntemler içinde en hızlı olan etiket düzeltme yönteminin geliştirilmesidir. Bu çalışmada 100 ila 500 düğümlü haritalar kullanılmıştır. Çalışmanın yapıldığı dönemdeki bilgisayar imkanları değerlendirildiğinde, çalışmada elde edilen sürelerin makul olduğu görülecektir. Çalışmanın önemi ise bu çalışmamızda kullanılan kesin yöntemin belirlenmesinde kendisini göstermektedir. Zira etiket düzeltme yönteminin en hızlı kesin yöntem olduğu bu çalışma ile ortaya konulmaktadır.

4.2.4 BOA* üzerine yapılan çalışmalar (Ahmadi, Guido, Harabor, Philip, 2021), (Goldin ve Salzman, 2021):

Bu çalışmalar BOA* algoritması üzerinde minör geliştirmeler yapmak üzere hazırlanmıştır. Bu çalışmalarda yine DIMACS haritaları kullanılmıştır. Süreler olarak BOA* algoritmasına benzer sürelerle ulaşılmıştır. Bu çalışmalarda BOA* algoritmasında geliştirilme yapılması hedeflendiği için sadece iki amaçlı çalışmalar yapılmış ve karşılaştırmalar sadece BOA* ile yapılmıştır.

4.2.5 Diğer çalışmaların özetlenmesi:

Yukarıda sözü edilen çalışmaların kısa bir özeti Tablo-11'de yer almaktadır. Skriver'in (1999) çalışması ise günümüzle karşılaştırınca çok zayıf kapasiteli bir bilgisayar üzerinde yapıldığı ve kullandığı haritalar diğer çalışmalarda kullanılan haritalara göre çok küçük kaldığı için bu tabloya alınmamıştır. Tablo-11 incelendiğinde, çalışmamızda ulaşılan sonuca benzer sonuçlara ulaşıldığı görülmektedir. Buna göre, BOA* yöntemi ve bu yöntemi baz alan yöntemler, iki amaçlı en kısa yol problemlerinde en hızlı çözümleri üretmektedirler. İki amaçlı en kısa yol probleminde BOA*'a göre yavaş kalan NAMOA* yöntemi ise ikiden çok amaçlı en kısa yol problemlerinde en iyi sonuçları üretmektedir. Keza düğüm ve kenar sayıları arttıkça sürelerin arttığı da görülmektedir.

Bütün çalışmaların sonuçlarını bir arada ortaya koyan bir tablonun oluşması önem arz etmektedir. Ancak sonuçların dikkatle incelenmesi gerekmektedir. Zira, her yıl kullanılan bilgisayarların kapasiteleri ve hızları artmaktadır. Bu ise çalışmamız gibi karşılaştırmalı çalışmaların önemini artırmaktadır, çünkü farklı yöntemler, aynı haritalar üzerinde, aynı bilgisayarlar kullanılarak karşılaştırılmaktadır. Öte yandan çalışmamızda yer alan süreler ile özellikle 2020 ve 2021'de yapılan çalışmaların süreleri karşılaştırıldığında, çalışmamızdaki sürelerin oldukça yavaş çıktığı görülmektedir. Bunun iki nedeni bulunmaktadır. Birincisi kullanılan bilgisayarlara ilişkindir. Sözü geçen çalışmalarda kullanılan bilgisayarlar Intel XEON işlemcili ve 128 GB RAM'e sahip serverlardır. Çalışmamızda kullanılan bilgisayarlar ise Intel i7 işlemcili ve 16 GB RAM'e sahip PC'lerdir. İkinci nedeni ise kullanılan programlama dilidir. Sözü geçen çalışmalarda C programlama dili kullanılmıştır. Çalışmamızda ise, gelecekte yapılması planlan geliştirmeler göz önüne alınarak da, Python programlama dili kullanılmıştır. Bu iki nedenle, çalışmamızda yer alan süreler, diğer çalışmalara göre daha uzundur.

Tablo 11. Diğer çalışmalar karşılaştırma özet tablosu

Harita	Dimacs NY	Dimacs Bay Area	Dimacs Colorado	Dimacs Florida	Dimacs NE
Ulloa et al (2020) BOA*	0.32 sn	0.29 sn	0.79 sn	4.59 sn	-
Ulloa et al (2020) NAMOA*	152.17 sn	58.87 sn	476.26 sn	812.48 sn	-
Pulido et al. (2015) NAMOA*	21.957 sn	-	-	-	-
Ahmadi et al (2021) BOA*	0.12 sn	0.19sn	0.54 sn	2.05 sn	4.79sn
Ahmadi et al (2021) BOBA*	0.08 sn	0.13 sn	0.34 sn	1.31 sn	3.41 sn
Goldin ve Salzman (2021) BOA*	0.17 sn	-	-	-	25.8 sn
Goldin ve Salzman (2021) P-PA*	0.07 sn	-	-	-	1.3s

Yukarıda sözü edilen çalışmalar dikkate alındığında karşılaştırmamızda kullanılan NAMOA*, BOA* ve etiket düzeltme yöntemlerinin seçiminin doğru olduğu ortaya çıkmaktadır. Zira 2000'li yılların başına kadar geliştirilen kesin yöntemler içinde en hızlısının etiket düzeltme olduğu belirlenmiştir. Çok amaçlı yöntemler içinde NAMOA*, literatürde en çok karşılaştırma amacıyla kullanılan yöntemdir. Bu nedenle bu yöntem de karşılaştırmaya alınmıştır. Son olarak BOA* ve bu yöntemi esas alan yöntemler, bildiğimiz kadarıyla, çift amaçlı en kısa yol problemini en hızlı çözen yöntemdir. Bu nedenle de bu yöntem diğer yöntemler ile karşılaştırmaya alınmıştır.

5. Sonuç

Bu çalışmamızda, iki amaçlı en kısa yol problemi ve literatürde bu problemin çözümü için geliştirilmiş olan yöntemler incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Literatürde 1980'lerden beri geliştirilen birçok yöntem mevcuttur. Bu yöntemler kesin yöntemler ve sezgiseller olarak ikiye ayrılmaktadır. Çalışmamızda bu yöntemlerin en çok kullanılanları açıklanmıştır. Bu bağlamda problemi çalışacak olan araştırmacılar için bir başvuru kaynağı olmaktadır. Bildiğimiz kadarıyla da hem sezgiselleri hem de kesin yöntemleri bu ayrıntıda anlatan başka bir çalışma bulunmamaktadır.

Yukarıda da bahsettiğimiz üzere, iki amaçlı en kısa yol probleminin çözümünde birçok yöntem kullanılmıştır. Çalışmamızda açıklanan bu yöntemlerden üç tanesi çeşitli boyutlarda haritalar kullanılarak uygulama yapılmıştır. Seçilen yöntemlerden ilki kesin yöntemlerin en hızlısı olan etiket düzeltme yöntemidir. Bu yöntem ile Pareto optimal çözümlerin tamamı elde edilebilmektedir. Ancak bu yöntem harita boyutları büyüdükçe yavaş kalmaktadır. Kullandığımız ikinci yöntem 2010 yılında geliştirilen NAMOA* yöntemidir. Bu yöntem A* tabanlı bir sezgiseldir. Bu yöntem iki veya daha fazla amaçta çalışmaktadır. Bu nedenle sadece çift amaca mahsus değildir. Etiket düzeltmeye göre daha hızlı çalışan bu yöntem, 2020 yılında geliştirilen ve sadece iki amaçta kullanılan BOA* yöntemine göre oldukça yavaş kalmaktadır. BOA* yöntemi ise şu anda sadece iki amaca uygun olarak geliştirilmiştir. Çalışmamızda bu yöntemler, literatürde sıklıkla kullanılan veri setleri ile test edilmiştir. Bu anlamda çalışmamız, kesin yöntemler ile sezgisel yöntemleri karşılaştıran bir çalışma olmuştur. Çalışmamızda yer verdiğimiz diğer çalışmalarda ise daha çok kesin yöntemleri kendi içinde, sezgisel yöntemleri kendi içlerinde değerlendirilmişlerdir.

Sonuç olarak karşılaştırmayı yaptığımız yöntemlerden NAMOA* algoritmasının ikiden çok amaçlı problemlerde, BOA* algoritmasının ise iki amaçlı problemlerde kullanılmasının doğru olduğu değerlendirilmektedir.

Çalışmamızda, yöntemlerin çözüm sürelerinin kenar ve düğüm sayıları arttıkça arttığı fakat sadece bu amaçlara bağlı olmadığı görülmüştür. Çalışmamızda yapılmış olan uygulamada, kenar/düğüm oranı büyüdükçe, çözüm süresinin de değiştiği görülmüştür. Ancak buna ilişkin kesin bir kaniya varabilmek için başka uygulamalara da ihtiyaç duyulmakta ve ilerleyen çalışmalarda daha farklı amaçların de bulunabileceği düşünülmektedir. Gelecekteki çalışmalara ilişkin ortaya çıkan başka bir öneri ise çözüm yöntemlerinin en küçük toplam-en küçük azami değer veya en küçük azami değer-en küçük azami değer tarzı problemlere uyumlaştırılmasıdır.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada Hakan Gürsoy, literatür taraması yapılması, kaynaklar üzerinden ikincil verilerin toplanması ve uygulama için hazırlanması, program kodlarının yazılıp çalıştırılması, verilerin özetlenmesi ve makalenin taslağının yazılması, Ekrem Duman, bilimsel yayın araştırmasının yeterliliğinin incelenmesi, yöntem ve uygulamanın incelenmesi, detaylı makale incelemesi ve yazıma ilişkin yönlendirme konularında katkı sağlamışlardır

Çıkar Çatışması

Bu makalenin yazarları arasında herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. Çalışmada yayın etiğine ilişkin kurallara uyulmuştur.

Kaynaklar

- Akçayol, M. A. , S. Toklu. “Genetic algorithm based a new algorithm for time dynamic shortest path problem.” *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, December 2011. (<https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/76015>)
- Ahmadi, Saman , Tack Guido ; Harabor, Daniel ; Kilby, Philip, “Bi-Objective Search with Bi-Directional A*”, *29th Annual European Symposium on Algorithms*, 2021. (<https://drops.dagstuhl.de/opus/volltexte/2021/14584/pdf/LIPIcs-ESA-2021-3.pdf>)
- Ahuja, R.K. T. L., Magnanti , J. B. Orlin. *Network Flows: MIT Working Paper No: 2059-88*, Prentice Hall, 1988. Doi : <https://doi.org/10.1137/1037020>
- Arslan, H. , M. Manguoğlu. “A hybrid single-source shortest path algorithm”, *Turkish Journal of Electric Engineering and Computer Sciences*, 2019 doi:10.3906/elk-1901-23
- Bellman, E. “On a Routing Problem”, *Appl. Math.*, Vol 16, 87–90, 1958. (<https://www.jstor.org/stable/43634538>)
- Brumbaugh-Smith, J Shier D. “An empirical investigation of some bicriterion-shortest path algorithms”. *European Journal of Operational Research*, 1989, [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(89\)90215-4](https://doi.org/10.1016/0377-2217(89)90215-4)
- Cheikh, Mohamed , Jarbouï Bassem , Loukil Taicir. “A genetic algorithms to solve the bicriteria shortest path problem”, *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 2010., <https://doi.org/10.1016/j.endm.2010.05.108>
- Climaco, J.C.N. , E.Q.V. Martins. “A bicriterion shortest path algorithm” *European Journal of Operational Research*, 1982, [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(82\)90205-3](https://doi.org/10.1016/0377-2217(82)90205-3)
- Dantzig, G.B., “On the Shortest Route Through a Network”, *Management Science*, 187–190, 1960.
- Dijkstra, E.W., “A Note on Two Problems in Connection with Graphs”, *Numerische Mathematik*, Vol 1, 269–271, 1959, <https://doi.org/10.1007/BF01386390>
- Ehrgott, M. *Multicriteria Optimization* 2nd edition, Springer , 2005, <https://link.springer.com/book/10.1007/3-540-27659-9>
- Erhan Erkut, Vedat Verter, “Modeling of Transport Risk for Hazardous Materials”. *Operations Research* 46(5):625-642., 1998 <https://doi.org/10.1287/opre.46.5.625>
- Floyd, R.W. “Algorithm 97: Shortest Path”, *Communications of the ACM* 5, 1962, <https://doi.org/10.1145/367766.368168>
- Ford, L.R. Jr. “Network Flow Theory, Paper P-923”, *The RAND Corporation*, Santa Monica, California, 1956.
- Hansen, P. “Bicriterion Path Problems”, *Multiple Criteria Decision Making Theory*. e Springer- Verlag, Berlin 1980., DOI: 10.1007/978-3-642-48782-8_9
- Hart, P. E., N.J. Nilsson, B. Raphael. "A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost, Paths". *IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics*, 1968. <https://doi.org/10.1109/TSSC.1968.300136>
- Mandow, L. , J.L. Pérez de la Cruz “Multiobjective A* search with consistent heuristics.” *Journal of the ACM* 57 (5), 2010, <https://doi.org/10.1145/1754399.1754400>
- Mandow L., Pulido, F.J. , J. L. Perez-de-la-Cruz. “Dimensionality reduction in multiobjective shortest path search” *Computers , Operations Research* 64:60–70. , 2015, <https://doi.org/10.1016/j.cor.2015.05.007>
- Mandow L., Pulido, F.J. , J.L.Perez-de-la-Cruz. “Multiobjective shortest path problems with lexicographic goal-based preferences”. *European Journal of Operational Research* 239, 2014, <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.05.008>

- Martins, E.Q.V., On a “Multicriteria Shortest Path Problem”, *European Journal of Operational Research*, 1984., [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(84\)90077-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(84)90077-8)
- Murthy, J. I. Mote , D.L. Olson. “A parametric approach to solving bicriterion shortest path problems”, *European Journal of Operations Research* 53, 1991,
- Raith, Andrea, Matthias Ehrgott. “A comparison of solution strategies for biobjective shortest path problems”, *Computers , Operations Research* 36, 2009, <https://doi.org/10.1016/j.cor.2008.02.002>
- Schrijver A. “On the History of the Shortest Path Problem”, *Documenta Mathematica*, 2012.
- Sedgewick, Robert , K. Wayne. *Algorithms*, Addison Wesley Publishing, 2014.
- Serafini, P. (1986). “Some considerations about computational complexity for multi objective combinatorial problems.” *Recent advances and historical development of vector optimization, volume Bibliograph of Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, Springer Verlag, Berlin.
- Shi, Ning , Shaorui Zhou , Fan Wang , Yi Tao , Liming Liu. “The multi-criteria constrained shortest path problem”, *Transportation Research Part E*, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.tre.2017.02.002>
- Skriver, A. “A Classification of Bicriterion Shortest Path Algorithms”, *Asia Pasific Journal of Operational Research* , 2000a.
- Skriver, A. , K. A. Andersen, “A Label Correction approach for solving bicriterion shortest-path problems”, *Computers , Operations Research*, 2000b, [https://doi.org/10.1016/S0305-0548\(99\)00037-4](https://doi.org/10.1016/S0305-0548(99)00037-4)
- Stewart, B.S. , C.C. White. “Multiobjective A*”. *Journal of the ACM* 38 (4), 1991, <https://doi.org/10.1145/115234.115368>
- Tung, CT, K.L. KL. “A bicriterion Pareto-optimal path algorithm”. *Asia-Pacific Journal of Operations Research*, 1988, <https://doi.org/10.1016/0377-2217%2892%2990248-8>
- Ulloa, C.H. , W. Yeohz , J. Baier , H. Zhang , L. Suazo , S. Koenig. “A Simple and Fast Bi-Objective Search Algorithm”, *Association for the Advancement of Artificial Intelligence*, 2020, <https://doi.org/10.1609/icaps.v30i1.6655>
- Xiao-Bing, Hu , Chi Zhang Gong , Peng Zhang Ming , Kong Zhang , Hang Li , Mark S. Leeson, Jian-Qin Liao. “Finding the k shortest paths by ripple-spreading algorithms Finding the k shortest paths by ripple-spreading algorithms”, *Artificial Intelligence*, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2019.08.023>
- Yen, Jin Y., “Finding the K Shortest Loopless Paths in a Network”, *Management Science*, 1971
https://en.wikipedia.org/wiki/Yen%27s_algorithm (erişim tarihi: 18.06.2021)
- Shortest Path Data, Princeton University, “ <https://algs4.cs.princeton.edu/44sp/>” (Erişim tarihi: 18.06.2021)
- Dimacs (2005), Center for Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science, “<http://www.diag.uniroma1.it/~challenge9/download.shtml>” (Erişim tarihi: 18.06.2021)



Journal of Turkish Operations Management

İnsan hata yapma olasılığına dayanan yeni bir risk değerlendirme yöntemi: SPC-HEART

S. Cihan Köseoğlu^{1*}, Elif Kılıç Delice²

¹Otomotiv Teknoloji Programı, Meslek Yüksekokulu, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Erzincan
e-mail:skoseoglu@erzincan.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0001-5982-4168>

²Endüstri Mühendisliği A.B.D., Mühendislik Fakültesi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum

e-mail:elif.kdelice@atauni.edu.tr ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-3051-0496>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 15.11.2022

Revize: 03.12.2022

Kabul: 06.12.2022

Anahtar Kelimeler:

İnsan Hatası
HEART
SWARA
PCA
Risk değerlendirme

Özet

İnsan hatasını dikkate alarak insan güvenilirliği analizi yapmak risk değerlendirmesi için kritik öneme sahip bir konudur. İnsan Hatası Değerlendirme ve Azaltma Tekniği (Human Error Assessment and Reduction Technique-HEART); üretim, enerji, taşımacılık, sağlık vb. gibi birçok farklı alanda uygulaması bulunan bir İnsan Güvenilirlik Analizi yöntemidir. Bu yöntemde, görev bazında kişilerin hata yapma olasılıklarının tespiti çok önemlidir. Kaza nedenlerinin ve insan hata eğilimlerinin incelenmesi görevlere özgü hata üreten koşulların değerlerine bağlı olarak yapılmaktadır. Bununla birlikte; hata yapma potansiyeli, çalışanların yerine getirdikleri görevlere, çalışma ortamına, iş yüklerine ve iş koşullarına da bağlıdır. Ayrıca her çalışanın görev bazında hata yapma olasılığı kişinin fiziksel ve zihinsel özellikleri bakımından farklılık göstermektedir. Bu çalışmanın amacı zihinsel ve fiziksel faktörlerin etkisini dikkate alarak hata üreten koşulların etkisinin belirlenerek hata analizi yapan ve iş uyumu açısından karar veren metodolojik bir çerçeve sunmaktır. Bu çalışmada, kişi bazında her bir görev için hata yapma olasılıklarına bağlı olarak risk değerlendirilmesi için Adım Adım Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi (Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis-SWARA) ve Temel Bileşen Analizi (Principal Component Analysis-PCA) tabanlı yeni bir HEART yöntemi olan SPC-HEART yöntemi önerilmiştir. Her bir çalışan için görev bazında hata potansiyellerini hesaplayan proaktif bir risk önleme yöntemidir. Önerilen yöntemin etkinliği hemşireler üzerinde yapılan bir gerçek hayat uygulaması ile gösterilmiştir.

A new risk assessment method based on the probability of human error: SPC-HEART

Article Info

Article History:

Received: 15.11.2022

Revised: 03.12.2022

Accepted: 06.12.2022

Keywords:

Human Error
HEART
SWARA
PCA
Risk evaluation

Abstract

Performing human reliability analysis taking into account human error is a critical issue for risk assessment. Human Error Assessment and Reduction Technique (HEART); production, energy, transportation, health, etc. It is a Human Reliability Analysis method that has applications in many different fields such as. In this method, it is very important to determine the probability of making mistakes on a task basis. Examination of accident causes and human error trends is based on the values of mission-specific error-producing conditions. The probability of error also depends on the tasks performed by the employees, the work environment, workloads, and working conditions. In addition, the probability of each employee making a mistake on a task basis differs according to the physical and mental characteristics of the person. The aim of this study is to present a methodological framework that makes error analysis and decides in terms of work compliance by determining the effect of error-producing conditions, taking into account the effect of mental and physical factors. In this study, a new HEART method based on Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA) and Principal Component Analysis (PCA) for risk assessment depends on the probability of making mistakes for each task on an individual basis. The SPC-HEART method is recommended. It is a proactive risk prevention method that calculates error potentials for each employee on a per-task basis. The effectiveness of the proposed method has been demonstrated by a real-life practice on nurses.

1.Giriş

Üretim ve hizmet sektöründe yer alan farklı iş kollarında sıklıkla çalışanların hatalarına bağlı olarak işyeri kaza ve yaralanmaları ile karşılaşmaktadır. Ayrıca, bu kaza veya yaralanmalara neden olan olumsuz etkilerin ciddiyeti veya risklerinin ortaya çıkma olasılığı, özellikle tehlikeli malzeme veya ürünlerle uğraşan sektörler ya da risk seviyesi yüksek hizmet sektörü çalışanları için çok daha yüksek olabilir (Yılmaz Kaya, 2022). Bu kaza ve yaralanmaların bir kısmı aşırı iş yükünden, kötü çalışma ortamlarından ve yürütülen süreçlerden kaynaklanmaktadır. Ayrıca hataların kökeninde psikolojik, fiziksel ve çevresel etmenler yer almaktadır. Dikkat dağınıklığı, yorgunluk, hızlı iş temposu, fiziksel engeller ve hastalıklar gibi birçok bileşen, bireylerin hata yapma olasılığını etkiler. Bu olasılıklar çalışanın yerine getirdiği farklı görevler için farklı değerler alırken; aynı görev için çalışma ortamı, fiziksel ve zihinsel iş yükü faktörlerinden dolayı farklı değerler alabilirler.

Literatürde bazı durumlarda insan hata yapma olasılığının da dikkate alındığı birçok İnsan Güvenilirlik Analizi (Human Reability Analysis-HRA) yöntemi mevcuttur ve bu yöntemlerin hata tanımlama, hata niceleme ve hata azaltma olmak üzere üç temel amacı vardır. Bu yöntemlerden biri olan ve birçok sektörde kullanılan İnsan Hatası Değerlendirme ve Azaltma Tekniği (Human Error Assessment and Reduction Technique -HEART), görevlere özgü olarak tespit edilen Hata Üreten Koşul (Error Producing Condition- EPC) ve Genel Görev Tipi (Generic Task Type -GTT) değerine bağlı olarak İnsan Hatası Olasılığı (Human Error Probability-HEP) değerini belirleyen ve kullanım alanı oldukça geniş olan bir yöntemdir. Belirlenen HEP değerleri, karar vericiler tarafından karmaşık sistemlerin çeşitli iş süreçlerinde kullanılmaktadır (Williams, 1988).

HEART yönteminde; GTT, EPC ve Değerlendirilen Etki Oranı (Assessed Proportion of Affect-APOA) belirlenmesi için uzmanlar tarafından yapılan değerlendirmelere bağlı olarak ortaya çıkan HEP değeri subjektif bir değer olup başka uzmanların değerlendirmesi sonucu farklı çıkabilir. HEP değerinin doğru belirlenmesi uzman bilgi ve tecrübesine bağlıdır. Özellikle APOA değeri belirlenirken belirli bir değerlendirme skalası kullanılmamakta ve uzmanın 0 ile 1 arası herhangi bir değer atanması istenmektedir. EPC değerlerinin genel olarak göreve ait hata olasılığına olan etkisi hakkında uzmanların sahip olduğu düşünce APOA olarak kabul edilmektedir. APOA değeri tamamen subjektif olarak belirlenen ve hatalı çıkma olasılığı yüksek olan bir değerdir.

Literatürde, HEART yöntemi risk değerlendirme ve karşılaştırmalı analiz çalışmalarında APOA değerinin farklı yöntemlerle elde edilmesi, klasik HEART uygulaması ve GTT'lerin sektörler göre özelleştirilerek uygulanması durumlarında kullanılmıştır. Bunun yanı sıra, görevlere ait HEP değerlerinin belirlenmesi için APOA değerinin bilimsel yöntem ve teknikler ile elde edildiği çalışmalara rastlanmaktadır. Akyüz ve Çelik, (2016) yaptıkları çalışmada denizcilik sektörüne özgü olan Deniz İnsan Güvenilirliği Analizi (Maritime Human Reliability Analysis -MAHRA) tekniğinde Saaty nin 1-9 dilsel ölçeğini, EPC değerleri ile gösterdiği uyuma bağlı olarak karşılaştırma matrisine yerleştirmiş; ardından Analitik Hiyerarşi Süreci (Analytic Hierarchy Process -AHP) ile üçgenel bulanık sayıları birlikte kullanarak APOA değerlerini elde etmiş ve kullanıcı ara yüzü geliştirmiştir. Kumar vd. (2017) tarafından LPG yakıt ikmal istasyonunda insan hatası olasılıklarının ölçülmesi için yaptıkları çalışmada istasyona ait işlem bölgelerine ve belirlenen görevlere özgü ayrı ayrı yöntemler ve operasyonel işlemler için ayrı yöntemler kullanılarak insan hata değerlendirmeleri yapılmıştır. Dilsel değişkenler için bulanık mantık teorisini uygulanarak APOA değerleri elde edilmiştir. HEART yöntemi sonuçları ile Kavramsal Güvenilirlik ve Hata Analiz Yöntemi (Cognitive Reliability and Error Analysis Method-CREAM) yöntemi sonuçları kıyaslanarak önem sıralamaları oluşturulmuştur.

Wang vd. (2018) demiryolu sistemlerinde yapılan bir çalışmada Demiryolu Eylem Güvenilirlik Değerlendirmesi (Railway Action Reliability Assessment-RARA) tekniğinden kullanılan EPC ağırlıklarını, Bulanık Analitik Ağ Süreci (Fuzzy Analytic Network Process-FANP) yönteminden elde ederek uzman görüşüne olan bağımlılık azaltılmıştır. EPC arası ilişkilere bağlı olarak daha objektif sonuçlar elde edilmiştir. Zhou vd. (2019) tarafından lokomotif sürüş sürecinin incelendiği çalışmada Dempster-Shafer Kanıt teorisi kullanılarak APOA elde edilmiş ve böylece HEP değerleri elde edilmiştir. Monte Carlo simülasyonu tabanlı hata ağacı analizi ile yöntem güvenilirliği artırılmıştır. Kandemir ve Çelik (2021) gemi yardımcı makinelerinin bakım onarım süreçlerinin iyileştirilmesi çalışmalarında kural tabanlı olarak insan hatalarının incelenmesi amacıyla yapılan çalışmada GTT değerleri, denizcilik sektöründe yaygın olarak kullanılan Gemi Operasyonlarında İnsan Güvenilirliği Analizi (Shipboard Operations Human Reliability Analysis- SOHRA) gibi teknikleri kullanılarak güncellenmiştir. Böylece sektöre özgü hale getirilmiş hibrit bir HEART uygulaması gerçekleştirmiş ve daha güvenilir sonuçlar üreten insan güvenilirliği değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Aliabadi (2021), APOA değerleri belirlenirken uzman görüşünden kaynaklanan belirsizliği gidermek amacıyla APOA değerlerinin hesaplanması sırasında Sezgisel bulanık küme yönteminden yararlanmıştır. Benzerlik Kümeleme Yöntemi (Similarity Aggregation Method-SAM)) yaklaşımı kullanılarak atanan seçeneklerin tek bir sayıya entegre edilmesi sağlanarak durulaştırma sürecine geçilmiştir. Klasik bir bulanık kümeden daha fazla bulanık bilgiyi temsil etme avantajlarından dolayı Sezgisel Bulanık yöntemi tercih edilmiştir ve önerilen entegre yaklaşımı doğrulamak amacıyla duyarlılık analizi yapılmıştır. Literatürde yer alan çalışmalarda görevlere ilişkin genel değerlendirme oranlarını ortaya koyan

sonuçlar üretilmiştir. Görevlerin belirlenmesinde Hiyerarşik Görev Analizi (Torres vd., 2021), Hata Ağacı Analizi (Castiglia ve Giardina, 2013), anket (Zhou vd., 2019) ve Pareto (Kurata vd., 2015) yöntemleri tercih edilmiştir. APOA değerlerinin elde edilmesi aşamasında daha objektif sonuçlar elde etmek amacıyla çeşitli bulanık mantık uygulamaları (Wang vd., 2018) ve Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) teknikleri (Akyüz vd., 2016) tercih edilerek hesaplamalar yapılmıştır.

Bu çalışmada literatürden farklı olarak kişiye özgü bir proaktif risk değerlendirme metodu olarak SWARA ve PCA tabanlı HEART metodu yani SPC-HEART metodu önerilmiştir. Çünkü performans ve hata yapma olasılığını; fiziksel ve zihinsel iş yükü faktörlerinin etkileşimi olumlu ve olumsuz yönde etkilemektedir. İş içeriğine, gerçekleştirilen görevlerde harcanan fiziksel ve zihinsel işlev türlerine, çalışma ortamına bağlı olarak fiziksel ve zihinsel iş yükü faktörleri belirlenmelidir. Ayrıca, bu faktörlerin de etkisi dikkate alınarak kişilerin görev bazında hata yapma olasılıkları da ortaya çıkarılmalıdır. Önerilen SPC-HEART metodunda, APOA değerleri ÇKKV yöntemlerinden biri olan SWARA yöntemi ile PCA yönteminin birlikte kullanılması ile belirlenmiştir. SWARA yöntemi ile karar vericilerin EPC değerlerinin önem ağırlıklarını analitik bir yöntem ile belirlemeleri sağlanırken; her bir çalışan için fiziksel ve zihinsel iş yükü faktörlerinin bileşke etkisi PCA yöntemi ile belirlenmiştir. Böylece APOA değerleri objektif bir şekilde belirlenmiş ve bu değerlerin, EPC ve GTT değerleri ile birlikte kullanılması ile elde edilen HEP değeri üzerinde karar vericilerin sübjektif yargılarının etkisi azaltılmaya çalışılmıştır. Çalışanın hata yapma olasılığı kabul edilebilir sınırlar üzerinde olan görevlere atanmaması ile olası iş kazaları ve hatalar engellenmiş olacaktır.

Fiziksel iş yükü değerlendirmesinde insanların fiziksel ölçümleri esas alınarak çalışmalar yapılmıştır. İş sürecini aksatmadan ölçüm alınması gerektiğinden sıcaklık değişimleri, uyku seviyeleri ve yaş fiziksel faktörler olarak alınırken, NASA İş Yükü İndeksi NASA İş Yükü İndeksi (NASA Task Load Index-NASA-TLX) ile ölçülen dokuz faktör zihinsel faktörler olarak belirlenmiştir. Zihinsel iş yükü, yürütülen göreve ilişkin gereksinimler, ortam koşulları, beceri ve tecrübe seviyesi, davranışlar ve algılar arasındaki etkileşim ve hatta kişilerin anlık vitallerine bağlı olarak gelişen zihinsel eforun nihai değişimi olarak tanımlanmaktadır. Bu değişimleri NASA-TLX yöntemi 6 veya 9 ölçek altında değerlendirmektedir. Bu çalışmada, sağlık sektörü için daha uygun olacağı düşünülerek literatürde yapılan çalışmalarda genelde kullanılan 6 ölçekli NASA-TLX yöntemi yerine 9 ölçekli NASA-TLX kullanılmış ve ağırlıklandırılmış iş yükü (Weighted Workload – WWL) skoru elde edilmiştir.

Her bir kişinin fiziksel ve zihinsel iş yükü birbirinden farklıdır ve bu nedenle iş yüklerinin insanlar üzerindeki etkileri de farklılaşmaktadır. Görevlere ait HEP değerleri de kişilere bağlı olarak farklı sonuçlar gösterecektir. Farklılık gösteren bütünleşik iş yükü etkisinin belirlenmesi için PCA yöntemi kullanılmıştır. Yöntem konsepti, farklı indeks ve türdeki değişkenlerin yüksek boyutlu veri hacminde daralmaya neden olmakta ve orijin etrafında bir araya gelmelerini sağlamaktadır. Böylece verilerin bileşen etkisinin ve yönünün tespitini mümkün kılarak anlaşılması daha kolay grafiksel bir veri yapısı sunmaktadır (Dunteman, 1989).

SPC-HEART yöntemi ile her bir kişi için görev bazında HEP değerleri objektif bir şekilde belirlenerek kişilerin atanmaması gereken görevler tespit edilmiştir. Böylece karar vericilere proaktif bir risk önleme yaklaşımı sunulmuştur. SPC-HEART yöntemi yalın ve objektif sonuçlara ulaşmak amacıyla ergonomik açıdan riski en aza indirmeye yönelik bir dizi öneri sunmaktadır. Önerilen SPC-HEART yöntemi insan hata olasılığının fazla olduğu ve insan güvenirliliğinin hayati öneme sahip olduğu sağlık sektöründe hemşireler üzerinde uygulanmıştır. COVID-19 nedeniyle artan fiziksel ve zihinsel iş yükleri dikkate alınarak hemşirelerin görev bazında HEP değerleri belirlenmiştir. Böylece HEP değerlerine göre hemşirelerin çalışmaması gereken görevler ortaya çıkarılmıştır. HEART metodunun sağlık sektöründe kullanımı ve hata önleme konusu ile ilgili çalışmalar sınırlı sayıdadır. Bu çalışmada hemşirelerin hata yapma potansiyelleri gerçek bir uygulama ile kapsamlı bir şekilde analiz edilerek gelecekte yapılacak olan çalışmalara katkı sağlanmaya çalışılmıştır.

2. Materyal ve metod

Bu bölümde HEART, SWARA ve PCA yöntemleri ve HEP değerinin hesaplanmasında kullanılan fiziksel ve zihinsel iş yükü faktörleri hakkında bilgi verilecektir. Çalışmada kullanılan semboller ve tanımları Tablo 1'de özetlenmiştir.

Çalışmada uygulanan anket, mülakat, odak grup çalışması, gözlem, deney, görüşme teknikleri kullanılarak katılımcılardan veri toplanmasını gerektiren nitel ya da nicel yaklaşımlarla yürütülen her türlü araştırmalar için gerekli olan etik kurul kararı EBYU 31.03.2021 tarih ve 04/17 numaralı protokol izni ile tamamlanmıştır. Diğer resmi izinler ise 29.04.2021 tarih ve E-62639109-929 sayılı kararı ile hastane uygulama izin talebi uygun bulunmuş, komisyon kararı ile 09.08.2021 tarihinde onaylanmıştır. Bilgilendirme sürecinde katılımcılara bilgilendirilmiş gönüllü olur/onam formu imzalatılarak çalışmalar tamamlanmıştır.

Tablo 1. Semboller ve açıklamaları

Semboller	Tanımları
HEP	İnsan hata olasılığı değeri
GEP	Uzmanlar tarafından belirlenen, ilgili GTT'nin hata olasılık değeri
EPC_j	j. hata üreten koşul ($j = 1, 2, 3, \dots, n$)
$APOA_j$	Her bir j. EPC'ye ait etki oranı için uzman değerlendirmesi
s_j	Ortalama değer in göreceli veya karşılaştırmalı önem düzeyi
k_j	j. faktör için katsayı değeri
q_j	j. faktöre ait yeniden hesaplanmış ağırlık değeri
w_j	j. faktöre ait nihai ağırlık değeri
F_m	Zihinsel iş yükü bileşke kuvveti
F_p	Fiziksel iş yükü bileşke kuvveti
F_{PC}	Temel Bileşen net bileşke kuvveti
x_{ij}	i. katılımcıya ait j. faktör değeri
X_c	Merkezileştirilmiş veri matrisi
$e_{i,j}$	Özvektör sütun matrisi
$e_i g_i$	i. özvektör
$(e_{i,j})^T$	$e_{i,j}$ matrisinin transpozu
λ	Özdeğer
I	Birim vektör
Σ_X	Bir özdeğere ait özvektör
W_{if}	i. katılımcıya ait f. faktör için ağırlıklandırılmış değeri
WWL_i	i. katılımcı için WWL skor değeri
ΔT_{i_b}	i. katılımcıya ait vücut sıcaklığı
ΔT_{i_c}	i. katılımcıya ait çekirdek sıcaklık ölçümü
$\Delta T_{i_{sk}}$	i. katılımcıya ait deri sıcaklık ölçümü
X	Alpha (X) değeri
wp_{i_m}	i.inci katılımcıya ait ağırlıklandırılmış zihinsel iş yükü faktörü etkileşim oranı
wp_{i_a}	i. katılımcıya ait ağırlıklandırılmış yaş faktörü etkileşim oranı
$wp_{i_{sp}}$	i. katılımcıya ait ağırlıklandırılmış uyku faz faktörü etkileşim oranı
wp_{i_t}	i. katılımcıya ait ağırlıklandırılmış termoregülasyon (termal ölçüm) etkileşim oranı
wp_i	i. kişinin ağırlıklandırılmış bileşik etki oranı
$APOA_{ij}$	i. katılımcıya ait j. kriter için etki oranı
HEP_{i_t}	i. katılımcının t. görev için insan hata olasılığı değeri
GEP_t	t. görev için GTT'nin hata olasılık değeri

2.1 HEART (İnsan Hatası Değerlendirme ve Azaltma Tekniği)

HEART metodu; insan güvenilirliğinin bağımlı olduğu düşünülen bir görevin performansını olumsuz yönde etkileyebilecek tüm faktörleri dikkate almakta ve bu faktörlerin her biri, daha sonra, bağımsız bir şekilde

incelenerek bir HEP değerinin elde edilmesinde kullanılmaktadır. HEART yöntemi, görev bazlı araştırmalarda incelenen HEP değerlerini hesaplamakta kullanılan oldukça basit bir yöntemdir (Williams, 1988). Bu yöntem, bir görevin gerçekleştirildiği her seferde bir başarısızlık olasılığı olduğu ve bunun olasılığının bir veya daha fazla EPC tarafından etkilendiği ilkesine dayanır. Geleneksel HEART yönteminin 1985 versiyonunda 38 EPC ve farklı görev türlerinin karşılaştırması olarak tanımlanan dokuz adet GTT tanımlanmıştır (Kirwan, 1988). Eşitlik (1) de her bir görev için HEP değerleri hesaplanırken her EPC'nin farklı ağırlık değeri kullanılmaktadır.

$$HEP = GEP \times \prod_{j=1} [(EPC_j - 1)APOA_j + 1] \quad (1)$$

2.2 SWARA (Adım Adım Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi)

Keršulienė vd. (2010) tarafından geliştirilen SWARA metodu; karar verme sürecinde var olan probleme ilişkin olası sonuçlara yönelik alternatif çözümlerin anlam ve önemlerine bağlı olarak şekillenen, uzmanlar ile birlikte çalışmaya uyumlu olan basit bir ÇKKV tekniğidir. Kriter ağırlıklarını belirlemek amacıyla kullanılan yöntem aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır (Keršulienė vd., 2010).

Adım 1. Kriterlerin önem sıralarının belirlenmesi

n tane kriter (C_j , $j=1,2,\dots,n$) ve k tane karar vericinin (KV_k , $k=1,2,\dots,K$) bulunduğu bir karar probleminde her karar verici bilgi ve tecrübesine göre en önemli olanı en başta olacak şekilde önem derecesine göre tüm kriterleri sıralar. Daha sonra karar vericilerin önem sıralamaları birleştirilerek bütünlük bir sıralama elde edilir.

Adım 2. Her bir kriter için göreceli önem düzeyleri belirlenmesi

Bütünleştirilmiş sıralama dikkate alınarak her karar verici, j. kriterini kendisinden daha yüksek önem seviyesine sahip j-1. kriter ile karşılaştırarak j. kriterin önem ağırlığını belirler. Daha sonra her karar verici tarafından belirlenen önem ağırlıklarının ortalaması alınarak göreceli önem düzeyi s_j değeri hesaplanır.

Adım 3. k_j katsayı değeri hesaplanması

Her bir kriter için k_j katsayı Eşitlik (2) kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır. Kriterlerin ortak sıralamasında en önemli kriterin k_j katsayısı 1 olarak atanmaktadır.

$$k_j = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ s_j + 1 & j > 1 \end{cases} \quad j = 1,2,3,\dots, n \quad (2)$$

Adım 4. Anlamlılık vektörü q_j hesaplanması

Her bir kriter için q_j katsayı Eşitlik (3) kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır. En önemli kriterin q_j katsayısı 1 olarak atanmaktadır.

$$q_j = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ \frac{q_{j-1}}{k_j} & j > 1 \end{cases} \quad j = 1,2,3,\dots, n \quad (3)$$

Adım 5. Kriterlerin w_j göreceli önem ağırlıklarının hesaplanması

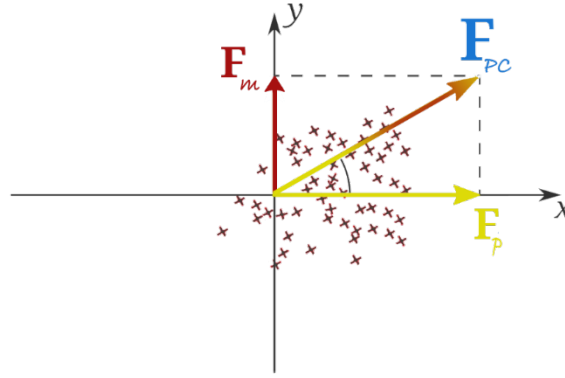
Kriter ağırlıkları Eşitlik (4) kullanılarak hesaplanır.

$$w_j = \frac{q_j}{\sum_k^n q_k} \quad j = 1,2,3,\dots, n \quad (4)$$

w_j , 0 ile 1 arasında olmak üzere $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ dir.

2.3 PCA (Temel Bileşen Analizi)

PCA çok faktörlü bir istatistiksel analiz tekniğidir ve faktörler arasındaki ilişkinin yapısını irdelemek için kullanılmaktadır. Temel fikir, veriler arasındaki kovaryansı kullanarak birbirleriyle ilişkili birçok faktör içeren veri setinin boyutlarını azaltmaktır. PCA; mevcut veri setinde aralarında korelasyon olan faktörleri bazı lineer transformasyonlarla aynı sayıda ama aralarında korelasyon olmayan (ortogonal) faktörlere dönüştürmeye dayanmaktadır. Bu yeni faktörler mevcutların bir lineer kombinasyonu olup *Asal Bileşenler* olarak anılmaktadır (Tharwat, 2016). Bu yazıda kullanılan PCA mekanik gibi düşünülürse; bir kuvvet bileşenlerine ayrılabilir - y eksenini zihinsel iş yükü ve x eksenini fiziksel iş yükü olarak tanımlayan Şekil 1'de gösterildiği gibi, kendisiyle geometrik olarak ilişkili iki dik kuvvet doğuracaktır.



Şekil 1. Kuvvetler bileşimi olarak zihinsel ve fiziksel iş yükünün gösterimi

Şekil 1'de F_m zihinsel iş yükü değişiminin yapısını, F_p fiziksel iş yükü değişiminin yapısını ve F_{PC} temel bileşen değişiminin yapısını göstermektedir. Bir bütün olarak zihinsel ve fiziksel iş yükünün birleşik etkisi F_{PC} ile temsil edilmektedir. PCA genel olarak 5 temel adımdan oluşur (Jolliffe ve Cadima, 2016):

1. Adım: Ham verileri standart hale getirilmesi ve merkezileştirme

İlk olarak her bir katılımcıya ait ölçüm faktörü için ham veriler toplanır. Faktörler aynı ölçü birimlerine sahip değilse standartlaştırılmış gözlem değerleri kullanılmalıdır. Bu nedenle her faktörden sütun ortalaması çıkartılır ve veri merkezlenir (Jolliffe ve Cadima, 2016). Merkezleştirilmiş veri matrisi Eşitlik (5) te gösterilmiştir.

$$X_c = \begin{bmatrix} X_{11} - \bar{X} & \dots & X_{1n} - \bar{X} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{m1} - \bar{X} & \dots & X_{mn} - \bar{X} \end{bmatrix} \quad (5)$$

2. Adım: Kovaryans/Korelasyon matrisinin özdeğerlerinin ve özvektörlerinin hesaplanması

Korelasyon matrisi, faktörlerin farklı ölçekleri olduğunda ve tüm faktörler eşit olarak değerlendirmek istenildiğinde kullanılmaktadır (Shlens, 2014). Önceki adımda bulunan kovaryans matrisinin özdeğer ve özvektörlerini bulabilmek için Eşitlik (6) kullanılarak determinant hesaplamasının yapılması gerekmektedir.

$$cov_{X_c} = \begin{bmatrix} cov(X, X) & cov(X, Y) \\ cov(X, Y) & cov(Y, Y) \end{bmatrix} \quad (6)$$

Bu hesaplama sonucu belirlenen kökler $\{\lambda_1, \lambda_2\}$ özdeğerlerini verecektir.

3. Adım: Matrisin özdeğer ve özvektörlerini hesaplanması

Özdeğerler büyükten küçüğe sıralanır ve karşı gelen özvektörler, Eşitlik (7)-(8) kullanılarak bulunmaktadır (Shlens, 2014).

$$\begin{pmatrix} cov(X, X) & cov(X, Y) \\ cov(X, Y) & cov(Y, Y) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e_{1,j} \\ e_{2,j} \end{pmatrix} = \lambda_1 \begin{pmatrix} e_{1,j} \\ e_{2,j} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_1 e_{1,j} \\ \lambda_1 e_{2,j} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\begin{pmatrix} cov(X, X) & cov(X, Y) \\ cov(X, Y) & cov(Y, Y) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e_{i,1} \\ e_{i,2} \end{pmatrix} = \lambda_2 \begin{pmatrix} e_{i,1} \\ e_{i,2} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_2 e_{i,1} \\ \lambda_2 e_{i,2} \end{bmatrix} \quad (8)$$

4. Adım: Özellik vektörünün oluşturulması

En büyük özvektör birinci temel faktör olmak üzere tüm özvektörler sıra ile temel bileşen olarak atanmaktadır.

5. Adım: Yeni veri setinin hesaplanması

Yeni veri seti; özvektörlerin Transpoze ile ayarlanmış veri setinin çarpılması sonucu elde edilmektedir. $e_1 \dots e_m$ değerleri, yeni boyut vektörleri olacaktır. Merkezileştirme işlemi sonunda oluşan yoğunlaşmaya ait yeni koordinatlar $x' = \{x'_1 \dots x'_m\}$ şeklinde olacaktır. $e_{i,j}$ matrisi, varimaks rotasyonunun yapıldığı özvektör matrisidir. Eşitlik (9) de gösterildiği gibi $(e_{i,j})$ özvektörlerin yer aldığı matristir.

$$(e_{i,j}) = (eig_1 \ eig_2 \ eig_3 \ \dots \ eig_n) \quad (9)$$

$i=1\dots m$ ve $j=1\dots n$ olmak üzere yeni veri seti Eşitlik (10) te gösterildiği gibi X_c matrisinin transpozu ile $e_{i,j}$ matrisinin çarpımı elde edilmiştir.

$$X_c(e_{i,j})^T \quad i = 1 \dots m \quad j = 1 \dots n \quad (10)$$

2.4 NASA-TLX (NASA İş Yükü İndeksi)

NASA-TLX, çok boyutlu bir derecelendirme prosedürü kapsamında, altı veya dokuz faktörlü derecelendirmelerin ağırlıklı ortalamasına dayalı olarak genel bir iş yükü puanı hesaplayan zihinsel iş yükü değerlendirme aracıdır. Bu çalışmada; Görev Zorluğu (TD - Task Difficulty), Zaman Baskısı (TP - Time Pressure), Performans (P - Performance), Zihinsel Duyuların Çabası (MSE - Mental Sensory Effort), Fiziksel Çaba (PE - Physical Effort), Başarısızlık Hissi (FL - Frustration Level), Stres Seviyesi (SL - Stress Level), Yorgunluk (F - Fatigue), Aktivite Tipi (AT - Activity Type) faktörlerini içeren dokuz faktörlü NASA-TLX yöntemi kullanılmıştır. Dokuz faktörlü değerlendirmede altı faktörlü versiyonundan farklı olarak Stres Seviyesi, Yorgunluk ve Aktivite Tipi faktörleri dikkate alınmaktadır. Diğer altı faktörün yanı sıra bu üç faktöründe insanın hata yapma olasılığını artırmada etkisi olduğundan bu çalışmada dokuz faktörlü NASA-TLX yöntemi kullanılmıştır. Bu faktörler kullanarak çalışanlar için WWL skoru subjektif olarak ölçülmekte ve değerlendirilmektedir (Hart ve Staveland, 1988).

Bu yöntemde önem düzeyi açısından ikili olmak üzere, dokuz faktörün kendi içerisinde 36 karşılaştırması yapılmaktadır. Katılımcılar ikili karşılaştırmalar sırasında iş yüküne en fazla katkıda bulunduğunu düşündüğü ölçütü işaretler. Her ölçütün kaç kez seçildiği yani frekans değeri elde edilir. Daha sonra ise söz konusu iş veya görev her bir faktör açısından 0 ile 100 arasında puanlanır. Son aşamada ise, WWL değeri Eşitlik (11)-(12) ile belirlenir. Burada f parametresi için sırasıyla TD , TP , P , MSE , PE , FL , SL , F ve AT faktörleri için ayrı ayrı uygulanarak ilgili W_{if} değerleri elde edilmektedir. Kişilere ait ağırlıklandırılmış iş yükleri; faktör puanları ve W_{if} değerleri kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$W_{if} = \frac{\text{ilgili faktör için toplam işaretlenme sayısı}}{36} \quad (11)$$

$$WWL_i = TD_i x W_{iTD} + TP_i x W_{iTP} + P_i x W_{iP} + MSE_i x W_{iMSE} + PE_i x W_{iPE} + FL_i x W_{iFL} + SL_i x W_{iSL} + F_i x W_{iF} + AT_i x W_{iAT} \quad (12)$$

2.5 Termoregülasyon

Fizyolojik açıdan insan vücudu çekirdek ve kabuk olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır. Çekirdek; kafa, göğüs ve karından oluşmaktadır. Kabuk ise deri, derialtı dokular ve extremitelerden (uzantı) oluşmaktadır. Bireysel farklılıklar ve günlük varyasyonlara bağlı olarak iç çekirdek sıcaklıkları öğleden sonra ve akşam saatlerinde (Guyton ve Hall, 2013) en yüksek noktalara ve sabahın erken saatlerinde en düşük noktalarına ulaşır. Mental aktiviteler çekirdek içindeki ısıyı arttırmaktadır. Hall vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada öğleden sonra saat altı 6 civarı kan basıncının ve vücut sıcaklığının en yüksek seviyede olduğunu belirlenmiştir. Bununla birlikte, herhangi bir sebepten ötürü stres oluşumunda çekirdek sıcaklığı artmaktadır (Oka, 2015). Bu çalışmada kişilerin ortalama vücut sıcaklığındaki değişimlerini belirlemek için Burton (1935) tarafından Eşitlik (13) de önerilen geleneksel iki bölmeli termometre modeli kullanılmıştır. Alpha (X) değeri Cronbach's Alpha formülü ile hesaplanmıştır (Nunnally ve Bernstein, 1994).

$$\Delta \bar{T}_{ib} = (X \cdot \Delta T_{ic}) + ([1 - X] \cdot \Delta T_{isk}) \quad (13)$$

2.6 Uyku fazları

Uyku fazlarındaki değişim davranışsal sorunlara ve hata eğilimine yol açmaktadır. Ayrıca, yorgunluğun hata eğilimini artıran önemli bir faktör olduğu belirlenmiştir. Rogers vd., (2004) yaptıkları çalışmada hemşirelere yönelik olarak, 12.5 saatlik vardiyalarda 8.5 saatlik vardiyalardan 3.3 kat daha fazla tıbbi hata görüldüğü belirtilmiştir. Tipik olarak, optimal dinlenme için ortalama uyku süresi 6-8 saat arasında olmalıdır. Ancak, çalışma koşulları, yaşam tarzı veya günlük yorgunluk kişinin uyku bozukluklarına veya uyku fazlarının ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu durumda çalışan üretkenliğini, etkinliğini ve refahını azaltabilmektedir (Stampi, 1992).

Uyku fazları çok çeşitli olmakla birlikte çalışma kapsamında tek, çift ve çok fazlı olmak üzere üç uyku fazı dikkate alınmıştır. Tek fazlı uyku, kişinin günde tipik olarak bir kez gecede 8 saate kadar uyuduğu zaman aralığıdır. Çift fazlı uyku, her defasında kişinin gecede 6.3 saate kadar uyuduğu zaman aralığıdır. Çok fazlı uyku, 24 saat boyunca

birden fazla kısa bölümlerden oluşan çok parçalı uyku bölümlenmesidir. Bu uygulama özellikle genç yetişkinler arasında daha çok tercih edilmektedir. Her defasında en fazla 4.5 saat kadar uyku durumu söz konusudur (Weaver vd,2021).

2.7 Yaş

Çalışan performansı; algılanan iş yüküne, çalışma ortamının etkilerine, iş içeriği gibi görevle ilgili etmenlerin yanı sıra; kişisel yeteneğe, çabaya, duyarlılığa ve yaş faktörü gibi görev dışı faktörlere de bağlıdır (Warm vd, 1996). Bu bağlamda, yaşlı çalışanların iş yükünde önemli ölçüde daha fazla artış algıladıkları belirlenmiştir. Ayrıca, bilişsel performanstaki azalma yaş ilerledikçe kaynakları işleme sürecinde azalış meydana getiren ve bilişsel yaşlanma olarak tanımlanan bir durum ortaya çıkarmaktadır. Yaş faktörünün, bilişsel yaşlanma teorisinin önemli bir bileşeni olduğu vurgulanmıştır (Salthouse, 1991).

4. Araştırma bulguları ve tartışma

4.1 SPC-HEART yöntemi ve uygulanması

Bu çalışmada önerilen SPC-HEART yöntemi, görev bazlı insan hata olasılığına bağlı olarak risk değerlendirmek için önerilmiştir. Bu yöntem, hem deneysel hem de uzmanların görüşlerine bağlı objektif sonuçları olan bir çözüm yaklaşımı sağlamaktadır. SPC-HEART metodunda HEP değerlerinin, ölçülebilir fiziksel ve zihinsel özelliklere bağlı olarak kişilere özgü olarak hesaplanması ile klasik HEART yöntemine katkı sağlanmıştır. Ayrıca risk analizi yapılırken aralarındaki etkileşimleri göz ardı ederek risk faktörlerini birbirinden bağımsız olarak değerlendirmek güvenilirlik açısından olumsuz bir etkiye neden olacaktır (Fang vd, 2018). Her faktörün doğrudan etkisi ile dolaylı etkisi farklı şekillerde süreci etkilemektedir. Katılımcıların hata eğilimlerini tespit edebilmek amacıyla zihinsel ve fiziksel iş yükleri modele dâhil edilerek modelin boyutları belirlenmiştir. Farklı nitelikteki faktörlerin bileşke etkisini dikkate alarak yapılacak değerlendirmeler, farklı fikirler ve sonuçlar sunması açısından aydınlatıcı olacaktır.

Aşama 1. Katılımcıların belirlenmesi

Uygulama Eğitim ve Araştırma hastanesi olarak faaliyet gösteren bir hastanede gerçekleştirilmiştir. %71.32 kadın (N=97) ve %28.68 erkek (N=39) olmak üzere 136 hemşire çalışmaya katılmıştır. Çalışmaya katılan hemşirelerin yer aldıkları departmanlar Tablo 2' de verilmiştir. Katılım oranı olarak 35 kişinin katılımı ile en yüksek değer acil bölümüne aittir.

Tablo 2. Departmanlara göre katılımcıların frekans tablosu

Bölüm	Frekans/ Sıklık Değeri	Bölüm	Frekans/ Sıklık Değeri
Acil Servis	35	İç Hastalıkları / Dahiliye	3
Beyin ve Sinir Cerrahi	3	İntaniye	1
Çocuk Cerrahi	2	Kalp Damar Cerrahisi	5
Çocuk Hastalıkları	15	Kardiyoloji	4
Çocuk Hematolojisi ve Onkolojisi	2	Kulak Burun Boğaz	3
Çocuk Kardiyoloji	1	Ortopedi ve Travmatoloji	3
Çocuk Nefrolojisi	1	Palyatif Bakım Merkezi	5
Diğer (Listede olmayan bölümler)	25	Plastik ve Rekonstrüktif Cerrahi	1
Enjeksiyon	2	Radyoloji Ünitemiz	1
Fizik Tedavi	2	Romatoloji	2
Genel Cerrahi	3	Üroloji	10
Göz Hastalıkları	5	Yoğun Bakım Ünitesi	2

Aşama 2. Görevlerin, GTT ve EPC değerlerinin belirlenmesi

Bu adımda ilk olarak hemşirelerin iş akışına bağlı olarak ortaya çıkan görevleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bunun için ülkemizde ve dünyada faaliyet gösteren hastanelerde hemşireler için tanımlanmış olan genel ve özel olmak üzere 100 den fazla görev belirlenmiş ve daha sonra bu görevler zorluk açısından puanlamıştır. Bu çalışmaya katılan hemşireler ile yapılan beyin fırtınası ve pareto analizi sonucunda en çok zorlanılan 45 adet görev belirlenmiştir. Bu görevlerin 38 tanesinin EPC içerdiği tespit edilmiştir (Ek 1). Her bir göreve uygun olarak GTT ve EPC belirlenmiştir.

Aşama 3. SWARA yöntemi ile EPC ağırlıklarının belirlenmesi

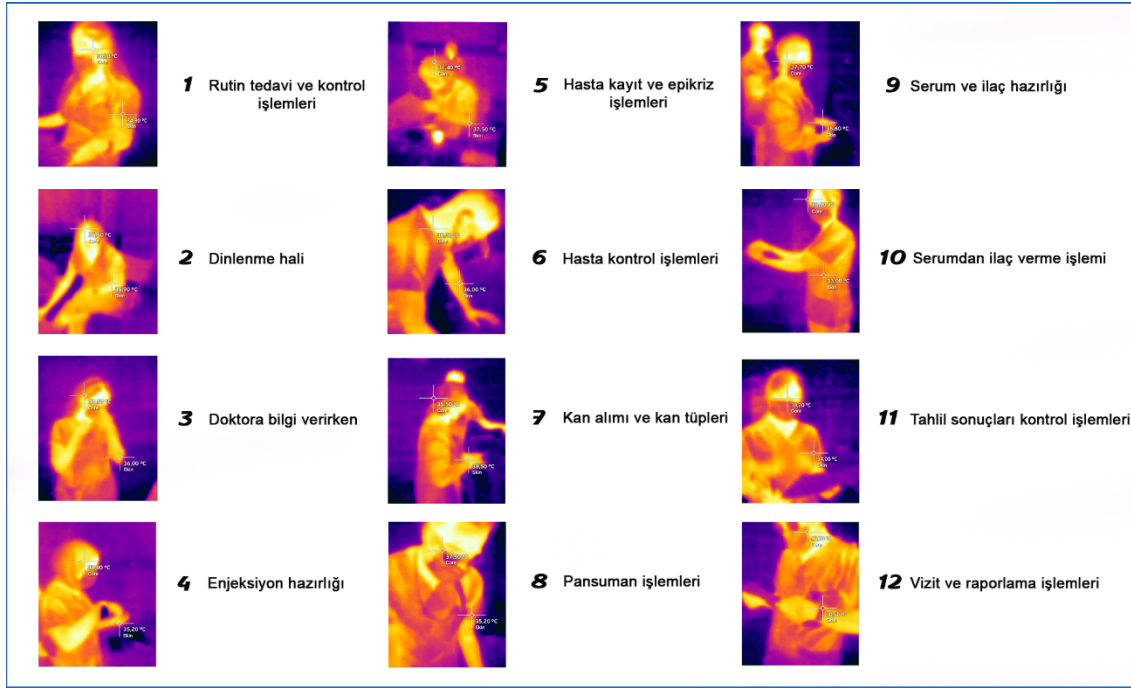
Uzman görüşleri ve SWARA yöntemi kullanılarak her bir EPC için görevin zorluk açısından önem ağırlığı belirlenir. Bu aşamada Tablo 3'te gösterildiği gibi SWARA yönteminde Eşitlik (2) – (4) kullanılarak her bir EPC için önem ağırlıkları hesaplanmıştır. Başlangıçta, s_j değerleri hesaplanırken 45 görevdeki EPC frekansları kullanılmıştır.

Tablo 3. SWARA yöntemi ile hesaplanan EPC'lerin ağırlıkları

EPC	Sıralama	Nihai EPC Önem Sıralaması	s_j	k_j	q_j	w_j
EPC_1	2	EPC_5		1	1.0000000000	0.147
EPC_2	5	EPC_1	0.25	1.25	0.8000000000	0.118
EPC_3	17	EPC_{15}	0.2	1.2	0.6666666667	0.098
EPC_4	6	EPC_{24}	0.25	1.25	0.5333333333	0.078
EPC_5	1	EPC_2	0.05	1.05	0.50793650794	0.075
EPC_6	21	EPC_4	0.2	1.2	0.42328042328	0.062
EPC_7	11	EPC_{29}	0.05	1.05	0.40312421265	0.059
EPC_8	22	EPC_{31}	0.2	1.2	0.33593684387	0.049
EPC_9	23	EPC_{22}	0.25	1.25	0.26874947510	0.039
EPC_{10}	18	EPC_{11}	0.05	1.05	0.25595188105	0.038
...
...
EPC_{33}	14	EPC_{18}	0.2	1.2	0.00738799289	0.001
EPC_{34}	39	EPC_{21}	0.05	1.05	0.00703618370	0.001
EPC_{35}	29	EPC_{23}	0.15	1.15	0.00611842061	0.001
EPC_{36}	38	EPC_{30}	0.1	1.1	0.00556220055	0.001
EPC_{37}	15	EPC_{36}	0.15	1.15	0.00483669613	0.001
EPC_{38}	12	EPC_{34}	0.15	1.15	0.00420582272	0.001

Aşama 4. Fiziksel ve zihinsel iş yükü faktörlerinin belirlenmesi

Fiziksel iş yükü faktörlerinden biri olan termoregülasyon ölçümleri için kızılötesi termografi kullanılarak sıcaklık ölçümü çekirdek ve deri sıcaklıkları ölçülerek gerçekleştirilmiştir. Termal Sıcaklık ölçümlerinde 50 cm mesafeden insan ölçümleri için standart olarak kabul edilen 0.98 emisivite (yayınım) ölçüm değeri ayarlanarak kızılötesi termal görüntüleme kamerası yardımıyla ölçümler yapılmıştır. Şekil 2.'de çeşitli ölçüm örnekleri gösterilmektedir.



Şekil 2. Kızılötesi Termografi araçları kullanılarak hemşirelerin sıcaklık değişimlerinin ölçülmesi

Genel olarak termoregülasyon değerleri ortalama 36.8528 değeri ile normal aralıkta seyretmektedir. X değeri 0.65 olarak hesaplanmıştır. Termoregülasyon değerleri Eşitlik (13) kullanılarak Tablo 4’de verilmiştir.

Hemşirelerin uyku fazları ve yaşları ile ilgili veriler ise demografik anketten elde edilmiş ve Tablo 4’ de gösterilmiştir. Ayakta çalışma süresi 10.2574 ortalama saat ile önemli bir yorgunluk göstergesi olarak ve ortalama uyku fazları süresi 6.3324 saat vasat düzeyde görülmektedir.

Son olarak; NASA-TLX yöntemi hemşirelere uygulanmış ve Eşitlikler (11)-(12) de kullanılarak elde edilen WWL_i değeri zihinsel iş yükü faktörü olarak dikkate alınmıştır (Tablo 4).

Tablo 4. PCA için kullanılacak girdi veri matrisi(x_{ij})

Hemşireler	WWL_i	Termoregülasyon	Uyku Fazı	Yaş
H_1	63.8888	37.33	6.3	23
H_2	98.0555	36.35	4.5	24
H_3	96.25	36.97	4.5	39
H_4	97.9166	36.89	4.5	33
H_5	75.4166	36.78	6.3	44
H_6	86.1111	37.49	6.3	45
H_7	84.3055	36.55	8	32
H_8	87.5	36.69	8	45
H_9	79.8611	36.96	6.3	25
H_{10}	98.8888	36.83	6.3	29
...
...
...
H_{130}	75	36.84	6.3	22
H_{131}	94.4444	37.81	6.3	30
H_{132}	74.0277	36.42	6.3	33
H_{133}	78.8888	37.33	8	33
H_{134}	89.7222	36.35	8	45
H_{135}	48.8888	36.97	8	25
H_{136}	71.1111	36.89	8	24

H: Hemşire, G: Görev

Aşama 5. PCA kullanarak fiziksel ve zihinsel iş yükü faktörlerinin bütünleşik etkisinin belirlenmesi

Girdi verileri Eşitlik (5-10) kullanılarak PCA işlem süreci gerçekleştirilerek APOA'ya olan bağımlılık problemi tek faktöre $\{wp_i\}$ dönüştürülmüştür. Tablo 4'te gösterilen girdi matrisi için Minitab 18 yazılımı kullanılmıştır. Tablo 5'te girdi ağırlıklı verilerin dağılımları gösterilmektedir.

Sıcaklık değişikliklerinin, uyku seviyelerinin, yaş ve zihinsel iş yükü faktörlerinin birleşik etkilerini gösteren ve Tablo 5 'te yer alan wp_i değerlerini elde etmek için ağırlıklı birleşik etkiler Eşitlik (14)'te gösterildiği gibi geometrik ortalama ile birleştirilmiştir.

$$w_{pi} = \begin{bmatrix} wp_{1m} & wp_{1a} & wp_{1sp} & wp_{1t} \\ wp_{2m} & wp_{2a} & wp_{2sp} & wp_{2t} \\ wp_{3m} & wp_{3a} & wp_{3sp} & wp_{3t} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ wp_{im} & wp_{ia} & wp_{isp} & wp_{it} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt[4]{wp_{1m} \times wp_{1a} \times wp_{1sp} \times wp_{1t}} \\ \sqrt[4]{wp_{2m} \times wp_{2a} \times wp_{2sp} \times wp_{2t}} \\ \sqrt[4]{wp_{3m} \times wp_{3a} \times wp_{3sp} \times wp_{3t}} \\ \vdots \\ \sqrt[4]{wp_{im} \times wp_{ia} \times wp_{isp} \times wp_{it}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} wp_1 \\ wp_2 \\ wp_3 \\ \vdots \\ wp_i \end{bmatrix} \quad (14)$$

Tablo 5. Ağırlıklı birleşik etki matrisi $X_c(e_{i,j})^T$ ve wp_i

Hemşireler	wp_{im}	wp_{ia}	wp_{isp}	wp_{it}	wp_i
H_1	63.8888	37.33	6.3	23	0.77057
H_2	98.0555	36.35	4.5	24	0.584467
H_3	96.25	36.97	4.5	39	0.403081
H_4	97.9166	36.89	4.5	33	0.130864
H_5	75.4166	36.78	6.3	44	0.400556
H_6	86.1111	37.49	6.3	45	0.636306
H_7	84.3055	36.55	8	32	0.3981
H_8	87.5	36.69	8	45	0.730291
H_9	79.8611	36.96	6.3	25	0.364676
H_{10}	98.8888	36.83	6.3	29	0.612786
...
...
...
H_{130}	75	36.84	6.3	22	0.390247
H_{131}	94.4444	37.81	6.3	30	0.300506
H_{132}	74.0277	36.42	6.3	33	0.50408
H_{133}	78.8888	37.33	8	33	0.625886
H_{134}	89.7222	36.35	8	45	0.761376
H_{135}	48.8888	36.97	8	25	0.446066
H_{136}	71.1111	36.89	8	24	0.20527

Aşama 6. Her katılımcı için görev bazlı APOA değerlerinin hesaplanması

Aşama 3 te elde edilen EPC ağırlıkları ile Aşama 5 de elde edilen bileşik etki değerleri Eşitlik (15) kullanılarak i. kişi için j. EPC nin etki oranı olan $APOA_{ij}$ ($0 \leq APOA_{ij} \leq 1$) belirlenir.

$$APOA_{ij} = wp_i \times w_j \quad (15)$$

Örneğin H_{14} olarak kodlanan hemşire için EPC_1 için $APOA_{14_1}$ değeri aşağıdaki gibi olacaktır.

$$APOA_{14_1} = wp_{14} \times w_1$$

Aşama 7. Her bir katılımcı için görev HEP değerlerinin belirlenmesi

Aşama 2 de belirlenen görevlere ait GTT kategorilerine göre belirlenen GEP değerleri, EPC değerleri ve Aşama 6 da belirlenen APOA değerleri Eşitlik (16) da kullanılarak kişisel bazda her bir göreve ait HEP değeri belirlenmektedir.

$$HEP_{it} = GEP_t \times \prod_{j=1} [(EPC_j - 1) APOA_{ij} + 1] \quad (16)$$

Herbir göreve ait farklı GEP ve EPC değerlerinin bulunmasına bağlı olarak her bir katılımcı için görev bazlı $APOA_{ij}$ değerlerinin yanısıra katılımcılara özgü HEP değerlerinin hesaplanması mümkün olmaktadır.

Örneğin H_{14} kodlu hemşire için görev G20'ye ait HEP_{1420} değeri; görev ile ilişkili tüm EPC ve APOA değerleri kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanacaktır:

$$HEP_{1420} = GEP_{20} \times \prod_{j=1}^{n} [(EPC_j - 1)APOA_{14j} + 1]$$

Herbir hemşire için hesaplanmış göreve özgü HEP_{it} Tablo 6'da gösterilmiştir.

Aşama 8. Görevler için her bir katılımcının risk düzeylerinin belirlenmesi

Bu aşamada, bir önceki aşamada belirlenen HEP_{it} değerlerine göre hemşireler için riskli ve risksiz görevlerin belirlenmiştir. Bunun için Tablo 7'da Garvey tarafından hazırlanan risk kategorileri kullanılmıştır.

Tablo 7. Risk tanımlama aralıkları tablosu (Garvey, 2001)

Risk Olasılık Tablosu	Tanımlama	Değerlendirme
> 0 - ≤ 0.05	Gerçekleşme ihtimali yok	Düşük
> 0.05 - ≤ 0.15	Gerçekleşmeme ihtimali çok yüksek	Düşük
> 0.15 - ≤ 0.25	Gerçekleşmeme ihtimali yüksek	Düşük
> 0.25 - ≤ 0.35	Gerçekleşmeme ihtimali az	Düşük
> 0.35 - ≤ 0.45	Gerçekleşmeme ihtimali gerçekleşmesinden fazla	Orta
> 0.45 - ≤ 0.55	Gerçekleşmeme ihtimali gerçekleşme ihtimaliyle aynı	Orta
> 0.55 - ≤ 0.65	Gerçekleşme ihtimali gerçekleşmemesinden fazla	Orta
> 0.65 - ≤ 0.75	Gerçekleşme ihtimali var	Yüksek
> 0.75 - ≤ 0.85	Gerçekleşme ihtimali yüksek	Yüksek
> 0.85 - ≤ 0.95	Gerçekleşme ihtimali çok yüksek	Yüksek
> 0.95 - < 1	Gerçekleşme ihtimali kesin	Yüksek

Tablo 6. Hemşirelerin görevlerdeki HEP_{it} değerleri

Görevler	G1	G2	...	...	G7	G8	G9	G10	G11	...	...	G43	G44	G45
H1	46.19%	3.43%	...	...	3.42%	26.11%	18.50%	26.32%	77.71%	...	...	33.00%	3.38%	18.17%
H2	38.12%	3.32%	...	...	3.32%	23.61%	17.89%	21.31%	72.14%	...	...	28.55%	3.29%	17.64%
H3	30.73%	3.22%	...	...	3.22%	21.21%	17.30%	16.94%	66.76%	...	...	24.42%	3.20%	17.13%
H4	20.53%	3.07%	...	...	3.07%	17.67%	16.42%	11.31%	58.79%	...	...	18.62%	3.06%	16.36%
H5	30.63%	3.22%	...	...	3.22%	21.17%	17.30%	16.88%	66.69%	...	...	24.36%	3.20%	17.12%
H6	40.31%	3.35%	...	...	3.35%	24.30%	18.06%	22.65%	73.68%	...	...	29.77%	3.31%	17.78%
H7	30.54%	3.22%	...	...	3.21%	21.14%	17.29%	16.82%	66.62%	...	...	24.31%	3.20%	17.11%
H8	44.40%	3.41%	...	...	3.40%	25.57%	18.37%	25.19%	76.50%	...	...	32.02%	3.36%	18.05%
H9	29.23%	3.20%	...	...	3.20%	20.70%	17.18%	16.07%	65.63%	...	...	23.57%	3.18%	17.02%
H10	39.31%	3.34%	...	...	3.33%	23.99%	17.99%	22.03%	72.98%	...	...	29.21%	3.30%	17.72%
H11	32.70%	3.25%	...	...	3.24%	21.86%	17.46%	18.08%	68.22%	...	...	25.52%	3.22%	17.26%
H12	42.70%	3.38%	...	...	3.38%	25.04%	18.24%	24.13%	75.34%	...	...	31.09%	3.34%	17.94%
H13	33.96%	3.27%	...	...	3.26%	22.27%	17.57%	18.82%	69.15%	...	...	26.23%	3.24%	17.35%
H14	67.72%	3.69%	...	...	3.67%	32.29%	19.96%	40.64%	91.33%	...	...	44.64%	3.61%	19.46%
H15	40.57%	3.36%	...	...	3.35%	24.38%	18.08%	22.81%	73.86%	...	...	29.91%	3.32%	17.80%
...
...
...
H132	34.78%	3.28%	...	...	3.27%	22.54%	17.63%	19.31%	69.75%	...	...	26.69%	3.25%	17.41%
H133	39.87%	3.35%	...	...	3.34%	24.16%	18.03%	22.38%	73.37%	...	...	29.52%	3.31%	17.76%
H134	45.78%	3.42%	...	...	3.41%	25.99%	18.47%	26.06%	77.43%	...	...	32.78%	3.38%	18.14%
H135	32.44%	3.25%	...	...	3.24%	21.77%	17.44%	17.93%	68.03%	...	...	25.38%	3.22%	17.25%
H136	23.22%	3.11%	...	...	3.11%	18.63%	16.66%	12.74%	60.96%	...	...	20.16%	3.10%	16.57%

Tablo 6'ye göre, bazı görevlerin yüksek EPC değerleri nedeniyle bireysel HEP_{it} değerleri oldukça yüksektir. Ayrıca her hemşirenin risk düzeyine göre asla verilmemesi gereken görevler belirlenmiştir. Örneğin Tablo 8,

hemşire H_{14} için görev-risk değerlendirmesini göstermektedir. H_{14} ; acil serviste çalışan kadın servis hemşiresidir. Bir lisans programından mezun olmuştur ve 5 yıldan az deneyime sahiptir. Ayrıca 24 saat ayakta çalışmak zorunda kalmaktadır. Uyku bozuklukları nedeniyle termoregülasyon ölçümlerinde (34.47 °C) hafif hipotermi tanısı ile değerlendirilmektedir. Ayrıca titreme, muhakemede azalma, hafıza kaybı, ilgisizlik ve kalp ve solunum hızında artış gibi belirtiler gösterebileceği öngörülmektedir. Hemşire H_{14} için NASA-TLX değeri 87.5 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 8. Hemşire H_{14} için görev bazlı risk değerlendirmesi

Görevler	Değerlendirme	Tanımlama
G11, G13, G33, G35, G39, G40	<i>Yüksek</i>	Gerçekleşme ihtimali var
G1, G30, G34	<i>Yüksek</i>	Gerçekleşme ihtimali gerçekleşmemesinden fazla
G10, G43	<i>Orta</i>	Gerçekleşme ihtimali az
G15	<i>Orta</i>	Gerçekleşme ihtimali gerçekleşmesinden fazla
G31	<i>Orta</i>	Gerçekleşme ihtimali gerçekleşme ihtimaliyle aynı
G2, G3, G5, G6, G7, G14, G17, G18, G21, G23, G24, G26, G28, G38, G41, G42, G44	<i>Düşük</i>	Gerçekleşme ihtimali çok yüksek
G12, G16, G20, G22, G36, G37	<i>Düşük</i>	Gerçekleşme ihtimali yok
G9, G19, G27, G29, G32, G45	<i>Düşük</i>	Gerçekleşme ihtimali çok yüksek
G4, G8, G25	<i>Düşük</i>	Gerçekleşme ihtimali yüksek
EPC olmayan görevler: G3, G5, G6, G14, G17, G21, G24		

Tablo 8'de görüldüğü gibi H_{14} , birçok görev için yüksek risk değerlerine sahiptir. Bu hemşire uyum sorunlarıyla baş edebilmesi için psikolojik destek almalı ve risk düzeyi yüksek görevlere atanmamalıdır. İş güvenliği ile ilgili bazı önlemlerin alınması da önemlidir. Ayrıca hizmet içi eğitimler ile yetkinliği geliştirilmeli, görev tanımları netleştirilmeli ve iş kapsamı daraltılarak yazılı yönergelerle belirlenmelidir. Etkin bir geri bildirim sağlayacak şekilde hata raporları hazırlanmalıdır. İç denetimler kıdemli hemşireler tarafından düzenli olarak yapılmalıdır.

5. Tartışma ve öneriler

Görevler incelendiğinde en fazla ortaya çıkan hata üreten koşul, EPC 5 olarak görülmektedir. “Mekânsal ve işlevsel bilgileri operatörlere kolayca özümseyebilecekleri bir biçimde aktarmanın hiçbir yolunun olmaması durumu” olarak tanımlanan EPC 5 koşulu; vardiya değişiklikleri veya farklı hemşire hizmetlerinde ortaya çıkan bir durumdur. EPC 5 koşulunun ortadan kaldırılması ile elde edilen yüzdesel hata olasılık değerleri Tablo 9’da gösterilmiştir.

Tablo 9. EPC 5 dahil ve göz ardı edilerek elde edilen HEP_{it} değerleri

		GÖREV HEP_{it} (%)																				
		G13	G13	G19	G19	G20	G20	G22	G22	G26	G26	G30	G30	G33	G33	G35	G35	G40	G40	G43	G43	
HEMŞİRELER	H1	87,35	48,74	17,99	10,04	8,78	4,90	6,01	3,35	3,73	2,08	45,16	25,20	57,69	32,19	100,00	88,06	96,70	93,01	33,00	18,41	
	H2	67,86	42,39	15,66	9,78	6,72	4,20	5,23	3,27	3,30	2,06	36,78	22,98	49,03	30,63	92,03	63,73	100,00	66,12	28,55	17,83	
	H3	51,97	36,74	13,49	9,54	4,97	3,52	4,50	3,18	2,89	2,04	29,44	20,81	41,23	29,15	63,14	44,64	64,52	45,61	24,42	17,26	
	H4	33,16	29,23	10,41	9,17	2,83	2,49	3,47	3,06	2,28	2,01	19,93	17,56	30,64	27,00	26,58	23,43	26,71	23,54	18,62	16,41	
	H5	51,77	36,67	13,46	9,53	4,95	3,51	4,49	3,18	2,88	2,04	29,34	20,78	41,13	29,13	62,69	44,40	64,04	45,36	24,36	17,26	

	H11	56,02	38,23	14,07	9,60	5,42	3,70	4,70	3,21	3,00	2,05	31,36	21,40	43,30	29,55	72,42	49,43	74,29	50,70	25,52	17,42	
	H12	78,67	45,97	16,99	9,93	7,87	4,60	5,67	3,31	3,55	2,07	41,51	24,26	53,94	31,52	91,97	77,13	98,30	80,82	31,09	18,17	
	H13	58,68	39,19	14,45	9,65	5,72	3,82	4,82	3,22	3,07	2,05	32,61	21,78	44,63	29,80	78,78	52,61	81,01	54,10	26,23	17,52	

	H31	72,60	43,98	16,26	9,85	7,23	4,38	5,43	3,29	3,41	2,07	38,88	23,55	51,22	31,03	94,84	69,57	99,67	72,50	29,68	17,98	
	H32	74,02	44,45	16,43	9,87	7,38	4,43	5,49	3,29	3,45	2,07	39,50	23,72	51,86	31,15	98,78	71,34	93,94	74,43	30,02	18,03	
	H33	37,20	30,95	11,13	9,26	3,29	2,74	3,71	3,09	2,43	2,02	22,06	18,35	33,08	27,51	33,43	27,81	33,70	28,04	19,98	16,62	

	H45	55,55	38,06	14,01	9,60	5,37	3,68	4,68	3,20	2,99	2,05	31,14	21,34	43,06	29,50	71,33	48,87	73,14	50,11	25,40	17,40	
	H46	59,63	39,52	14,57	9,66	5,82	3,86	4,86	3,22	3,10	2,05	33,04	21,90	45,09	29,89	81,07	53,74	83,44	55,31	26,47	17,55	
	H47	75,66	44,99	16,63	9,89	7,55	4,49	5,55	3,30	3,48	2,07	40,21	23,91	52,60	31,28	93,39	73,37	98,94	76,68	30,40	18,08	

	H133	71,90	43,75	16,17	9,84	7,15	4,35	5,40	3,28	3,40	2,07	38,57	23,47	50,90	30,97	92,93	68,71	97,60	71,55	29,52	17,96	
	H134	86,31	48,41	17,87	10,02	8,67	4,86	5,97	3,35	3,71	2,08	44,73	25,09	57,24	32,11	100,00	86,73	93,18	91,53	32,78	18,39	
H135	55,48	38,03	14,00	9,60	5,36	3,68	4,67	3,20	2,99	2,05	31,10	21,32	43,02	29,50	71,15	48,78	72,94	50,01	25,38	17,40		
H136	37,75	31,17	11,23	9,27	3,36	2,77	3,75	3,09	2,45	2,02	22,34	18,45	33,40	27,58	34,41	28,42	34,71	28,66	20,16	16,64		
EPC5 işlemlere dâhil edildi												EPC5 işlemlere dâhil edilmedi										

Tablo 9 ‘da yer alan görevlerde EPC5’in etkilerinin olmadığı kabulü ile yapılan hesaplamalarda HEP_{it} değerlerinin azaldığı, hatta HEP_{it} değerleri arasında çok büyük farklar olduğu tespit edilmiştir. Örneğin G40 “Tıbbi cihazların işleyişinde görülen sıkıntılar, bozukluklar vb. gibi istenmeyen şartlar altında çalışmak” görevinde hemşire H2 için HEP_{it} değerinde ciddi oranda iyileşme olduğu görülmektedir. Bilgilerin doğru aktarılması ve operatör tarafından özümsebilmesi durumunda %33,88 oranında daha az hata eğilimi anlamına gelen bir iyileşme oranı elde edilmiş olacaktır.

Hastaya ait geçmiş ve diğer rutin bilgiler sağlıklı ve eksiksiz bir şekilde aktarılamamaktadır. Sürekli gelişen ve kaliteli sağlık hizmetleri için sürekli ve net veri aktarımı yapılmalıdır. Hizmet akışını devam ettiren hemşirenin hastanın tedavi geçişine tam olarak hâkim olması gerekmektedir. Bu noktada meydana gelen aksaklıklar hemşirelerin görevlerinde hata olasılığı olarak ortaya çıkmaktadır. Araştırma sonuçlarına bağlı olarak önerilebilecek çözümler çerçevesinde teknolojik gelişmeler umut vadetmektedir. Eş zamanlı olarak veri akışı sağlayan özel sistemlerin tasarlanması ile bu tip hatalar önlenebilecektir. Yapay zeka ile güçlendirilmiş ve bellek yönetimi tabanlı çevrimiçi uygulamalar ile arzu edilen kalite düzeyi elde edilebilmektedir. Uluslararası gıda şirketlerinin algısal algoritma tabanlı olarak bu tip önleyici yazılımlar geliştirdikleri ve uyguladıkları bilinmektedir. Yadsınamaz bir gerçek olarak özellikle hizmet sektöründe büyük zorluklara yol açan; hızlı, etkin ve derin teknolojik çözümleri tetikleyen pandemi etkileri, insanların davranış, beklenti ve algı biçimlerini yeniden şekillendirmiş, buna göre hizmetlerin içeriği kuruluş ile müşterileri arasındaki temas noktasındaki etkileşimler çerçevesinde yeni koşullar doğurmuştur (Yılmaz Kaya, 2022). Bu nedenlerle, çalışma sonuçlarına dayanarak bu araştırmada geliştirilen bir diğer öneri olarak karar destek sistemlerinin yardımı ile yeni riskler oluşmadan bertaraf edilebilecekken bu çalışmada önerilen yaklaşım temelinde çalışma yeri ve durumuna bağlı riskler de tespit edilerek iş sisteminden kolaylıkla çıkarılabilecektir. Özellikle bulaş riskinin fazla olduğu özel uygulama alanlarında ve pandemi gibi özel durumların yaşanabileceği gerçeği altında gerek ölçüm gerek yönetsel seviyelerde teknolojik gelişmelerden en uça yararlanacak sistemlerin tasarlanmasında bu çalışmanın önermekte olduğu yaklaşım risk belirleme, değerlendirme ve önleme faaliyetleri için bel kemiğini oluşturabilecek yapıdadır.

6. Sonuç

Bu çalışmada SPC-HEART adı verilen yeni bir yöntem önerilmektedir. Daha somut APOA değerlerinin elde edilmesi açısından daha kolay; uygulama alanları açısından daha zengin ve sağlam bir yöntem sunulmaktadır. Önerilen yöntemde klasik HEART yönteminden farklı olarak her bir kişinin her bir görev için HEP değerleri hesaplanmıştır. Klasik HEART yöntemi uygulansaydı; belirlenen bir görevler için genel bir HEP değeri elde edilir ve bireysel farklılıkların yol açtığı değişimler incelenemezdi. Yeni yöntemde kişilerin görev bazında risk düzeyleri belirlenerek kişinin çalışmaması gereken görevler ortaya çıkarılmaktadır. Çalışma bu yönü ile literatüre katkı sağlamaktadır. Önleyici faaliyetlerin yapılması ile kişilere ait risk düzeyleri düşürülebilir ve her görevde yer almaları sağlanabilir.

Uygulama sürecinde pandemi kısıtlamalarının negatif etkilerinin yanı sıra iş ekosisteminin diğer bir deyişle hizmetin işbirliği yoluyla devam etmesi sürekliliğinin sağlanması mecburiyetinden ötürü çalışma dar kapsamlı olarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca tanımlanan çalışma aralıkları ve vardiya değişkenliği de olumsuz yönde etkili olmuştur. Bahsedilen sınırlılıklara rağmen ulaşılan sonuçlar; kişilerin hata eğilimlerinde iş ortamları ile birlikte bireysel özelliklerinin de etkili olduğunu göstermiştir. Böylelikle literatüre yeni katkılar yapması ile birlikte insan-hata ilişkisine farklı bakış açısı getirmiştir. İşgücü, iş ahlakı, ergonomik çalışma ortamı, ekip işbirliği, ekip deneyimleri, organizasyon kalitesi, bilgi birikimi ve zaman mevcudiyeti vb. gibi değişkenleri ideal seviyede olması, stres ve zihinsel iş yükünü azaltacaktır.

Gelecekteki çalışmalarda SPC-HEART yöntemi farklı sektörlerde çalışan katılımcılar için görev bazında risk düzeylerinin belirlenmesi için kullanılabilir. GTT, EPC ve APOA değerlerinin belirlenmesinde belirsizlik bulanık küme teorisi tabanlı yaklaşımlar ile ele alınarak HEART yöntemi geliştirilebilir. Ayrıca daha fazla fiziksel iş yükü ve zihinsel iş yükü faktörü dikkate alınarak daha kapsamlı sonuçlar elde edilebilir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada S. Cihan Köseoğlu, verilerin toplanması, hedef probleme yönelik modelinin oluşturulması, yöntemin uygulanması, sonuçların yorumlanması ve makalenin oluşturulması, sonuçların yorumlanması, konu ve literatür araştırmasının yapılması; Elif Kılıç Delice, problemin tanımlanması, bilimsel yayın araştırmasının yeterliliğinin incelenmesi, yöntem ve uygulamanın incelenmesi, makalenin oluşturulması ve genel makale incelemesi konularında katkı sağlamışlardır.

Teşekkür

Bu çalışmayı gerçekleştirmek için hem izin hem de uygulama aşamasında yardımlarını esirgemeyen Eğitim ve Araştırma Hastanesi yöntemine ve yoğun iş yüklerine rağmen çalışmaya gönüllü olarak katılan hemşirelere minnettarız.

Çıkar Çatışması

Bu makalenin yazarları arasında herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynakça

Akyuz, E., Celik, M. & Cebi, S. (2016). A phase of comprehensive research to determine marine-specific EPC values in human error assessment and reduction technique. *Saf Sci*, 87, pp.63–75.

doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.03.013>

Aliabadi, M. M. (2021). Human error analysis in furnace start-up operation using HEART under intuitionistic fuzzy environment, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Vol. 69, 104372.

doi: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2020.104372>.

Burton, A. (1935). Human calorimetry: II. the average temperature of the tissues of the body: three figures. *J. Nutr.*, 9 (3), pp.261–280. doi: <https://doi.org/10.1093/jn/9.3.261>

Castiglia, F. & Giardina, M. (2013). Analysis of operator human errors in hydrogen refuelling stations: comparison between human rate assessment techniques. *Int J Hydrogen Energy*, 38 (2), pp.1166–1176.

doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.10.092>

Dunteman G, H. (1989). *Principal components analysis (quantitative applications in the social sciences)*, 1st ed.; SAGE Publications; California, USA, pp.7–55.

Fang, L., Xiao, B., Yu, H., You, Q. (2018). A stable systemic risk ranking in china's banking sector: based on principal component analysis. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 492, pp. 1998–2006.

doi: <https://doi.org/10.1016/j.physa.2017.11.115>

Garvey, P. R. (2001). Track 2: Implementing a risk management process for a large scale information system upgrade- a case study. *INCOSE*, 4 (1), pp.14–18. doi: <https://doi.org/10.1002/inst.20014115>.

Guyton, A. C. & Hall, J. E. (2013). *Tıbbi Fizyoloji*. Çeviri Ed: Prof. Dr. Berrak ÇAĞLAYAN YEĞEN. Nobel Tıp Kitapevleri, 868-877, İstanbul.

Hall, J. C.: Rosbash, M.; Young, Michael. W. (2017). Discoveries of molecular mechanisms controlling the circadian rhythm. *The University of Maine*, pp. 1-7. <https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/press-39.pdf>

Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988). *Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research*. *Human Mental Workload*, 139–183. doi: [https://doi.org/10.1016/s0166-4115\(08\)62386-9](https://doi.org/10.1016/s0166-4115(08)62386-9)

Jolliffe, I. T. & Cadima, J. (2016). Principal Component analysis: a review and recent developments. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 374[2065]. doi: <https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0202>

Kandemir, C. & Celik, M. (2021). Determining the error producing conditions in marine engineering maintenance and operations through HFACS-MMO, *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 206, 107308. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ress.2020.107308>.

Keršulienė, V., Zavadskas, E. K. & Turskis, Z. (2010). Selection Of rational dispute resolution method by applying new step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA). *J Bus Econ Manag*, 11 (2), pp.243–258. doi: <https://doi.org/10.3846/jbem.2010.12>

Kirwan, B. (1988). A comparative evaluation of five human reliability assessment techniques. In *Human Factors and Decision Making: Their Influence on Safety and Reliability*, Elsevier; London, U.K., pp.87–109.

Kotek, L., Zuma, Z., Blecha, P. & Mukhametzianova, L. (2016). In *Risk based workload and staffing level analysis. Risk, Reliability and Safety: Innovating Theory and Practice*, Walls, L.; Revie, M.; Bedford, T. Eds.; CRC Press, London, pp. 87-90. doi: <https://doi.org/10.1201/9781315374987>

Kumar, A. M., Rajakarunakaran, S. & Arumuga Prabhu, V. (2017). Application of fuzzy HEART and expert elicitation for quantifying human error probabilities in LPG refuelling station, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Vol. 48, 186–198. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2017.04.021>.

Kurata, Y. B., Acula, D. J. L., Galingan, R. L., Palines, A. M. J. & Viterbo, J. C. L. (2015). Human Error Reduction for Cost Efficiency Improvement in the Butchery Area of a Chicken Processing Company, *Procedia Manufacturing*, Vol. 3, 346–353. doi: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.170>.

Lucas-Estañ, M. C., Sepulcre, M., Raptis, T. P., Passarella, A., Conti, M. (2018). Emerging trends in hybrid wireless communication and data management for the Industry 4.0. *Electronics*, 7 (12), 400-405. doi: <https://doi.org/10.3390/electronics7120400>

Nunnally, J. C. & Bernstein, I. H. (1994). *Psychometric theory* 3rd ed., New York: McGraw-Hill, 232. ISBN: 007047849X,9780070478497

Oka, T. (2015). Psychogenic Fever: How psychological stress affects body temperature in the clinical population. *Temperature*, 2(3), pp.368–378. doi: <https://doi.org/10.1080/23328940.2015.1056907>

Rogers, A. E., Hwang, W. T., Scott, L. D., Aiken, L. H. & Dinges, D. F. (2004). The working hours of hospital staff nurses and patient safety. *Health Aff.* , 23 (4), pp.202–212. doi: <https://doi.org/10.1377/hlthaff.23.4.202>

Salthouse, T. A. (1991). Mediation of adult age differences in cognition by reductions in working memory and speed of processing. *Psychol Sci*, 2 (3), pp.179–183. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.1991.tb00127.x>

Shlens, J. (2014). *A tutorial on principal component analysis 2005. Educational International Journal of Remote Sensing*, 51(2), pp.1–12. [Google Scholar](#)

Stampi, C. (1992). *Why We Nap*, Birkhäuser: Boston, pp.142–258. doi: <https://www.gwern.net/docs/zeo/1992-stampi-whywenap.pdf>

Tharwat, A. (2016). Principal component analysis- a tutorial. *International Journal of Applied Pattern Recognition*, 3 (3), pp.197–240. doi: <https://doi.org/10.1504/IJAPR.2016.079733>

Torres, Y., Nadeau, S. & Landau, K. (2021). Classification and quantification of human error in manufacturing: a case study in complex manual assembly, *Appl. Sci.*, Vol. 11, No. 2, 749.

doi: <https://doi.org/10.3390/app11020749>

Wang, W., Liu, X. & Qin, Y. (2018). A modified HEART method with FANP for human error assessment in high-speed railway dispatching tasks, *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 67, 242–258.

doi: <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2018.06.002>.

Warm, J. S. , Dember, W. N. & Hancock, P. A. (1996). Vigilance and workload in automated systems. In R. Parasuraman & M. Mouloua (Eds.), *Automation and Human Performance: Theory and Applications*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum, 183-200. [Google Scholar](#) ISBN: 9781315137957

Weaver, M. D., Sletten, T. L., Foster, R. G., Gozal, D., Klerman, E. B., Rajaratnam, S. M. W., Roenneberg, T., Takahashi, J. S., Turek, F. W., Vitiello, M. v., Young, M. W. & Czeisler, C. A. (2021). Adverse impact of polyphasic sleep patterns in humans: report of the national sleep foundation sleep timing and variability consensus panel. *Sleep Health*, 7 (3), pp.293–302. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sleh.2021.02.009>

WHO. (2018). A global imperative for universal health coverage. *Delivering Quality Health Services*, World Health Organization, OECD, and International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank; pp. 45-55. ISBN:9789241513906

Williams, J. C. (1988). Data-based method for assessing and reducing human error to improve operational performance. IEEE Fourth Conference on Human Factors and Power Plants, Monterey, USA, pp. 436-450.

doi: <https://doi.org/10.1109/HFPP.1988.27540>

Wu, Y., Wang, J., Luo, C., Hu, S., Lin, X., Anderson, A. E., Bruera, E., Yang, X., Wei, S. & Qian, Y. A. (2020). Comparison of burnout frequency among oncology physicians and nurses working on the frontline and usual wards during the covid-19 epidemic in Wuhan, China. *J Pain Symptom Manage*, 60 (1), pp.60–65.

doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpainsymman.2020.04.008>.

Yılmaz Kaya, B. (2022). Minimizing OHS Risks with Spherical Fuzzy Sets as a Verdict to Inventory Management: A Case Regarding Energy Companies. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, Article ID 9511339, 1-26. <https://doi.org/10.1155/2022/9511339>

Yılmaz Kaya, B. (2022). Contemplation and analysis of pandemic impacts on accommodation industry and a system reformulation proposal with Kano model: Turkey case. *Current Issues in Tourism*, 25(8), 1226-1241. <https://doi.org/10.1080/13683500.2021.2007860>

Zhou, J. L., Lei, Y. & Chen, Y. (2019). A hybrid HEART method to estimate human error probabilities in locomotive driving process, *Reliability Engineering and System Safety*, 80–89.

doi: <https://doi.org/10.1016/j.ress.2019.03.001>

Ek 1 Görev listesi

No	GÖREVLER
1.	Acil durumlar ile ilgilenmek
2.	Belirsiz rolleri ya da çelişkili vazifeleri yürütmek zorunda kalarak çalışmak
3.	Bilgi toplayıp, kabul-transfer işlemlerini tamamlayarak hastayı üniteye yönlendirmek
4.	Birden fazla işin bir araya gelmesi ve aynı zaman aralığında yapılması
5.	Diğer ekip çalışanlarıyla yaşanan iletişim bozuklukları, çatışmalar vb. gibi şartlar altında çalışmak
6.	Doğrudan ve dolaylı hasta bakım işlemlerini yürütmek
7.	Ekip arkadaşları tarafından uygulanan mobbing (Bezdirme) davranışları altında işlemleri yürütmek
8.	Ekipmanların işleyişi hakkında yeterli bilgiye sahip olamama, oluşan yeni koşullarda ihtiyaca cevap verememe vb. gibi engeller ile çalışmak
9.	Eş zamanlı olarak hekim bilgisi gerektiren işlemlerin, yetkililere zamanında ulaşılamadığı için bireysel bilgi ve deneyimlerle yapılması
10.	Gerekli ilaç ve müdahale işlemleri hakkında yeterli bilginin bulunmadığı işlemlerin yaptırılması
11.	Hasta geçmişi hakkında lazım olan bilgiler olmadan işlemlerin yürütülmesi
12.	Hasta haklarını bilmemek ve işlemleri bu şekilde yürütmek
13.	Hasta ve yakınları ile yaşanan çatışmalar, iletişim bozukluğu vb. gibi şartlar altında çalışmak
14.	Hasta ve/veya yakınlarıyla etkin iletişim sağlayamama vb. gibi durumlara bağlı olarak işlemlerin yürütülmesi
15.	Hasta yakınlarının hemşirelerden, belirli düzeyde empati yapmasını ve duyarlı olmasını beklemesi gibi talepler kapsamında çalışmak
16.	Hasta yakınlarının hemşireye anında ulaşmak istemesi ve ihtiyaçlarının en kısa zamanda giderilmesi yönündeki baskıları altında mevcut işlemlerin yapılması
17.	Hasta/hasta yakınlarının hemşireler arasında tercihte bulunmaları, iyi-kötü, başarılı-başarısız diye ayırmalarının yol açtığı tükenmişlik hali ile çalışmak
18.	Hasta-hemşire arası güven ilişkisinin yeterli olmadığı veya tesis edilemediği koşullar altında çalışmak
19.	Hastalar hakkında edinilen hayati belirtilerdeki değişikliklerin hekime kısa zamanda iletilmemesi ve bu sonuçlar dahilinde çalışmak
20.	Hastaların günlük yaşam aktivitelerine yardımcı olmak
21.	Hastaların yaşadığı acılar ile doğrudan etkileşimde bulunmanın maruziyeti ile çalışmak
22.	Hastanenin ilgili bölümünün hizmet araç ve gereçleri teminindeki yetersizliği vb. gibi aksaklıklar dahilinde işlemleri yürütmek
23.	Hastaya ait raporların hazırlanması
24.	Hastayı desteklemek için tüm sağlık ekibi ile birlikte eş zamanlı çalışmak
25.	Hayati belirtileri ölçme ve izleme, ilaç yönetimi işlemlerini yürütmek
26.	Hemşirelik bakım gereksinimlerini değerlendirmek ve planlamak, hasta takip işlemlerini yürütmek

27.	Hemşirelik bakım ve gereksinimlerini, değerlendirme ve planlamada veri eksikliğinin bulunması ve çalışmaların bu şekilde sürdürülmesi
28.	İlaç ve serum gibi gerekli materyallerin zamanında temin edilememesi vb gibi aksaklıklar ile çalışmak
29.	İşe yeni başlamış tecrübesiz hemşireye karmaşık işlemlerin yaptırılması
30.	İş yükü açısından hemşire sayısının yetersiz olduğu bölümlerde çalışmak
31.	Kan alınırken damarların net görünmemesi ve/veya hissedilememesi durumunda yaşanan başarısızlık hissi ile çalışmak
32.	Kısıtlı karar alma yetkileri ile çalışmak
33.	Öğrenci ve stajyer hemşirelerle yaşanan uyumsuzluklar, çatışmalar vb gibi olumsuzluklar çerçevesinde işlemlerin yürütülmesi
34.	Ön hazırlık ve iş planlaması açısından zaman yetersizliği yaşayarak çalışmak
35.	Pratiğin olmamasından veya ilk defa karşılaşılmamasından kaynaklanan, kritik hastaya müdahalede yetersiz kalınan işlemler
36.	Prosedürler kapsamında doktora yardım etmek
37.	Refakatçisi olmayan hastaların iş yükünü artırması ve işlemlerin bu iş yüküne bağlı olarak tamamlanması
38.	Sadece hekimlerin cevaplayabileceği soruların hemşireye sorulması ile oluşan sıkıntılar dahilinde işlemleri yürütmek
39.	Tansiyon ölçmede net duyamama, hastanın kolu ile manşonun uyumsuzluk göstermesi gibi olumsuzluklar dahilinde işlemleri yürütmek
40.	Tıbbi cihazların işleyişinde görülen sıkıntılar, bozukluklar vb gibi istenmeyen şartlar altında çalışmak
41.	Toner, kâğıt gibi kırtasiye araç ve gereçlerinin yedekte bulunmaması vb gibi olumsuzluklar çerçevesinde işlemlerin yürütülmesi
42.	Uygulamaların hasta/hasta yakınları tarafından dikkatlice izlenmesi, yorumlanması vb gibi durumların yol açtığı psikoloji ile işlemlerin yapılması
43.	Üstlerin direktiflerin ve beklentilerinin etkileri ile işlemlerin yürütülmesi
44.	Vardiya zorlukları, bireysel hakların eksikliği ve zor iş koşullarında çalışmak
45.	Yoğun müdahale gerektiren ve karmaşık süreçlerde hayati bulguları ölçme ve izleme işlemlerini kısıtlı ve dar sürelerde tamamlama zorunluluğu olan işlerin yaptırılması



Journal of Turkish Operations Management

Bir otomobil bakım servisinde müşteri randevu planlaması için model önerisi

İbrahim Yılmaz^{1*}

¹Department of Industrial Engineering, School of Engineering and Natural Sciences, Ankara Yıldırım Beyazıt University, Ankara, Turkey, 06010

e-mail: i.yilmaz@aybu.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-5959-7353>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 07.12.2022

Revize: 12.12.2022

Kabul: 14.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Randevu planlama

Stokastik Metotlar

Örtüşen zamanlama

Araç servis çizelgeme

Özet

Bu makalede stokastik bir hizmet süresi göz önüne alındığında, periyodik bakım hizmetleri sunan bir araç bakım servisinde müşteri bekleme süresini ve teknisyen boş zamanını en aza indirmek için stokastik örtüşen randevu planlama (SOAP) modelini sunulmaktadır. Genel olarak araç bakım veya onarım hizmeti veren yetkili servisler teknisyen kullanımını ve müşteri memnuniyetini en üst düzeye çıkarmak için uygun randevu çizelgeleri belirlemeyi hedeflemektedirler. Ancak, servis işlem sürelerindeki belirsizlikler veya müşterilerin randevuya gelme durumları olduğunda servis hizmeti veren işletmelerde randevu planlarında aksamalara neden olmaktadır. Yaşanan aksaklıklar, teknisyenlerin boş kalmasına veya fazla çalışmasına ya da müşterilerin bekleme sürelerine etki etmektedir. Bu durum, işletmelerin işgücü kullanım oranında azalma, personel fazla mesai ücretlerinde artma, artan bekleme süresinden kaynaklanan müşteri memnuniyetsizliği gibi işletmeler açısından olumsuz sonuçları getirmektedir. Karşılaşılan sorunları en aza indirmek amacıyla müşteri bekleme süresi ile günlük planlanan randevu sayısı arasında denge sağlamayı amaçlayan SOAP modeli geliştirilmiştir. Bu amaçla, müşteri memnuniyetsizliği ve teknisyen kullanım oranından kaynaklanan maliyetleri en aza indirmek için SOAP modelinde randevu planlarındaki uyumsuzluğa sebep olan servis hizmet süresi normal dağılım varsayımı ile analiz edilmektedir. Yapılan benzetim deney sonuçlarına göre SOAP modelini uygulamak için en uygun ortamın; müşterilerinin yüksek gelme oranına sahip, uzun randevu sürelerinde yüksek servis zamanı varyasyon katsayısına sahip olan periyodik servis bakım işlemlerinin gerçekleştiği işletmelerde toplam maliyetlerin % 45-85 oranında azalmaya yol açabileceğini göstermektedir. Sonuç olarak, SOAP randevu planlama modeli ile belirsizliklerin yoğun olduğu sistemlerde etkin olarak kullanılabileceği gösterilmiştir.

Model Suggestion for Customer Appointment Scheduling in an Automobile Maintenance Services

Article Info

Article History:

Received: 07.12.2022

Revised: 12.12.2022

Accepted: 14.12.2022

Keywords:

Appointment scheduling

Stochastic Methods

Overlapping timing

Auto service scheduling

Abstract

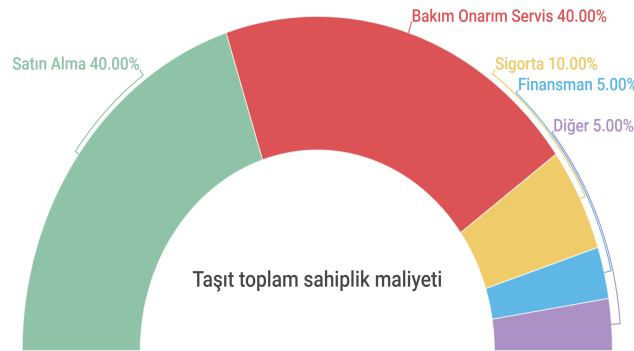
This article addresses a new stochastic overlapping appointment planning model (SOAP) to minimize customer waiting time and technician idle time in an authorized vehicle maintenance service that offers periodic maintenance services. In general, authorized services that provide vehicle maintenance or repair services aim to determine appropriate appointment schedules in order to maximize the use of technicians and customer satisfaction. However, disruptions occur in the appointment plans of service providers when uncertainties in service processing times or customer no-shows appear for appointments. Such disruptions affect the idle or overwork time of the technicians and the waiting times of the customers. As a result of these disruptions, it brings negative consequences for authorized services, such as a decrease in the rate of technician utilization, an increase in

technician overtime wages, and customer dissatisfaction due to high waiting time. In order to minimize such negative consequences, the SOAP model is developed, which provides a balance between the customer waiting time and the number of scheduled appointments per day. In the SOAP model, which aims to minimize the costs arising from customer dissatisfaction and technician utilization rate, the service time that causes the conflict in appointment plans is analyzed with the assumption of normal distribution. Experimental results show that when the SOAP model is applied the total costs can be reduced by 45-85% in workshops where periodic service maintenance operations are carried out and in which have a high rate of customer no-show, long appointment intervals, and a high service time variation coefficient.

1. Giriş

Covid-19 pandemisi ile baş gösteren arz talep dengesinde yaşanan bozulmaların ve çip krizi olarak tanımlanan etkinin azalması ile müşteri memnuniyetinin ön planda tutulduğu işletmeler arası rekabet yeniden artmaya başlamıştır. Artan rekabet ortamında tüm sektörlerde yaşanan değişimler, otomotiv sektöründe de kendini göstermektedir. Otomotiv sektörünün sahip olduğu müşteriler sadece araç alımı ile ilgilenmemektedir. Aynı zamanda, müşteriler firmaların sağlamış oldukları satış sonrası hizmetleri de göz önünde bulundurarak araç satın alma kararlarını vermektedirler. Diğer sektörlerde göre satış sonrası hizmetlerin daha yoğun olarak yaşandığı otomotiv sektöründe, firmaların araçlarının fiziksel özellikleri kadar sağladıkları satış sonrası servis ve bakım hizmetleriyle de fark yaratmaya çalışmaktadırlar.

Gelişen teknolojiler ve artan rekabet şartları nedeniyle firmaların üretim karlıklarını her geçen gün azalmaktadır. Ancak, satış sonrası sağlanan hizmetlerden elde edilen gelir firmalar için her geçen gün dikkat çeken bir değer olarak karşılıklarına çıkmaktadır. Şekil 1’de görüldüğü üzere bir araç için toplam sahip olma maliyetine bakıldığında taşıt satın alma bedeli %40’lık bir orana sahiptir. Yapılan araştırmalar satış sonrası hizmetlerle firmalar karlılıklarını %80 oranında artırabilmektedirler (Dombrowski ve Malorny, 2017). Satış sonrası hizmetlerin en büyük bölümünü ise bakım ve onarım giderleri oluşturmamaktadır. Şekil 1’de görüldüğü gibi yapılan araştırma sonuçlarına göre bakım ve onarım giderleri taşıt bedeli kadar öneme sahiptir. Bu farkındalığa sahip firmalar, müşterilerinin memnuniyetini sadece araç satışında değil aracın toplam sahiplik süresinde de sağlamak için çaba göstererek karlıklarını sürekli olarak arttırmak istemektedirler.



Şekil 1. Taşıt toplam sahip olma bedel dağılımı

Fabrikadan müşteriye aracısız bir satış modeli bulunmamasından dolayı otomotiv sektöründe müşteriler öncelikle yetkili servisler ile tanışmaktadırlar. Ancak, müşteriler taşıt almından daha çok satış sonrası hizmetler için yetkili servislerde zaman geçirmektedirler. Taşıt satın almından sonra araçlarından en iyi performans seviyesinde yararlanmak, orijinal parça desteklerinden faydalanmak, firmanın sunduğu garanti şartlarını sağlamak için firma yetkili servislerini tercih etmektedirler (Gupta ve Williams, 2004). Müşteriler herhangi bir sebeple yetkili servisten memnun kalmadıklarında ilk tercih olarak bölgesinde bulunan diğer yetkili servislere yönelmektedir. Servis işletmeleri açısından değerlendirildiğinde aynı durum müşteri kaybı olarak büyük maddi sorunlara sebep olmaktadır. Yetkili servislerde sunulan hizmetler, müşterilerin sadece servis hizmetlerini tercih etmede değil aynı zamanda müşterilerin yeni araç alımında etkileyen unsurlar arasında bulunmaktadır. Giardelli ve diğ. (2007) satış sonrası servis işlemlerine harcama para miktarının araç satın alma bedelinin 3 katına kadar yükselebileceğini ortaya çıkarmaktadır. Bu yüzden, araç üreticileri müşterilerini kaybetmemek için yetkili servislerde yaşanan müşteri şikayetleri ile yakından ilgilenmektedirler. Bu çalışmada satış sonrası hizmet veren yetkili servislerde yaşanan müşteri memnuniyetsizliklerin de önemli yer tutan müşteri bekleme süresi ile teknisyen kullanım oranını en

iyilemeyi amaçlayan stokastik örtüşen randevu planlama (SOAP) modeli önerilmektedir. Önerilen SOAP model Anderson ve diğ. (2015) tarafından sunulan OLAS (overlapping appointment scheduling) modelinden geliştirilmiştir. Geliştirilen SOAP modeli ile yetkili servislerin karlılık oranı, teknisyen kullanım oranı ve müşteri memnuniyetlerinin artması hedeflenmektedir.

Yetkili servis hizmeti veren araç bakım servislerinin randevu planlamaları bir kuyruk sisteminden oluşur. Aracını servise getiren bir müşteri belirtilen saatte servise geldiğinde, eğer bir önceki müşterinin bakım faaliyetlerinin planlanandan uzun sürmesi veya istenilen parçanın bulunmaması nedeniyle teknisyenin müsait olacağına garantisi bulunmamaktadır. Çoğu zaman müşteriler, önceki aracın işlemi tamamlanana kadar kendi araçlarının işleme alınmasını beklemek zorundadırlar. Bu durum müşteri memnuniyetsizliğine neden olmaktadır. Tüm müşteriler periyodik bir muayene önceden randevu alırlar ve belirtilen randevu saatinde işlemlerinin tamamlanmasını beklerler. Periyodik bakım esnasında araçlarının serviste kaldıkları süre zarfında müşteri tarafından kullanılmaması veya yetkili servislerin müşterilerin buldukları lokasyonlara uzak olması nedeniyle yaşanan aksaklıklar zaman kayıplarına yol açmaktadır. Bu yüzden araçların belirtilen sürede müşterilere teslim edilmesi gerekmektedir.

Randevu planlarında karşılaşılan diğer bir sorun ise müşterilerin planlanan randevu saatinde gelmemesidir. Bu durum teknisyenin boşta kalmasına ve randevu kayıplarına neden olarak servis hizmeti veren işletmelerin gelir kaybına yol açmaktadır. Lombard ve diğ., (2020) 15 teknisyen için geçmiş verilerin analizi ile teknisyen çalışma saatlerinde planlanan randevular analiz ederek, teknisyen kullanımının iki hafta boyunca %25 ile %150 arasında değiştiğini göstermiştir. Randevu iptalleri veya randevuya gelmeme sorunları karşılaşılan bir işletmede, bir müşterinin işlemleri alınsımdık derecede uzun hizmet süresine sahipse, müşteri randevu saatinde son derece geç gelirse veya hiç gelmezse randevu sisteminde kaos olması muhtemeldir. Sonuç olarak, bu çalışmada geliştirilen SOAP modelinin amacı, randevuları belirli bir zaman periyodu ile örtüşen randevu planlama modeli geliştirmek ve ardından belirli bir işletmenin müşteri profili özellikleri için en uygun örtüşme süresini belirlemektir.

Örtüşen randevular, bir müşteriye ait randevunun beklenen bitiş saatinde (ft_i) daha önce planlanan randevular ($ft_{(i+1)}$) olarak tanımlanmaktadır. İki randevu arasındaki fark ($ft_i - ft_{(i+1)}$) örtüşme periyodu olarak da adlandırılır. Müşteriler randevuya gelmediğinde veya teknisyenler bakım işlemlerini daha erken bitirdiğinde, çakışan randevu stratejisi teknisyenin boşta geçirdiği zamanı azaltmayı hedeflemektedir. Bu sayede, ek randevular oluşturularak sisteme yeni müşterilerin eklenmesi sağlanabilmektedir. SOAP modeli uygulanması ile yetkili servis hizmeti veren işletmeler için kaynaklarının etkin kullanılması için ek kazanç sağlanacaktır. Ancak, örtüşen randevu periyodunun iyi belirlenememesi sebebi ile teknisyenler fazla mesai yapabilir bu durum ise işletmelere ek maliyet çıkarabilir. Ayrıca, işlem sürelerinin uzaması veya belirsizliklerinin artması sonucunda müşteri bekleme süresi artacak ve bu durum sonucunda ise müşteri bekleme süresini artırarak müşteri memnuniyetsizliğine neden olabilecektir. Müşteri ve işletme arasında oluşan çatışan amaçları en iyilemek için örtüşen randevu periyodunun belirlenmesi kritik öneme sahiptir. Önerilen SOAP modeli ile müşterilerin bekleme süreleri ve randevularına gitmeme durumları ile teknisyenlerin boş kalma durumları ve fazla mesai durumlarını göz önünde bulundurularak en uygun örtüşen randevu periyodu hesaplanmıştır. Hesaplanan örtüşen randevu periyodu, tüm mesai süresine dağıtılarak bir randevu periyodu üzerine etkisi farklı simülasyon senaryoları ile analiz edilecektir.

Bu makalenin geri kalanı aşağıdaki gibi özetlenmiştir. Farklı sektörleri de içeren randevu planlama modellerine ait literatür araştırması Bölüm 2'de sunulmaktadır. Önerilen SOAP modelinin detayları ve çözüm metodolojileri Bölüm 3'te açıklanmıştır. SOAP model performansının çeşitli ortamlardaki benzetim temelli deneysel sonuçları ve analizleri Bölüm 4'te tartışılmaktadır. Son bölüm olan Bölüm 5'te ise sonuç, öneriler ve gelecekteki yapılması öngörülen çalışmalar hakkında bilgiler verilmiştir.

2. Literatür Taraması

Otomobil servisinde servis ve onarımlar için araç randevularının planlanması kuruluşların genel verimlilik ve müşteri memnuniyeti üzerinde etkisi vardır. Çalışmanın bu bölümünde, literatürde, farklı endüstrilerde yararlanan çizelgeleme sistemlerinin verimliliğini ve etkinliğini tanımlayan gereksinimler, yetkili araç bakım servislerinde randevu planlamalarında müşteri beklentilerinin neler olduğu ve yetkili araç bakım servislerinde randevu planlama örneklerine yer verilmektedir.

Otomotiv sektöründe satış sonrası bakım onarım hizmetlerini veren işletmeler özel ve yetkili servis olmak üzere iki ana grup altında toplanmaktadır. Yetkili servisler, araç üreticisi tarafından araç hakkında eğitim alan gerekli standartları sağlayarak sertifikalara sahip olan işletmeler olarak tanımlanmaktadır. Bu gerekli standartlar arasında müşteri memnuniyet araştırmaları da yer almaktadır (Kahraman ve Dinç, 2016). Bu sayede araç üreticileri müşterilerin satış sonrası hizmetlerden memnuniyetlerini de takip edebilmektedirler. Aksi takdirde müşteri kaybı yalnızca yetkili servis ile sınırlı kalmayarak araç üreticileri içinde bir tehdit oluşturacaktır (Timur ve Sarıyer, 2004). Otomotiv sektöründe müşteri memnuniyetinin devamlılığı sağlayabilmek için servis sağlayıcılarına büyük sorumluluklar düşmektedir. Araç servis işlemleri için gelen müşterilerin memnuniyet seviyesini artırmak, müşterilerin marka aidiyetini ve bağlılığını etkilemektedir. Bu sayede üreticiler, müşterilerini ellerinde tutabilecekler ve pazardaki acımasız rekabet koşullarında ayakta kalabileceklerdir (Dombrowski ve Malorny,

2017). Müşteri memnuniyetini karşılayamayan veya yeterli seviyede müşterilerine önem vermeyen yetkili servisler müşterilerinin diğer yetkili servislere veya özel servislere yönelmelerine neden olmaktadır.

Özel servisler, üreticiler tarafından yetkilendirilmemiş, teknik ve donanım alt yapısı daha sınırlı olan ancak daha ekonomik servis hizmeti sunan yerlerdir. Bu servislerin tercih edilme sebepleri arasında ekonomik olmaları ilk sırayı almaktadır. Ancak, araç üreticileri müşterilerinin özel servislere gitmemeleri adına garanti, parça temini veya teknik servis yetkisi gibi bağlayıcı şartlar koymaktadırlar. Bu şartlara rağmen müşteriler ekonomik açıdan daha uygun olan özel servisleri tercih etmektedirler. Özel servis ve yetkili servisleri tercih eden müşterilerin hizmet beklentilerinde veya önceliklerinde farklılıklar bulunduğu, özel servislerde müşteri şikâyetlerinin daha fazla olduğu, dolayısıyla müşteri memnuniyetinin daha düşük durumda olduğu ifade edilmiştir (Sezgin ve Arat, 2008). Bu yüzden yetkili servisler müşterilerinin memnuniyetini düşünürken, maliyet kriterini de göz önünde bulundurmalıdırlar (Tekin, 2006; Karahan ve Dinç, 2016).

Günümüzde artan maliyetler karşısında müşteriler kaliteli hizmeti en düşük maliyetle almaya, işletmeler ise yüksek müşteri memnuniyeti en az maliyetle sunma çabasıdadırlar (Gaiardelli ve Lucrezia Songini, 2007). Bu açıdan değerlendirildiğinde, literatürde müşteri memnuniyetini en iyilerken, işletme maliyetleri en aza çekmek için bir çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda müşteri memnuniyetlerine etki eden ve sektörün daha büyük bir karlılık oranına sahip olmasına olanak sağlayacak yöntemler önerilmektedir. Bu yöntemler arasında toplam kalite yönetimi yaklaşımı ile müşterilerin memnuniyet kriterleri belirlenerek, servis personellerinin eğitim seviyesinin artırılması vurgulanmıştır (Akçay ve Okay, 2009). Toplam kalite yönetiminin yanı sıra istatistiksel süreç kontrolü ve malzeme ihtiyaç planlamasında rekabet gücünü artırmada etkili olduğu ortaya konulmuştur (Laosirihongthong ve Dangayach, 2005).

Karahan ve Dinç (2016) yaptıkları çalışmada araç servis hizmetlerinden yararlanan 20 adet müşterinin servis tercihlerini etkileyen faktörleri belirlemeye yönelik yapmış oldukları çalışma sonucunda çalışmaya katılanların %38'i verilen randevu zamanına uyulmasını önemli bulurken %49'u ise randevu zamanına uyulmasını çok önemli olduğunu vurgulamışlardır. Sonuç olarak yapılan anket çalışmasına katılanların %87'si randevu saatinin müşteri memnuniyeti açısından önemli olduğunu vurgulamışlardır. Lombard ve diğ. (2020) araç servis işlemlerinin yapıldığı işletmelerde randevu çizelgelemenin müşteri memnuniyeti etkileyen ana faktörlerden olduğu aynı zaman teknisyen kullanım oranı üzerinde de en etkin faktör olduğunu vurgulamıştır.

Randevu planlama modelleri birçok farklı sektörde çalışanların boşta kalma zamanlarını en aza indirmek, müşteri bekleme sürelerini en aza indirmek, kapasite kullanım oranını en iyilemek veya planlama periyodunda en fazla müşteri hizmet sunmak amacıyla kullanılmaktadır (LaGanga ve Lawrence, 2012). Bu amaçlar başta sağlık sektörü olmak üzere, restoran işletmeciliği, hotel rezervasyonları, bilet satış planlamalarında etkin olarak kullanılmaktadır.

Chen ve diğ., (2018) tarafından çifte rezervasyon stratejisi ile fazla randevu alındığında bir sağlık tesisindeki operasyonel maliyet ile hasta deneyimi arasında bir denge olduğu belirlenmiştir. Ayrıca çifte rezervasyonun, hastaların gelmemesi nedeniyle sistem verimsizliğini azaltabileceğini gözlemlenmiştir (Chen ve diğ., 2018). Randevuların geç iptal edilmesi ve randevu sahiplerinin randevu saatinde hazır bulunmamaları nedeniyle, boş kontenjanları doldurmak için neredeyse imkansız olmaktadır. Bu durum, muayene merkezinin işleyişini ciddi şekilde etkilemektedir. Randevu sahiplerinin gelmeme durumlarının sistem üzerinde oluşturduğu etkileri analiz etmek ve en uygun fazla randevu miktarını belirlemek için Monte Carlo benzetim yöntemi ile modelleme yöntemleri etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Camargo, 2021; Ahmadi ve diğ., 2017).

Ayrıca, müşterilerin hotel randevularına gelmeme olasılığını tahmin etmek için bazı makine öğrenimi tekniklerini uygulanarak, bu kişiler olduğu randevu dilimlerine en iyi çifte rezervasyon limitlerini belirlemek için bir model önerisi geliştirilmiştir (Antonio, 2017). Restoran endüstrisindeki müşterilerin randevularına gelmeme ve son anda gerçekleşen iptalleri yönetmek için haber satıcısı modelinin bir uzantısı geliştirilerek, lüks ve kaliteli restoranlar için genişletilmiş bir kapasitenin oluşturulabildiği gösterilmiştir (Chiang, 2021).

Literatürde yapılan çalışmalar göz önüne alındığında, araç servis hizmeti sunan işletmelerde randevu planlama sistemleri blok randevu sistemleri ya da dalga modelleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu modellerde müşteri özelliklerine göre değil işletme kapasitesinin en iyilemesine göre planlamalar yapılmaktadır. Önerilen çalışma ise araç servis hizmeti sunan işletmelerde hem müşteri hem de işletmenin özellikleri göz önünde bulundurularak bir yeni randevu modeli önerilmektedir. Önerilen model ile fazla randevu süresi tahmin edilerek kabul edilebilecek fazla randevu sayısının belirlenmesi hedeflenmektedir. Bu çalışma ile literatürde hizmet sektöründe servis sürelerinin büyük değişimler gösterdiği ve yüksek randevuya gelmeme durumlarının yaşandığı işletmeler için etkin bir randevu sistemi önerilmektedir. Önerilen çalışmada kullanılan metodoloji üçüncü bölümde açıklanmaktadır.

3. Metodoloji

Stokastik Örtüşen Randevu Planlama (SOAP) Modeli

Bu çalışmada bir araç bakım servis hizmetleri sunan işletmede randevu planlama periyodu için örtüşen randevu modeli sunulmaktadır. Bu amaçla, bir araç bakım servisi işletmesinde çalışan randevuların etkisini belirlemek

üzere sunulan model ile teknisyen boşa kalma süresi ve müşteri bekleme süresini birlikte içeren bir amaç fonksiyonu ile analiz edilmektedir. Oluşturulan modelde müşteri gelmeme durumunu analiz etmek için normal dağılım kullanılarak genel bir amaç fonksiyonu oluşturulmuştur. Oluşturulan fonksiyon dağılım parametreleri, ortalama servis süresi ve maliyet katsayıları ile test edilerek, sunulan model hakkında sonuçlara ulaşılmıştır. Oluşturulan model ve denklemlerde kullanılan notasyonlar Tablo 1’de tanımlanmıştır.

Tablo 1. Notasyonlar ve tanımları

Notasyonlar	
B_n	n . randevu aralığı için gerçekleşen servis uzunluğu
f_i	i . müşteriye ait randevunun beklenen bitiş saati
V_n	n . randevu aralığı için verilen randevu uzunluğu
MO	Maliyet oranı
N	Randevu periyodunda beklenen hasta sayısı
O	Randevu periyodunki örtüşen randevu periyodu
TM	Toplam maliyet
x	İşlemin tamamlanması için en az süre
y	İşlemin tamamlanması için en fazla süre
Z	Servis çalışma zamanı
α	Teknisyen boşa kalma birim zaman maliyeti
γ	Müşteri gelmeme ihtimali
δ	Müşteri bekleme birim süre maliyeti
ϑ	Teknisyen fazla mesai birim süre maliyeti
ω	Teknisyenin boşa kaldığı birim süre

Örtüşme periyodunu belirlemek için kullanılan model, Anderson ve diğ. (2015) tarafından geliştirilen modelden esinlenilerek, bekleme süresi ve teknisyen boşa kalma süresine bağlı olarak toplam maliyeti azaltmak amacıyla randevular arası örtüşme süresini belirlemek için geliştirilmiştir. Geliştirilen modelin amaç fonksiyonu maliyet fonksiyonu olarak Eş.1’de gösterilmektedir.

$$E[TM] = \alpha \sum_{n=1}^N [(B_n - V_n)P(V_n < B_n)] + \beta \sum_{n=1}^N [(V_n - B_n)P(B_n < V_n)] \quad (1)$$

Teknisyen boşa kalma maliyeti ve müşteri bekleme maliyeti benzer şekilde hesaplanmaktadır. Örneğin, teknisyen boşa kalma maliyeti hesaplanırken, maliyet parametresi (α), tüm randevular için beklenen teknisyen boşa kalma süresi ile çarpılır. Diğer bir ifade ile beklenen teknisyen boşa kalma süresi, beklenen hizmet süresinin fiili hizmet süresinden çıkarılarak randevu süresinin beklenen ortalamadan az olma olasılığı ile çarpılmasıyla hesaplanır. Diğer yandan, müşteri bekleme maliyeti ise maliyet parametresi, tüm randevular için beklenen hasta bekleme süresi ile çarpılır. Beklenen hasta bekleme süresi, fiili hizmet süresinin beklenen hizmet süresinden çıkarılması ve ardından randevu süresinin beklenen süreden uzun olma olasılığı ile çarpılmasıyla hesaplanır. Bu aşamada normal dağılım olasılık durumlarını tanımlamak için modelin analizinde kullanılmaktadır. Gerçek randevu zamanının beklenen randevu zamanından daha az olma olasılığı kümülatif dağılım fonksiyonuna bağlıdır ve bu durum Eş.2’de gösterilmiştir.

$$P(V_n < B_n) = \frac{B_n - x}{y - x} \quad (3)$$

İşlem süresinin ortalamadan büyük olma olasılığı için, aynı denklemin 1'den çıkarılmasıdır. Bunun nedeni, meydana gelebilecek yalnızca iki sonuç olmasıdır, ya teknisyen bekler ya da müşteri bekler. Bu iki sonucun toplamı her zaman 1'e eşittir (Anderson ve diğ., 2015). Sonuç olarak, maliyet denklemi Eş.4 ile ifade edilir.

$$E[TM] = \alpha \sum_{n=1}^N \left[(B_n - V_n) \left(\frac{B_n - x}{y - x} \right) \right] + \beta \sum_{n=1}^N \left[(V_n - B_n) \left(1 - \frac{B_n - x}{y - x} \right) \right] \quad (4)$$

Eş.4 daha sonra, beklenen maliyetin belirlenmesinde örtüşme periyodu dikkate alınarak yeniden oluşturulur. Örtüşme periyodu, beklenen randevu uzunluğundan örtüşme süresi çıkarılarak eklenir ve toplam maliyet (TM) fonksiyonu Eş.5 ile gösterilmektedir.

$$E[TM] = \alpha \sum_{n=1}^N \left[(B_n - O - V_n) \left(\frac{B_n - O - x}{y - x} \right) \right] + \beta \sum_{n=1}^N \left[(V_n - B_n + O) \left(1 - \frac{B_n - O - x}{y - x} \right) \right] \quad (5)$$

Eş.5'te belirtilen fonksiyonun birinci ve ikinci türevleri alınarak, oluşturulan toplam maliyet fonksiyonunda örtüşme periyodunu da içeren bir en küçük noktanın varlığı tanımlanmaktadır. Eğer 1. türevi alınabiliyorsa, en küçük nokta değerleri bulunabilir. Bu amaçla, beklenen toplam maliyet fonksiyonunun birinci Türevi Eş.6'da gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

$$\frac{df}{dO} = \frac{(2\beta + 2\alpha)O + \beta y + \alpha x + (\beta + \alpha)V_n - 2B_n \beta - 2\alpha B_n}{y - x} \quad (6)$$

Daha sonra ikinci türevi kontrol edilerek birinci türevinden elde edilen sonuçların optimal sonuçlar olduğu söylenecektir. Bu amaçla, beklenen toplam maliyet fonksiyonunun ikinci türevi Eş.7'de gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

$$\frac{d^2f}{dO^2} = \frac{2(\beta + \alpha)}{y - x} \quad (7)$$

β ve α değerleri her zaman sıfırdan büyük olacaktır. Aynı zamanda x alacağı değerler bakımından y değerinden küçük olduğu için Eş.7'nin değeri her zaman sıfır dan büyük bir değer olacaktır. Sonuç olarak, Eş.5'te verilen toplam maliyet fonksiyonunun konveks yapıda olduğu gösterilmektedir. Bu durum ise en uygun örtüşme periyodunun hesaplanabileceği açıklamaktadır. En uygun örtüşme periyodu hesabı ise Eş.6'nın sıfıra eşitlenmesi ile tanımlanabilmektedir. Eş.6 sıfıra eşitlenerek O değeri Eş.8 ile gösterilmiştir.

$$\frac{(2\beta + 2\alpha)O + \beta y + \alpha x + (\beta + \alpha)V_n - 2b\beta - 2ab}{y - x} = 0 \quad (8)$$

$$O = \frac{-\beta y - \alpha x - \beta V_n - \alpha V_n + 2B_n \beta + 2\alpha B_n}{2\beta + 2\alpha}$$

Gerçekleşen servis uzunluğunun (B_n) sabit olmaması nedeniyle, örtüşme periyodunun beklenen değeri ($E[O]$), B_n rastgele değişkenin alabileceği tüm olası değerlerin ağırlıklı ortalaması olarak hesaplanmaktadır. Bu nedenle, (O) fonksiyonunun, B_n 'nin en alt limitinden (x) üst limitine (y) rasgele değişkenlerinin olasılık dağılımı ile çarpılarak elde edilen fonksiyonun integrali alınarak hesaplanacaktır. Oluşturulan denklem Eş. (9)'da gösterilmektedir.

$$E[O] = \int_x^y g(O) \cdot f(B) dB \quad (9)$$

Eş. 9 yardımıyla oluşturulan $E[O]$ aşağıda Eş. 10 ile tanımlanmaktadır.

$$E[O] = \int_x^y \frac{-\beta y - \alpha x - \beta V_n - \alpha V_n + 2B_n\beta + 2\alpha B_n}{2\beta + 2\alpha} \cdot \frac{1}{y-x} dB \quad (10)$$

İntegral işlemi sonucunda beklenen örtüşme periyodu Eş. 11'de gösterilmiştir.

$$E[O] = \frac{(4B_n - 3y - x)\beta + 4\alpha B_n - (y - 3x)\alpha}{4\beta + 4\alpha} \quad (11)$$

Bu aşamada sistemlerin kendi karakteristik özelliklerine göre analizler Eş. 11'de gösterilen denklem yardımıyla yapılmasına imkan sağlayacaktır. Eş. 11'de, genel olarak incelendiğinde, denklemin bileşenleri arasında maliyet, hizmet süresi değişkenliği (dağıtım parametreleri) ve ortalama hizmet süresi arasında bir ilişki ortaya çıkmaktadır. Bir sonraki bölümde simülasyon analizinde önerilen örtüşme periyodunun etkilerini gösterebilmek için denklem katsayıları değiştirilerek farklı senaryolarda önerilen SOAP modelinin randevu sistemi üzerindeki olası etkileri daha detaylı ve ayrıntılı olarak incelenecektir.

4. Simülasyon Sonuçları ve Analizler

Bu bölümde simülasyon modeli geliştirilerek ve çeşitli senaryolar üzerinde örtüşme dönemlerinin analizi yapılarak, önerilen modelim toplam maliyet üzerinde etkisi incelenmektedir. Simülasyon modeli ile elde edilen sonuçlar daha sonra hangi örtüşme döneminin en düşük maliyete yol açtığını ve çeşitli örtüşme dönemleri arasındaki farkı belirlemek için kullanılmaktadır. Simülasyon modelinin tercih edilme nedeni ise, farklı dağılım parametreleri dikkate alındığında, $E[TM]$ 'nin birinci ve ikinci türevlerini değerlendirerek optimal örtüşme süresini analiz etmek son derece zor olması ve türev hesaplamalarının karmaşıklığı nedeniyle, çeşitli örtüşme dönemlerinin minimum maliyetini belirlemek için bir Monte-Carlo simülasyon modeli kullanılmıştır. Monte-Carlo simülasyon modeli kullanmadaki bir diğer sebep ise müşterilerin servislere gelmeme durumunu daha kolay gösterebilmek için tercih edilmiştir.

Servis sistemlerin randevu planlarında tutarsızlığa neden olan en büyük sorunların başında, önceden randevu alan bir müşterinin randevu saatine riayet etmemesi gelmektedir. Diğer bir ifade ile müşteriler randevularına zamanında gelmelerinin yanında, işletmeler açısından olumsuz olarak randevuya geç gelebilir ya da hiç gelmeyebilir. Bu durumlarda servis işletmeleri olumsuz durumlarla karşılaşır, bu durumların oluşturduğu maliyetlerle başa çıkmak için önlem almaya çalışırlar. Müşterilerin gelmeme durumu ortaya çıktığında işlem yapılan servis süresi azalacak ve teknisyenin boşa kalma süresi artacaktır. Bu durum Eş. 12 ile gösterilmektedir.

$$V_n = \begin{cases} 0, & \gamma < 0,4 \\ V_n, & \gamma \geq 0,4 \end{cases} \quad (12)$$

Müşterilerin gelme ya da gelmeme durumları da stokastik bir yapıya sahip olduğundan bu durumların ifade edilmesi matematiksel modellerle çok zor olmaktadır. Sonuç olarak, daha karmaşık ortamları incelemek için simülasyon modeli bu bölümde kullanılmaktadır.

Simülasyon modeli, maliyet hesabı için Eş. 13 de belirtilen toplam maliyet fonksiyonunu temel almaktadır. Bu çalışmada tercih edilen araç bakım servislerinin toplam maliyet fonksiyonu (TM), teknisyenin boşa kaldığı süre (TBM), toplam müşteri bekleme süresi (MBM) ve teknisyen fazla mesai süresinden (TFM) oluşmaktadır. TM Eş.13 ile tanımlanmıştır.

$$TM = \alpha TBM + \beta MBM + \omega TFM \quad (13)$$

Eş. 13'te teknisyenin boşa kaldığı birim süre maliyeti α ile, toplam müşteri bekleme birim süre maliyeti β ile ve teknisyen fazla mesai birim süre maliyeti ω ile gösterilmiştir. Toplam maliyet fonksiyonun 3 bileşeni olan TBM , MBM ve TFM Eş. 14-16 ile gösterilmektedir.

$$TBM = \alpha(B_n - O - V_n), \text{ eğer } B_n > V_n \quad (14)$$

$$MBM = \beta (V_n - O - B_n), \text{ eğer } V_n > B_n \quad (15)$$

$$TFM = \omega \left(\sum_{n=1}^N B_n - Z \right), \text{ eğer } \sum_{n=1}^N B_n > Z \quad (16)$$

Simülasyon modelinde uygulanan aşamalar Tablo 2’de gösterilmiştir. Simülasyon modeli için yapılan tekrarlarının sayısı ile optimum örtüşme süresini hesaplamak amaçlanmıştır. Daha fazla tekrar sayısı çalıştırılarak, optimum örtüşme süresinin değişimi, örtüşme süresine etki eden olası örüntüleri tanımlamak ve bu örüntülerdeki değişkenlerin etkisinin en az olduğu durumları tespit edilmiştir. Tüm bu senaryolar için ortalama minimum daha sonra şu şekilde seçilir:

Tablo 2. Önerilen simülasyon modelinin aşamaları

Adım	Açıklama
Adım 1.	N adet V_n ve B_n için rassal sayı üret.
Adım 2.	Örtüşme periyodu O için en az ve en çok değerleri belirle
Adım 3.	V_n seç ve B_n ile karşılaştır
Adım 4.	$B_n > V_n$ ise Eş. 13 uygula
Adım 5.	$V_n > B_n$ ise Eş. 14 uygula
Adım 6.	Eğer N adet sayı işleme alınmadıysa Adım 3. dön
Adım 7.	$\sum_{n=1}^N B_n > Z$ ise Eş.15 ile TFM hesapla
Adım 8.	En az ve en çok değer aralıklarındaki O değerlerini Eş. 12 ile test et
Adım 9.	En uygun örtüşme periyodu O değerini hesapla

Simülasyon modeli, 1) maliyet oranlarının örtüşme periyodu üzerine etkisini, 2) fazla mesai uygulmasının toplam maliyet üzerine etkisini, 3) önerilen örtüşme periyodunun teknisyen kullanımına olan etkisini, 4) üzerine müşteri gelmeme durumu ve servis verimliliği arasındaki ilişkisini ve 5) örtüşme periyodunu ile sistem verimliliğinin analizi yapmak için farklı senaryolarda çalıştırılmıştır. söz konusu senaryolar için en uygun örtüşme süresini belirlemek amacıyla 100 tekrar için çalıştırılarak ortalama örtüşme süreleri belirlenmiştir. Kullanılan parametre değerleri, araç bakım servislerin randevu ile yapılan periyodik bakım işlem süreleri göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Maliyet analizlerinde kullanılan birim maliyet değerleri ise araç bakım işletmelerinin yöneticileri ile yapılan mülakatlar sonucu karşılaştırılmıştır. Ancak yapılan analizler bir genel sistem modeli olarak belirlendiği için parametre değerlerinin güncellenerek veya değiştirilerek kullanılması modelin çalışması üzerinde herhangi bir etki oluşturmayacaktır. Simülasyon modelinde kullanılan parametrelerin özeti Tablo 3’te gösterilmektedir.

Tablo 3. Simülasyon parametre özeti

Parametre	Açıklama	Değerler
B_n	n . randevu aralığı için gerçekleşen servis uzunluğu	$U \sim (a, b)$
V_n	n . randevu aralığı için verilen randevu uzunluğu	$U \sim (35, 90)$
O	Randevu periyodunki örtüşen randevu periyodu	$[-45, 45]$
MO	Maliyet oranı	$[1-30]$
Z	Servis çalışma zamanı (dk.)	480 dk.
x	Uniform dağılım alt limiti	20
y	Uniform dağılım üst limiti	120
α	Müşteri bekleme birim süre maliyeti (₺)	$[10-40]$
ω	Teknisyen fazla mesai birim süre maliyeti (₺)	$[10-40]$

α	Teknisyen boşa kalma birim zaman maliyeti (₺)	[5-15]
γ	Müşteri gelmeme ihtimali	[%10-50]

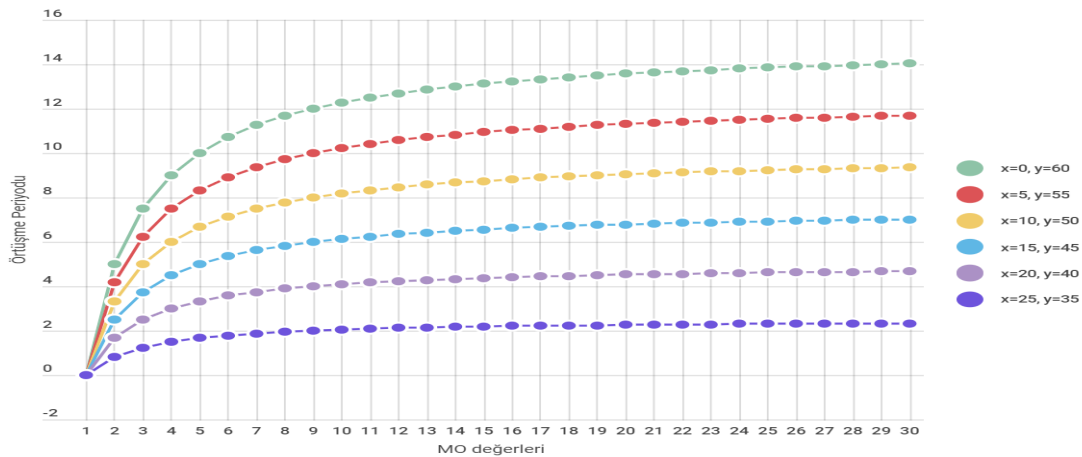
Tablo 2'deki adımlar takip edilerek ve Tablo 3'te belirtilen parametreler kullanılarak elde edilen 5 ayrı senaryo için simülasyon modelinin sonuçları ve analizleri aşağıda belirtilmektedir.

4.1 Teknisyen boşa kalma (α) ve müşteri bekleme (β) maliyet oranlarının örtüşme periyodu üzerine etkisi

Teknisyen boşa kalma (α) ve müşteri bekleme (β) birim maliyet oranı Eş. (17) ile aşağıda tanımlanmıştır (Anderson, 2015). Maliyet oranlarının örtüşme periyodu üzerine etkilerinin gösterilirken MO değerleri 1 ile 30 arasında alınmıştır. Şekil 2'de belirtildiği gibi MO değerlerinin 30'dan büyük olduğunda örtüşme periyodu üzerinde etkisinin çok az olduğu anlaşılmaktadır.

$$MO = \frac{\alpha}{\beta} \quad (17)$$

Maliyet oranının etkisi işletme ortamında bulması muhtemel parametrelerle altı farklı servis süresi dağılımı için analiz edilmiştir. Şekil 2'de gösterildiği gibi teknisyen boşa kalma maliyetinin aşırı yüksek olması belirli bir noktadan sonra örtüşme periyodu üzerindeki etkinin sınırlı olduğu anlaşılmaktadır. Örtüşme periyodu değerleri istikrarlı bir şekilde yükselir ve sonra düzleşir veya başka bir deyişle yatay bir eğri oluşmaya başlar.

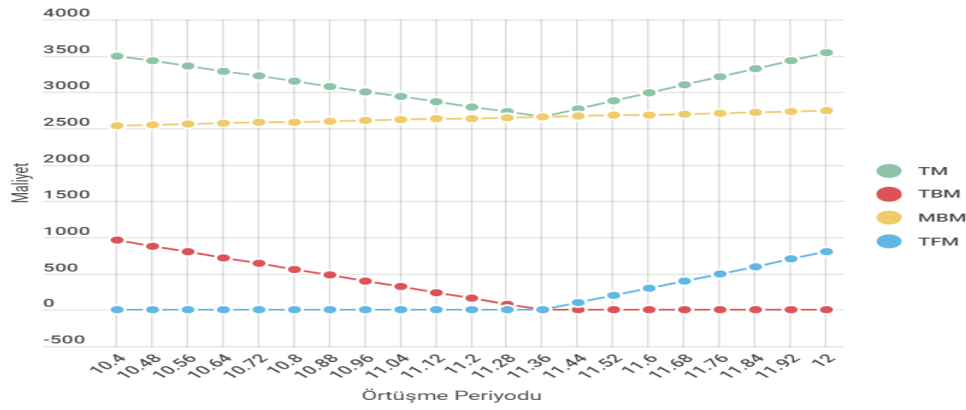


Şekil 2. MO değerlerine karşı örtüşme periyodu

Şekil 2'de görüldüğü gibi servis sürelerindeki aralık değeri azaldıkça, örtüşme periyodu daha küçük değerler almaktadır. Bir başka ifade ile, servis sürelerinde yaşanan belirsizliklerin fazla olduğu durumlar yüksek miktarda randevu çizelgelerinde sapmalar oluşmaktadır. Örtüşme periyodunun yüksek olduğunda, eğer işletme fazla randevu veya çifte rezervasyon yapmaz ise yüksek miktarda fırsat maliyeti ile karşılaşabilecektir. Sonuç olarak, önerilen örtüşme periyodu modeli ile servis sistemlerinde yaşanan randevu planlama sorunlarına karşı etkin çözüm önerileri getirilmektedir.

4.2 Örtüşme periyodu uygulamasının toplam maliyet üzerine etkisini

Daha karmaşık ortamları incelemek için toplam maliyet fonksiyonuna simülasyon modelinde teknisyen fazla mesai maliyeti ve müşteri gelmeme oranı eklenerek dört ayrı maliyet dikkate alınmıştır. Bu maliyetler, Eş. 13-16'da belirtilen toplam maliyet, teknisyen boşa kalma maliyeti, müşteri bekleme maliyeti ve teknisyen fazla mesai maliyeti olarak tanımlanmıştır.

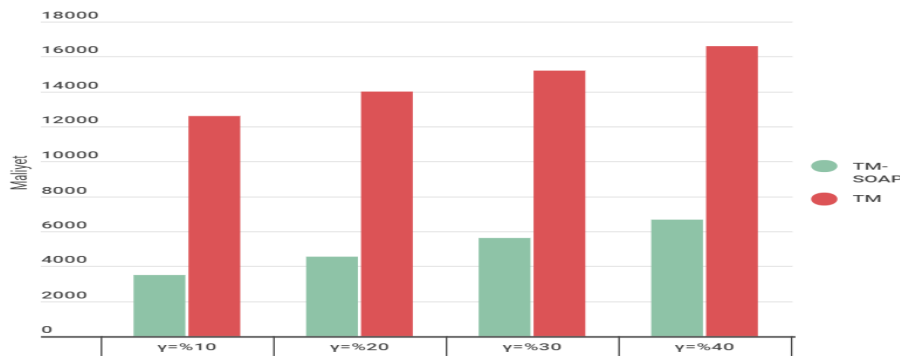


Şekil 3. Örtüşme periyodunun toplam maliyet üzerine etkisi

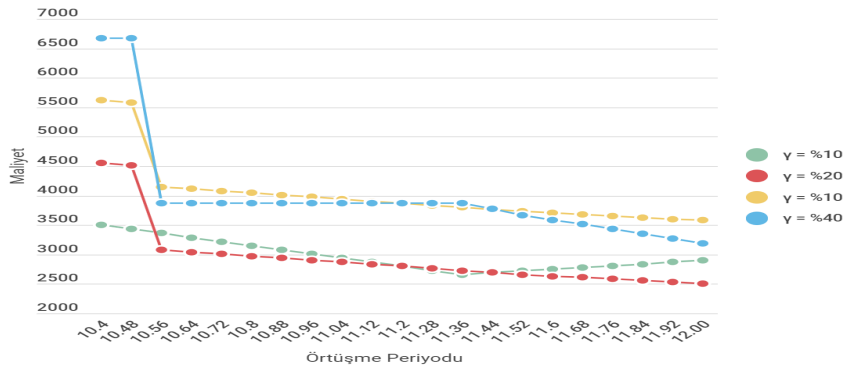
Şekil 3'te örtüşme periyodunun maliyet birimleri analiz edilirken, teknisyen boşa kalma, müşteri bekleme maliyetleri ve fazla mesai maliyetleri Tablo 3'de belirtilen parametreler dikkate alınarak incelenmiştir. Yapılan simülasyon denemeleri sonucunda parametre değerleri belirlenmiştir ($\alpha = 40$, $\beta = 15$, $\omega = 50$, $\gamma = \% 40$). Daha yüksek olan gelmeme oranına sahip müşteriler için analizler yapıldığında, toplam maliyetin daha büyük olduğu çünkü teknisyen boşa kalma maliyetinin büyük ancak müşteri bekleme maliyetinin düşük olduğu görülmektedir. Bu durum ise önerilen SOAP modeli ile tüm teknisyenlerin işlerini bitirdikten sonra diğer randevu saati başlama süresinden önce işlerini bitirmesi durumunda teknisyenin mesai süresinin geri kalan kısmında boşa kalmayacağı varsayılır. Ayrıca, yüksek bir gelmeme oranı ile fazla mesai yapılma olasılığı daha düşük olacağından işletmeler fazla mesai maliyetini ile düşük seviyede kalabilirler. Ancak, bu durum kapasite kullanım oranı, fırsat maliyeti gibi diğer istenmeyen maliyetleri de beraberinde getirmektedir.

4.3 Müşteri gelmeme ihtimalinin toplam maliyet üzerine etkisi

Müşterilerin randevulara gelmemelerinin maliyetler üzerindeki etkisini göstermek için gelmeme oranı %10-40 olarak tercih edilmiştir. Toplam maliyet üzerine etkisi Şekil 4'te gösterilen, gelmeme oranı değiştirildiğinde benzer durumlar ortaya çıkmaktadır. Gelmeme olasılığı arttıkça, müşterilerin sistemde bulunma sayıları azalmaktadır. Bu durum servis işletmelerinde kaynakların etkin kullanımını olumsuz etkilemekle kalmayarak aynı zamanda randevu alamayarak hizmet verilemeyen müşteri sayısını da olumsuz yönde etkilemektedir. Ayrıca, randevu saatinde bulunmayan randevu sahipleri, randevu periyodu boyunca teknisyenin boş kalmasına da sebep olmaktadır. İşletme boşa kalan teknisyen için sabit ödemelerini yapacağı için, teknisyenin boşa kalma maliyetine maruz kalacaklardır. Önerilen SOAP modeli ile teknisyen boşa kalma maliyeti, fırsat maliyeti en uygun seviyeye çekilerek toplam maliyet üzerine % 80'e kadar iyileşme elde edilmektedir. Şekil 4'te gösterildiği üzere müşteri gelmeme olasılığı arttığında servis işletmelerinin toplam maliyeti artmaktadır. Ancak, randevu sistemine önerilen SOAP modeli uygulandığında ise işletmelerin toplam maliyetlerinde önemli ölçüde avantaj sağladığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4. Müşteri gelmeme ihtimalinin toplam maliyet üzerine etkisi

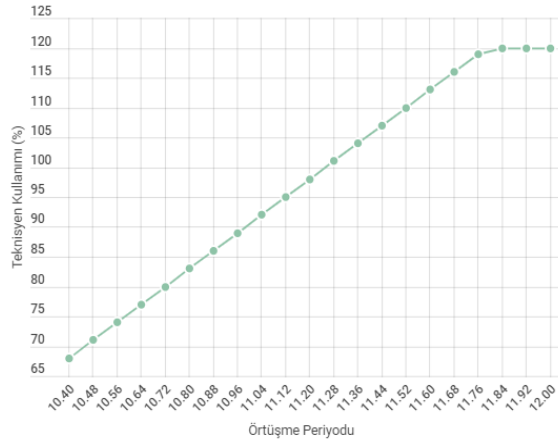


Şekil 5. Müşteri gelmeme ihtimalinin farklı örtüşme periyotları üzerine etkisi

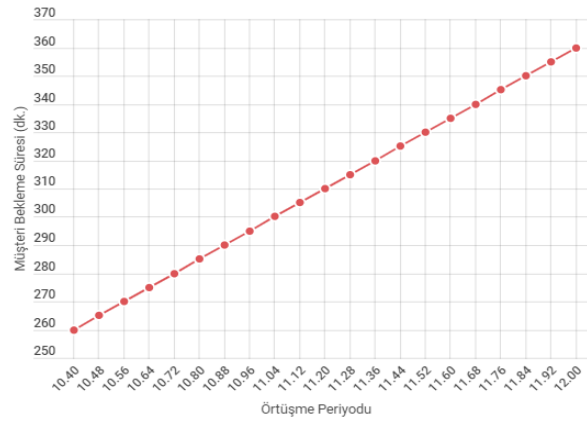
Müşterilerin randevu saatlerinde işletmede bulunmama olasılıkları ile SOAP modelinin etkinliği arasındaki ilişki analiz edildiğinde, önerilen randevu planlama modelinin farklı gelmeme olasılık değerlerine göre benzer özellikler gösterdiği gözlemlenmiştir. Şekil 5'te gösterildiği gibi artan gelmeme olasılıklarında, önerilen SOAP modeli toplam maliyet üzerinde en uygun örtüşme periyoduna kadar hızlı bir azalış gösterirken en uygun seviyeye ulaştıktan sonra ise modelin toplam maliyet üzerinde etkisinin azaldığı gözlenmektedir. Şekil 3'te belirtildiği üzere teknisyen boşa kalma maliyeti üzerinde önerilen randevu modeli en uygun örtüşme periyodunun aşılması durumunda müşteri bekleme maliyeti ve teknisyen fazla mesai maliyeti artacağından servis işletmelerinde toplam maliyet üzerinde olumlu etkisinin azalacağı belirlenmiştir. Sonuç olarak, önerilen SOAP modeli ile müşterilerinin gelmeme oranı yüksek olan işletmelerde etkin çözümlere ulaşılmaktadır.

4.4 SOAP Modelinin Hizmet Kazançları Üzerinde Etkisi

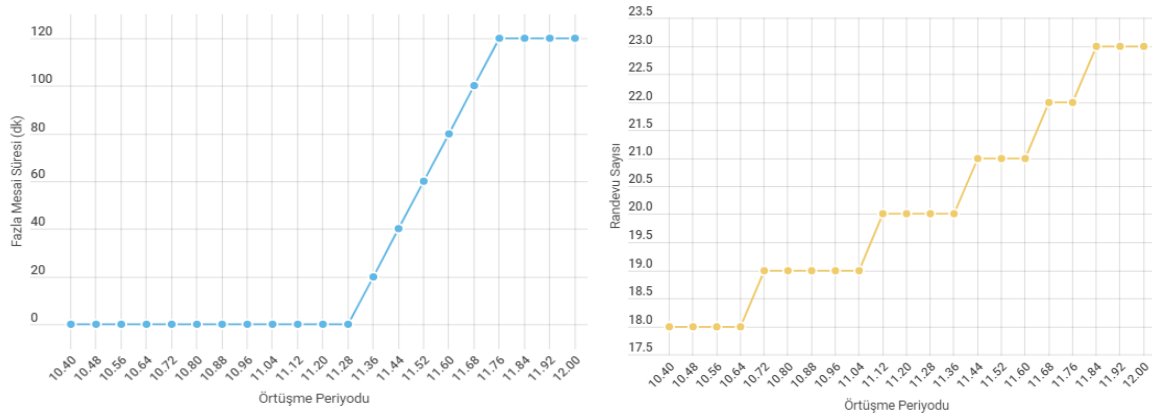
Yapılan simülasyon analizi sonuçlarına göre Şekil 6'da gösterilen SOAP modelinin randevu planlarına ilişkin bir dizi önemli çıkarımları göstermektedir. Bu amaçla, örtüşme periyodunun teknisyen kullanım oranına etkisi, müşterilerin randevu süreleri gelmeden önce bekleme süreleri üzerine etkisi, SOAP modeli ile fazla randevu sayısı üzerine etkisi ve teknisyen fazla mesai süreleri analiz edilmiştir.



Şekil 6.a. Teknisyen kullanımına etkisi



Şekil 6.b. Müşteri bekleme süresine etkisi



Şekil 6.c. Fazla mesai süresine etkisi

Şekil 6.d. Randevu sayısına etkisi

Şekil 6. SOAP modelinin hizmet kazançları üzerinde etkisi

Şekil 6.a ile teknisyen kullanım oranının yasal sınırlar doğrultusunda maksimum seviyeye kadar artırılabilceği gösterilmektedir. Bu durum teknisyenler %20 daha fazla çalışmasına neden olacaktır. Teknisyen kullanım oranının önerilen SOAP modeli ile %65 seviyelerinde %120 seviyelerine çıkması mümkün olacaktır. Aynı zamandan, servis işletmelerinin bu sayede işgücü kullanım oranını da benzer bir şekilde artıracaktır. Ancak, teknisyen kullanım oranı artarken, yapılan fazla işlemlerden dolayı müşteri bekleme sürelerinde artış olması kaçınılmazdır. Şekil 6.b'de gösterildiği gibi işlem sürelerinin belirsizliğinden kaynaklanan servis işlemlerinde öngörülemez sarkmalar olması kaçınılmazdır. Bu durum ise müşterilerin sistemde uzun süre beklemesine sebep olmaktadır. Müşteri bekleme maliyetinin etkileri düşünüldüğünde, toplam maliyet üzerinde olumsuz bir etkisinin olacağı açıktır. Benzer bir trend ise teknisyen fazla mesai sürelerinde ortaya çıkmaktadır. Şekil 6.c'de teknisyen fazla mesai sürelerinin farklı örtüşme periyodu sürelerine göre değişimi göstermektedir. Teknisyen kullanım oranının %100 seviyesine ulaşmasından sonra teknisyen fazla mesai sürelerinin ortaya çıktığı gösterilmektedir. Fazla mesai sürelerinin belirlenen sınırlara kadar yükseltilebileceği Şekil 6.c'de gösterilmektedir. Randevu planlamaları yapılırken, eğer sabit işlem süreleri var ise toplam çalışma süre işlem süresine bölünerek toplam randevu sayısına ulaşılmaktadır. Ancak, işlem süresinin sabit olmadığı, farklı işlemlerin aynı mesai süresinde yapıldığı işletmelerde ise randevu sayısı toplam işlem süresinin toplam mesai süresine eşit olmasına kadar artırılarak bulunur. Şekil 6.c'de SOAP modeli uygulaması ile örtüşme periyodunun randevu sayısına olan etkisi gösterilmektedir. Randevu sayısının üst limitinin teknisyen süresi ile sınırlandırılması ile toplam randevu sayısının %35'e kadar yükseltilmesi mümkün olacaktır. Şekil 6'da fazla randevu süresi almanın, incelenen simülasyon senaryoları ve kullanılan parametreler aralığında net fayda kazanımları sağladığını göstermektedir. SOAP, yüksek gelme oranlarına ve işlem süresi değişkenliklerinin yüksek olduğu büyük işletmeler için toplam maliyet bakımından yararlı olduğu gösterilmektedir.

5. Sonuçlar ve Tartışmalar

Bu çalışma ile araç bakım işletmelerinde karşılaşılan randevu planlama sorunlarını en aza indirmeyi amaçlayan stokastik örtüşen randevu planlama (SOAP) modelini sunulmaktadır. SOAP modeli stokastik bir hizmet süresi göz önüne alındığında, müşteri bekleme süresini ve teknisyen boş kalma zamanını en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Müşteriler ve işletme arasında oluşan sorunlarını ortadan kaldırmak için örtüşen randevu periyodunun belirlenmesi kritik öneme sahiptir. İşletmeler kaynaklarını verimli kullanmayı amaçlarken, müşteriler ise işlemlerinin en kısa sürede ve en az maliyetle yapılmasını beklemektedir. Ancak, randevu sistemlerinin stokastik yapısı gereği beklentilere aynı anda ulaşılamamaktadır. Müşterilerin bekleme süreleri ve randevularına gitme durumları ile teknisyenlerin boş kalma durumları ve fazla mesai durumlarını göz önünde bulundurularak en uygun örtüşen randevu periyodu hesaplanması gerekmektedir. Önerilen SOAP modeli ile hesaplanan örtüşen randevu periyodu, tüm mesai süresine dağıtılarak bir randevu periyodu üzerine etkisi farklı simülasyon senaryoları ile analiz edilmiştir. Bu sayede, servis işletmeleri randevuya gelme durumunda yaşanan teknisyen kullanım oranından en az seviyede etkilenecek, diğer yandan ise müşteriler daha erken tarihli randevuya ulaşabilecek ve kabul edilebilecek en uzun bekleme süresinde işlemlerini tamamlayabileceklerdir. SOAP modeli uygulaması sonucunda servis işletmelerinde yapılan simülasyon senaryolarına göre %40-85 arasında toplam maliyetlerinde azalma sağlanmıştır.

Önerilen SOAP modelinin analizi için Monte-Carlo simülasyon modeli kullanılmıştır. Simülasyon modeli ile farklı dağılım parametreleri dikkate alınarak örtüşme süresini analiz edilmiştir. Çeşitli örtüşme dönemlerinin minimum

maliyetini belirlemek için yapılan hesaplamalarının karmaşıklığı nedeniyle bir Monte-Carlo simülasyon modeli geliştirilerek analizlerde tercih edilmiştir. Monte Carlo simülasyon modeli dört farklı durumu analiz etmek için kullanılmıştır. İlk olarak teknisyen boşta bekleme maliyeti ve müşteri bekleme maliyetleri oranlarının örtüşme periyodu üzerine etkileri analiz edilmiştir. Bu aşamada servis ortamında bulunması muhtemel altı farklı servis süresi dağılımı için analiz edilerek teknisyen boşta kalma maliyetinin yüksek olması nedeniyle belirli bir noktadan sonra örtüşme periyodu üzerindeki etkisinin sınırlı olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, teknisyen boşta kalma maliyetinin çok yüksek olduğu durumlarda müşteri bekleme durumu göz ardı edilebilecektir. İkinci analiz olarak, simülasyon modelleri değiştirilerek farklı koşullar altında önerilen SOAP modelini incelemek için toplam maliyet fonksiyonuna teknisyen fazla mesai maliyeti ve müşteri gelmeme oranı eklenerek üç ayrı maliyet olarak toplam maliyet fonksiyonu oluşturulmuştur. Analiz sonucunda, yüksek gelmeme oranına sahip müşterilerin bulunduğu randevu planında, toplam maliyetin daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum ise önerilen SOAP modeli ile tüm teknisyenlerin işlerini bitirdikten sonra diğer randevu saati başlama süresinden önce ek işlemlerin yapılmasına imkan sağlanmasını ortaya çıkarmaktadır. Daha sonra, Müşteri gelmeme ihtimalinin toplam maliyet üzerine etkisi analiz edilerek, önerilen SOAP modelinin randevu saatlerine riayet edilme oranının düşük olduğu işletmelerde daha etkin çalıştığını göstermektedir. Son olarak, SOAP modelinin hizmet kazançları üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. SOAP modelinin uygulanması ile teknisyen kullanım oranı %125'e kadar artış gösterebilmekte, bir mesai süresinde randevu sayıları %30'a kadar artış göstereceği belirlenmiştir. Ayrıca, önerilen SOAP modelinin dezavantajı olarak müşteri bekleme sürelerindeki artış ve teknisyen fazla mesai sürelerindeki artış miktarları da analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre örtüşme periyodu arttıkça müşteri bekleme süresi ve teknisyen fazla mesai süresinde bir artış olmaktadır. Ancak, bu artışlar müşteriler ve işletmeler için kabul edilebilir düzeyde olacağından, artan hizmet kalitesi ve azalan maliyet miktarları nedeniyle bu dezavantajlar göz ardı edilebilecek düzeyde kalmaktadır.

Bu çalışmada daha yüksek sayıda müşteriye hizmet etme fırsatından bahsedilmiş ancak modelde sayısallaştırılmamıştır. Mevcut analizlerde maliyetlerin en uygun seviyeye çekilmesi hedeflenmektedir. Ayrıca, modele bir kar fonksiyonu eklenerek, fazla müşteri kabulünün faydaları analiz edilmesi önerilen modelin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır. Bu çalışmada, müşterilerin randevularına gelmeme olasılıklarının belirlenmesinde normal dağılım takip edilmiştir. Ancak, farklı olasılık dağılımlarının önerilen model ile analizlerinin yapılması, işletmeler için hangi dağılım uygun olacağı belirlenmesine imkan sağlayacaktır. Önerilen modelde, müşteri önceliklendirilmesi ve ağırlıklandırılması bulunmamaktadır. Müşterilerin gelmeme durumları, şu ana kadar işletme özelliklerine göre belirlenmiştir. Müşterilerin geçmiş verileri analiz edilerek, her bir müşterinin gelmeme olasılıkları müşteri özelinde değerlendirilerek daha etkin modellere ulaşılması gelecek çalışmalarda kullanılacaktır.

Çıkar Çatışması

Yazar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmiştir.

Kaynakça

- Ahmadi-Javid, A., Jalali, Z., & Klassen, K. J. (2017). Outpatient appointment systems in healthcare: A review of optimization studies. *European Journal of Operational Research*, 258(1), 3-34. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.06.064>
- Akçay, M. ve Okay, Ş. (2009). Otomotiv Yetkili Servis Dış Müşterilerinin Eğitim Seviyelerine Göre Memnuniyet Düzeylerine Etki Eden Faktörler Üzerine Bir Alan Araştırması *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(1), 25-40. <https://search.trdizin.gov.tr/yayin/detay/93560/>
- Alkan, H. (n.d.). Otomotiv Sektörünün En Değerli Gelir Kaynağı; Satış Sonrası Hizmetleri – Oto Sevdası. <https://www.otosevdasi.com/otomotiv-sektorunun-en-degerli-gelir-kaynagi-satis-sonrasi-hizmet/> Erişim tarihi 06.12.2022.
- Anderson, K., Zheng, B., Yoon, S. W., & Khasawneh, M. T. (2015). An analysis of overlapping appointment scheduling model in an outpatient clinic. *Operations Research for Health Care*, 4, 5-14. <https://doi.org/10.1016/j.orhc.2014.12.001>
- Antonio, N., De Almeida, A., & Nunes, L. (2017). Predicting hotel booking cancellations to decrease uncertainty and increase revenue. *Tourism & Management Studies*, 13(2), 25-39. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.06.064>

- Camargo Jr, A. S. (2021). Outpatient regulation system in health management: economic benefits of technological innovations. *Innovation & Management Review*, 18(1), 90-106. <https://doi.org/10.1108/INMR-03-2020-0035>
- Chen, Y., Kuo, Y. H., Fan, P., & Balasubramanian, H. (2018). Appointment overbooking with different time slot structures. *Computers & Industrial Engineering*, 124, 237-248. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.07.021>
- Chiang, C. I. (2021). Overbooking as a means to manage restaurant no-shows and cancellations: a novel model extension. *Journal of Hospitality & Tourism Research*, 10963480211064356. <https://doi.org/10.1177/10963480211064356>
- Dombrowski, U., & Malorny, C. (2017). Service planning as support process for a lean after sales service. *Procedia CIRP*, 64, 324-329. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.080>
- Gaiardelli, P., Saccani, N., & Songini, L. (2007). Performance measurement of the after-sales service network—Evidence from the automotive industry. *Computers in Industry*, 58(7), 698-708. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2007.05.008>
- Gupta, N., & Williams, E. J. (2004). Simulation improves service and profitability of an automobile service garage. In *Proceedings of the 16th European Simulation Symposium*. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=dbf62e995826ebfad3dbd2668148387c40af762b>
- Ho, T. W., Kung, L. C., Huang, H. Y., Lai, J. F., & Chiu, H. M. (2021). Overbooking for physical examination considering late cancellation and set-resource relationship. *BMC Health Services Research*, 21(1), 1-20. <https://doi.org/10.1186/s12913-021-07148-y>
- Karahan, M., & Dinç, H. (2016). Otomobil Bakım ve Servis Hizmetleri Tercihine Etki Eden Faktörlerin Belirlenmesi. *MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 5(3), 199-214. <https://dergipark.org.tr/en/pub/mjss/issue/40505/485348>
- LaGanga, L. R., & Lawrence, S. R. (2012). Appointment overbooking in health care clinics to improve patient service and clinic performance. *Production and Operations Management*, 21(5), 874-888. <https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.2011.01308.x>
- Laosirihongthong, T., & Dangayach, G. S. (2005). A comparative study of implementation of manufacturing strategies in Thai and Indian automotive manufacturing companies. *Journal of Manufacturing Systems*, 24(2), 131-143. [https://doi.org/10.1016/S0278-6125\(05\)80013-5](https://doi.org/10.1016/S0278-6125(05)80013-5)
- Lombard, A., T. S. Hattingh, and E. Davies. (2020). Improving vehicle service schedules at an automobile company. *SAIIE31 Proceedings*, 677-694. <https://www.researchgate.net/publication/345661532>
- Sezgin, M., & Tugay, A. R. A. T. (2008). Otomobil servislerinden yararlanan müşterilerin memnuniyeti üzerine bir araştırma/A research on customers' satisfaction using automobile services. *Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 5(10), 257-273. <https://dergipark.org.tr/en/pub/mkusbed/issue/19559/208523>
- Tekin, M. (2006). *Üretim Yönetimi*. (2. Cilt). Konya: Günay Ofset. ISBN: 4236621443227
- Timur, N., & SARIYER, N. (2004). Kayseri'deki otomobil bayilerinde müşteri tatmin aracı olarak şikâyet toplama yöntemlerine ilişkin bir uygulama. *Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 1(17), 9-32. <https://dergipark.org.tr/en/pub/erusosbilder/issue/23750/253033>
- Yayar, R., ÇOBAN, N., & Tekin, B. (2015). Otomobil sahipliğini etkileyen faktörlerin belirlenmesi: Tokat ili kentsel alanda bir uygulama. *Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, 22(2), 603-617. <https://doi.org/10.18657/yecbu.30802>



Journal of Turkish Operations Management

OECD yetkinlik çerçevesinin Türkiye'deki kâr amacı gütmeyen örgütler bağlamında analizi

İhsan Aytekin^{1*}

¹Ankara Sosyal Bilimler Üniversitesi, Hükümet Meydanı, No 2, Ulus, Altındağ / Ankara
e-mail: ihsan.aytekin@asbu.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0003-3344-6140>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 28.08.2022

Revize: 02.09..2022

Kabul: 26.09.2022

Anahtar Kelimeler:

İnsan Kaynakları Yönetimi,
Yetkinliklere Dayalı İnsan Kaynakları
Yönetimi,
Kar Amacı Gütmeyen Kurumlar,
Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci

Özet

Yetkinlik bazlı insan kaynakları uygulamalarının ana amacı çalışanların etkinlik ve verimliliklerini artırma yoluyla örgütsel performansı yükseltmektir. Toplumlara önemli katkılar sunmasına karşın, kâr amacı gütmeyen kurumların, etkinlik ve verimlilik problemleri yaşadığı bilinmektedir. Bu çalışmanın temel amacı da OECD yetkinlik çerçevesinin Türkiye'deki benzer kurumlar bağlamında, bulanık analitik hiyerarşi süreci yaklaşımı ile bir analizini yapmak ve söz konusu kurumların insan kaynakları yönetimi süreçlerinde faydalanabilecekleri bir kritik yetkinlikler seti geliştirmektir. Çalışanlar ve yöneticiler için ayrı ayrı yapılan analiz sonuçlarına göre, yöneticiler açısından stratejik yetkinlikler, çalışanlar açısından ise kişilerarası yetkinlikler daha önemli yetkinlik gruplarıdır. Buna ek olarak tek tek yetkinliklerin önem derecesi analiz edilmiştir. Bu analizin bulgularına göre en kritik yetkinliklerin, yöneticiler için sırasıyla stratejik düşünme, müşteri odaklılık, yetenek geliştirme, diplomatik duyarlılık ve stratejik ilişkiler geliştirme; çalışanlar için ise müşteri odaklılık, diplomatik duyarlılık, takım çalışması, müzakere ve başarı odaklılık olduğu görülmektedir. Her iki grupta ortak olan yetkinlikler ise müşteri odaklılık ve diplomatik duyarlılık yetkinlikleridir. Bu sonuçlar literatür ile kıyaslı olarak tartışılmış ve ilgili kurum ve araştırmacılar için öneriler geliştirilmiştir.

Analysis of the OECD competency framework in the context of non-profit organizations in Turkey

Article Info

Article History:

Received: 28.08.2022

Revised: 02.09.2022

Accepted: 26.09.2022

Keywords:

Human Resources Management
Competency-Based Human Resources
Management
Non-Profit Organizations
Fuzzy Analytical Hierarchy Process

Abstract

The main purpose of competency-based human resources practices is to increase organizational performance by increasing the efficiency and productivity of employees. It is known that non-profit organizations have efficiency and productivity problems, despite their significant contributions to societies. The main purpose of this study is to make an analysis of the OECD competency framework in the context of similar institutions in Turkey, with the fuzzy analytic hierarchy process approach, and to develop a set of critical competencies that these institutions can benefit from in their human resources management processes. According to the results of the analysis made separately for employees and managers, strategic competencies for managers and interpersonal competencies for employees are more important competency groups. In addition, the importance of each competency was analyzed. According to the findings of this analysis, the most critical competencies for managers are strategic thinking, customer orientation, talent development, diplomatic sensitivity, and strategic relations development, respectively, and for employees are customer focus, diplomatic sensitivity, teamwork, negotiation, and success orientation. The common competencies in both groups are customer orientation and diplomatic sensitivity. These results were discussed in comparison with the literature and

1. Giriş

İnsan kaynakları, örgütlerin ekonomik, finansal, çevresel ve iş performansları ile sürdürülebilirlikleri açısından stratejik öneme sahiptir. Bu nedenle örgütler, sahip oldukları insan kaynaklarına odaklanmakta ve onlardan daha fazla verim sağlamak için çeşitli uygulamalar geliştirmektedir (Kramar, 2014; Macke ve Genari, 2019; Renwick, Redman ve Maguire, 2013). Diğer yandan bilimsel ve teknolojik gelişmeler ile endüstri 4.0 geçişleri, çalışanların mevcut yetkinlikleri ile çevresel gelişmeler sonucu ortaya çıkan gereklilikler arasında sürekli olarak bir açık oluşturmakta ve bu durum, örgütlerin daha etkili insan kaynakları uygulamaları geliştirmelerini ihtiyaç haline getirmektedir (Whysall, Owtram ve Brittain, 2019). Bu ihtiyaca bir cevap olarak yetkinliklere dayalı yaklaşım ortaya çıkmıştır.

Yetkinlik kavramını, insan kaynakları bağlamında sistematik bir şekilde dile getiren ilk araştırmacılardan biri olan David McClelland (1973), iş dünyasında geleneksel yöntemlerin iş ve genel yaşam başarısı açısından artık yeterli olmadığını, bunun yerine yetkinlik bazlı uygulamaların geliştirilmesi gerektiğini ifade etmiştir. Çünkü yetkinlikler, iş performansı ya da başka alanlardaki yaşam başarısının temel girdisi olan bilgi, beceri, yetenek, özellik ya da motifleri ifade eder ve başarı, ancak bunlara sahip olan kişilerin ulaşabileceği bir seviyedir. Bu nedenle de genelde tüm toplum fertlerinin, özelde ise çalışanların yetkinliklerine yatırım yapılması gerekir. Görüldüğü üzere McClelland'ın yetkinlik yaklaşımı sadece iş ile ilişkili olanları değil, aynı zamanda hayatın her alanında elde edilecek başarılar için gerekli olan değişkenleri kapsamaktadır.

Yetkinlik bazlı uygulamalarda belirli bir başarı yakalanması nedeniyle hem akademik alanda hem de uygulamacılar düzeyinde yetkinlik bazlı insan kaynakları yönetimi (YBİKY) yaklaşım giderek ilgi görmeye başlamıştır. ABD'de yapılan araştırmalarda örgütlerin yaklaşık %80'nin yetkinlikleri çeşitli insan kaynakları yönetimi uygulamalarında kullandıkları raporlanmıştır (Shippmann, Ash, Batitsta ve Andriani, 2000). Bu bağlamda farklı amaçlara, sektörlere hatta işletmelere yönelik yetkinlik modelleri geliştirilmiştir (Ör., Ahmadi, Yazdani ve Mohammad-Pour, 2017; Aisha, Sudirman, Siswanto ve Andriani, 2019; Çetinkaya ve Özutku, 2012; Mansfield, 1996; Mietzner ve Kamprath, 2013; Piwowar-Sulej, 2021; Shaheen, Azam, Soma ve Kumar, 2019). Benzer şekilde, farklı alanlardaki otorite kurumların yetkinlikler ve yetkinlik çerçevesi üzerinde çalışmaları bulunmaktadır (Beatty, 2019; Salas-Pilco, 2013). İş dünyası, kamu yönetimi ve eğitim alanı için yetkinlik çalışmaları yapan ya da bu yönde çalışmaları organize eden kurumların başında OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) gelmektedir. OECD, söz konusu alanlar için raporlar hazırlamış, seminerler düzenlemiş ve bunlardan farklı alanlarda kullanılacak yetkinlik setleri geliştirmiştir (Ör., OECD, 2010; 2015). Kurum, aynı zamanda kendi bünyesindeki işlerin etkin ve verimli bir şekilde yapılabilmesi için çalışanlarının sahip olması gereken yetkinliklerden oluşan bir yetkinlik çerçevesi geliştirmiştir (OECD, 2014).

Ancak gerek araştırmacılar gerekse de otorite kurumlar tarafından geliştirilen yetkinlik çerçevelerinin gerçek hayatta örgütler tarafından hangi insan kaynakları uygulamalarında kullanıldıkları ve bu yetkinliklerin hangilerinin daha yüksek öneme sahip olduğu ile ilgili literatürdeki çalışmaların sayısı oldukça sınırlıdır. Özellikle Türkiye açısından bakıldığında, başta kamu kurumları olmak üzere, ülkedeki kurum ve kuruluşların yetkinlik bazlı insan kaynakları uygulamalarında, dünyanın oldukça gerisinde olduğu görülmektedir (Aytekin, 2022; Kruyen ve van Genugten, 2019). OECD yetkinlik çerçevesi, benzer kurumlar açısından bir çerçeve sunmakla birlikte hangi yetkinliklerinin hangi düzeydeki çalışanlar açısından daha kritik olduğu netleştirilmemiştir. Bu boşluğa katkı sunmak amacıyla Türkiye bağlamında yapılan bu çalışma ile OECD yetkinlik çerçevesinin bir analizi yapılmıştır. Bu analiz ile hangi yetkinliklerin ve yetkinlik gruplarının daha kritik önemde olduğu, çalışanların pozisyon düzeyi dikkate alınarak tespit edilmeye çalışılmıştır. Yetkinliklerin kritiklik düzeyini tespit etmek için çok değişkenli karar verme yöntemlerinden bulanık analitik hiyerarşi yaklaşımı kullanılmıştır. Araştırma sonucunda, alanda faaliyet gösteren kurumlar açısından kritik olan yetkinlik seti belirlenerek bir model çerçeve oluşturulması hedeflenmiştir. Araştırma bulgularının, ilgili örgütlerin insan kaynakları faaliyetlerini daha etkin yapabilmelerine bir katkı sunacağı değerlendirilmektedir. Bu çalışma, aynı zamanda alan araştırmacılarının, çalışmaları için referans alabilecekleri bir yöntem ve yetkinlik çerçevesi ortaya koymuştur.

2. Literatür Taraması

2.1 Yetkinlik Çerçevesi ve Bağlam

Yetkinlik, çalışanların performansına katkı sağlayan “bilgi, tecrübe, teknik ve soft beceriler, motivasyon araçları (güdüler), duygu ve davranışları” ifade eder (Midhat Ali, Qureshi, Memon, Mari ve Ramzan, 2021: 1). Yetkinlikler üstün performansa neden olduğu için, etkili bir insan kaynakları yönetimi için örgütlerin kendilerine özgü bir yetkinlik çerçevesi geliştirmeleri ve geliştirdikleri bu yetkinlik çerçevesini insan kaynakları fonksiyonları ile uyumlaştırmaları gerekir. Daha açık bir ifade ile insan kaynakları fonksiyonlarının yetkinlik temelli olarak uygulanması gerekir (Armstrong, 2006). Armstrong’a (2006) göre bir yetkinlik çerçevesinin oluşturulması için bazı adımların atılması gerekir. Öncelikle yetkinlik çerçevesinin hangi insan kaynakları fonksiyonları için ya da hangi amaçla kullanılacağı belirlenmelidir. İkinci adımda, farklı düzeydeki çalışanlardan oluşan bir ekip tarafından iş ile ilgili bir yetkinlik listesi ve iş değerleri listesi belirlenmelidir. Üçüncü aşamada, yetkinlik listesinde yetkinlikler, açık bir şekilde tanımlanmalı ve düzeyleri belirlenmelidir. Dördüncü aşamada, bu yetkinlik çerçevesinin bir pilot uygulaması yapılarak test edilmeli ve son hali verilmelidir. Yetkinliklerin etkin bir şekilde kullanılabilmesi için yetkinliklerin uygulanmasından sorumlu çalışanlara ve diğer ilgili personele eğitim verilmesi ve yetkinliklerin değişen koşullara göre güncellenmesi gerekir.

Hem akademik yazında hem de uygulamacılar tarafından farklı amaçlara, sektörlere hatta kurumlara yönelik geliştirilen yetkinlik modelleri yetkinlik çerçeveleri olarak ifade edilmektedir. Farklı amaç, sektör ve hatta kurumlara yönelik farklı yetkinlik çerçevelerinin geliştirilmesinin temel nedeni ise yetkinlik çerçevelerinin bağlama özgü olmalarıdır. Yani belirli bir sektöre, düzeye ya da işletmeye uygun olarak geliştirilen yetkinlik modellerinin farklı bağlamlarda aynı düzeyde çalışmayacağı ileri sürülmektedir (Armstrong, 2006; Emmerling ve Boyatzis, 2012; Mansfield, 1996). Yapılan çalışmalarda, aynı alanda faaliyet gösterenler de farklı kültürel bağlamlarda faaliyet gösteren işletmeler için uygun yetkinlik çerçevesinin farklılaştığı ifade edilmektedir (Neelankavil, Mathur ve Zhang, 2000; Özçelik ve Ferman, 2006).

Diğer yandan, örgütlerin önemli bir bölümünün (örneğin küçük ve orta büyüklükteki işletmeler) kendilerine özgü bir yetkinlik çerçevesi geliştirmeleri oldukça zordur. Çünkü yetkinlik çerçevesi geliştirmek önemli bir maliyete neden olduğu gibi ciddi bir uzmanlık bilgisi de gerektirir (Mansfield, 1996). Bu nedenle sektörlere yönelik jenerik yetkinlik çerçeveleri geliştirilmekte ve bu çerçevelerin bazı modifikasyonlarla örgütler tarafından uygulanması gerektiği ileri sürülmektedir (Midhat Ali ve diğ., 2021). Literatürdeki bu tartışmaları özetlemek gerekirse, gerekli yetkinliklerin belirli faktörlere göre farklılaşacağı, buna karşın örgütlerin hepsinden etkili bir yetkinlik çerçevesi geliştirmelerini beklemenin de doğru olmadığı, çözüm yolu olarak da sektörlere ve düzeylere yönelik genel yetkinlik çerçevelerinin geliştirilmesi ve örgütlerin gerekli modifikasyonları yaparak bunları kullanması gerektiği ifade edilmektedir.

Akademik literatür incelediğinde, yukarıdaki tartışmalarla uyumlu bir şekilde, örneğin yöneticiler (Ör, Boyatzis, 1982; Çetinkaya ve Özutku, 2012) ve çalışanlar (Ör, Lee ve Salleh, 2009) gibi farklı düzeylere; otomotiv (Ör, ; Çetinkaya ve Özutku, 2012), üretim (Shaheen ve diğ., 2019) ve bilişim (Ör, Mietzner ve Kamprath, 2013) ve eğitim (Ör, OECD, 1997) gibi farklı sektörler ve insan kaynakları uzmanları (Ör., Aisha ve diğ., 2019; Mansfield, 1996; Piwowar-Sulej, 2021), hemşireler (Ahmadi ve diğ., 2017) ve mühendisler (Male, Bush ve Chapman, 2011) gibi farklı meslek gruplarına yönelik yetkinlik modellerinin geliştirildiği görülmektedir. Mietzner ve Kamprath (2013), bilgi ve iletişim teknolojileri sektörleri için kullanılabilecek bir yetkinlik çerçevesi geliştirmiştir. Bu çerçevede kişisel-sosyal yetkinlikler, metodolojik yetkinlikler ve profesyonel yetkinlikler grupları içerisinde toplam 36 yetkinlik tespit etmiştir. Shaheen ve arkadaşları (2019) üretim sektörü için iletişim becerileri, operasyonel beceriler, zaman yönetimi becerileri ve kişisel tutum ve özellikler şeklinde 4 yetkinlik grubu tespit etmiştir. Aisha ve arkadaşları (2019), bilgi ekonomisi sektöründe faaliyet gösteren küçük ve orta ölçekli işletmelerin insan kaynakları süreçlerinde kullanabilecekleri ve girişimcilik, yöneticilik ve sektörel yetkinlikler şeklinde üç gruba ayırdığı bir yetkinlik çerçevesi önermiştir.

Uygulamacılar açısından bakıldığında ise OECD ve Dünya Gümrük Örgütü gibi bazı otorite kurumlar ile belirli sektörler hitap eden kurumlar tarafından genel yetkinlik modelleri geliştirilmiştir (Geniş bir gözden geçirme için: Beatty, 2019; Salas-Pilco, 2013). Ancak bu kurumlar aynı zamanda bu yetkinlik çerçevelerinin kapsayıcı birer örnek model olduğunu ve ülke ya da örgütlerin bu çerçevelerden faydalanarak (bu çerçeveler üzerinden kendi bağlamlarına özgü gerekli modifikasyonları yaparak) kendilerine uygun modeller geliştirmesi gerektiğini de dile getirmişlerdir (Aytekin, 2022).

2.2 Yetkinlik Bazlı İnsan Kaynakları Yönetimi

Geniş bir bakış açısıyla yetkinlikler, yüksek bireysel performansa ulaşmak için çalışanın sahip olması gereken tüm niteliklerdir (Çetinkaya ve Özutku, 2012). Yetkinlik bazlı insan kaynakları uygulamalarının temel amacı ise çalışanların etkinlik ve verimliliğinde artış sağlama yoluyla örgütsel performansı artırmaktır (Lado ve Wilson, 1994). Bu bağlamda yetkinlikler, doğru işe doğru personelin istihdam edilmesini ve verimli bir şekilde çalışmasını sağlamak üzere işe alım, atama, performans değerlendirme ve eğitim ve geliştirme gibi farklı insan kaynakları uygulamalarının temelini oluşturmaktadır (Gallardo, 2020; Karimi, Teimouri, Shahin ve Barzoki, 2019; Sienkiewicz, Jawor-Joniewicz, Sajkiewicz, Trawinska-Konador ve Podwojcic, 2014). Literatürde yetkinliklerin, insan kaynaklarının etkinlik ve verimliliğinde önemli bir etkisi olduğunu ortaya koyan çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Özetle bu çalışmalarda yetkinliklerin, iş için gerekli olan bilgi, beceri, yetenek ve diğer donanımları tanımladığı, dolayısıyla yetkinlik bazlı yaklaşımının insan kaynakları uygulamalarını daha odaklı ve verimli hale getirdiği ve bunun sonucu olarak hem çalışan performansında hem de örgütsel performansta daha pozitif sonuçlar elde edildiği ifade edilmektedir (Caldwell, 2008; Daniali ve diğ., 2022; Lado ve Wilson, 1994; Srikanth, 2019). Yetkinlik bazlı uygulamalar, yüksek performansla ilişkilendirildiği için de örgütler tarafından stratejik önemde görülmekte ve insan kaynaklarının farklı uygulamalarında kullanılmaktadır (Daniali ve diğ., 2022). Draganidis ve Mentzas'a (2006) göre yetkinlik bazlı insan kaynakları yaklaşımı, insan kaynaklarının planlama, yedekleme, çalışan davranışları ve performans yönetimi gibi farklı insan kaynakları uygulamalarında kullanılmaktadır. Son yıllarda Midhat Ali ve arkadaşları (2021) tarafından yapılan çalışmada ise yetkinliklerin, literatürde en çok kadrolama süreci, iş gören geliştirme ve performans değerlendirme açısından ele alındığı ifade edilmektedir.

İnsan kaynaklarının diğer fonksiyonlarında etkinlik ve verimliliğin sağlanabilmesi önemli ölçüde doğru kişinin istihdam edilmesine bağlıdır. Uygun olmayan kişilerin işe alınması zaman, para ve emek gibi kaynak israfına neden olmakta ve eğitim, geliştirme ve motivasyon ile ilgili gösterilen tüm cabalara rağmen çalışanlarda verimlilik sorunlarının önüne geçilememektedir (Golec ve Kâhya, 2007). Yetkinlik bazlı işe alım ve atama, düşünülen pozisyonun gerektirdiği bilgi, beceri ve yetenekleri dikkate alarak kadrolama sürecinin daha objektif bir şekilde yürütülmesini ve adaylar arasından daha yetkin kişilerin doğru kadroya yerleştirilmesini sağlamakta ve böylece örgüt performansının artırılmasına pozitif katkı sunmaktadır (Singh ve Pathak, 2018).

Yetkinlikler bazlı kadrolama süreci, genel olarak yapılacak işlerin analiz edilmesi ve o işlerin üstün bir performans ile yapılması için gerekli olan bilgi, beceri, yetenek ve diğer donanımların tanımlanması ile başlar. Bir görev ya da rol için tanımlanmış yetkinlikler, kullanım amaçlarına göre bir yetkinlik çerçevesi oluşturur (Armstrong, 2006; Singh ve Pathak, 2018). Bu yetkinlik çerçevesi, dikey olarak örgütsel stratejilerle, yatay olarak işe alım, eğitim ve geliştirme ve terfi dâhil tüm iş süreçlerini kapsayan farklı insan kaynakları yönetimi fonksiyonları ile ilişkilendirilerek örgütsel sonuçlar üzerinde önemli etki doğurur (Strikanth, 2019). Daha açık bir ifadeyle örgütler amaç, hedef ve stratejilerine göre genel bir örgütsel yetkinlik çerçevesi belirleyebilir. Ancak bu genel yetkinlik çerçevesinin her bir iş pozisyonuna özgü hale getirilmesi gerekir. Bunun için işe özgü olarak kriterleri belirlenmiş ve ağırlıklandırılmış daha az sayıda alt yetkinliklerin oluşturulması gerekir (Lucia ve Lepsinger, 1999).

Çalışanların gelişimi örgütler açısından bir maliyet unsuru olarak görülmesine karşın araştırmacılar, eğitim ve geliştirme faaliyetlerinin örgütler açısından kritik önemde olduğunu ve çalışanların motivasyon ve performansını pozitif yönde etkilediğini sıklıkla vurgulamıştır (Ör, Aytekin, 2022; Elkin, 1990; Gangani, McLean ve Braden, 2008; Piwowar-Sulej, 2021). Çünkü hem işe yeni alınan çalışanların iş ve örgüte uyumu hem de mevcut çalışanların işe yönelik bilgi ve becerilerinin güncellenmesi için gelişim faaliyetleri gereklidir. Bu noktada araştırmacılar, bugün ve gelecekte yapılacak işler için gerekli yetkinliklerin tespit edilerek bu yetkinliklerin çalışanlara kazandırılması gerektiğini ve böylece gelişim faaliyetlerinin daha odaklı ve etkin olabileceğini ileri sürmektedir (Armstrong, 2006; Piwowar-Sulej, 2021). Diğer yandan günümüzdeki hızlı değişime bağlı olarak yüksek performans için gerekli olan yetkinlikler de hızlı bir şekilde değişmekte ve çalışanlara bu yetkinliklerin kazandırılması (çalışanların güncellenmesi) gerekmektedir (Kim ve Shin, 2019). Dolayısıyla yetkinlik bazlı eğitim, çalışanların sürdürülebilir performansı açısından (dolayısıyla da kurumsal performans açısından) kritik öneme sahiptir (Gangani ve diğ., 2008).

Literatürde yetkinliklerin sıklıkla birlikte ele alındığı insan kaynakları fonksiyonlarından bir tanesi de performans değerlemedir. Klasik performans yönetimi yaklaşımı, çalışanların elde ettiği çıktılara odaklanır (örneğin üretilen birim sayısı, ulaşılan hedef sayısı vb.). Ancak yetkinlik bazlı insan kaynakları yönetimi bireyin kendisine, yani sahip olduğu bilgi, beceri, yetenek ve diğer donanımlara odaklanır. Bu açıdan yetkinlik bazlı performans yönetimi sistemi, çıktılardan ziyade bireysel girdileri dikkate alır (Garavan ve McGuire, 2001; Cheng, Dainty ve Moore, 2005).

Yetkinlik bazlı insan kaynakları yönetimi yaklaşımını uygulayan ve belirli bir yetkinlik çerçevesine sahip olan örgütler daha etkin ve başarılı bir performans yönetimi süreci yürütmektedir (Armstrong, 2006). Yetkinlik çerçevesi, iş özelliklerini ve beklenen performans seviyesini tanımlayarak süreç açısından diğer insan kaynakları fonksiyonları ile tutarlı ve sağlam bir zemin yaratır (Cheng ve diğ., 2005). Çünkü yetkinlik çerçevesi, örneğin uygun yetkinliklere sahip çalışanların işe alınması ve gerekli yetkinlikleri kazandıracak gelişim faaliyetleri ile performans yönetimi uygulamalarının uyumlu olmasını sağlar. Buna ek olarak yetkinlikler, iş için gerekli olan bilişsel ve davranışsal özellikler ile bireysel tutumları dikkate aldığından daha kapsayıcı ve gerçeğe dayalı bir yöntem olarak değerlendirilmektedir (Aytekin, 2022).

2.3 Kar Amacı Gütmeyen Örgütler ve İnsan Kaynakları Yönetimi

Kâr amacı gütmeyen örgütler, “resmi bir yapıya ve yönetişime sahip olan, ülkeler arasında büyük farklılıklar gösteren ancak, i) kurucuların sahipliğinin bulunmaması ve diğer örgütlere ya da bireylere satılabilecek ekonomik bir çıkarının olmaması ve ii) fazladan elde edilen değerlerin örgütün amaçlarına katkı sağlayacak şekilde kullanılması şeklinde iki temel ortak özellik paylaşan kuruluşlardır” (Netzer, 2020: 379). Gelişmiş, gelişmekte olan ya da az gelişmiş ülkelerin tamamında bulunan bu tarz örgütler, temel insani hizmetler sunmak, kırsal ekonomik gelişimi teşvik etmek, çevreyi korumak ve insan haklarını savunmak gibi farklı amaçlar için kurulmaktadır. Yine bu örgütler bireysel vatandaş talebi, örgütler ya da devlet teşviki ile kurulabilmektedir. Bu tarz örgütler, genellikle kamu ya da özel sektör tarafından ihmal edilen boşlukları doldurduğu için önemli bir işlevi yerine getirmektedir (Salamon, 1994). Uzun süre gönüllülük esasına dayalı olarak faaliyet gösteren bu örgütlerin ülkelerin kültürel, ekonomik ve sosyal gelişimlerinde önemli bir etkisi bulunmaktadır. Bu etkiyi fark eden kamu ve özel sektör kurumları da bu alana odaklanmaya başlamış ve belirli bir misyonu gerçekleştirmek üzere bu tarz örgütleri kurmaya ya da desteklemeye başlamıştır (Lynn, 2003).

Kâr amacı gütmeyen örgütlerin karşı karşıya kaldığı en önemli sorunlardan bir tanesi faaliyetlerinde etkinlik ve verimliliğin sağlanamamasıdır. Bunun temel nedeni ise bu örgütlerin kar maximizasyonu amacı gütmemesi ve geçmişte yoğun rekabetin içinde olmamasıdır (Nunamaker, 1985). Ancak başta insan kaynakları olmak üzere, sahip olduğu kaynakları etkin ve verimli bir şekilde kullanmak bu örgütlerin performansı açısından da büyük önem taşımaktadır (Lynn, 2003). Çünkü bu örgütler giderek daha fazla finansal kısıtlarla, artan rekabetle, teknolojik uygulamalarla yüzleşmekte ve insan kaynaklarını daha etkin ve verimli bir şekilde kullanmaya ihtiyaç duymaktadır (Gratton, 2018). Bu nedenle araştırmacılar, bu tarz örgütlerin etkinlik ve verimliliklerinin artırılmasına katkı sağlayacak yaklaşım ve modelleri konu alan çalışmalar yapmıştır (Ör., Gratton, 2018; Nunamaker, 1985; Nutt, 1984; Rana, Rana ve Rana, 2017). Bu tarz örgütlerde faaliyetlerin önemli bir bölümü, sahip olunan insan kaynakları üzerinden yürütüldüğünden, insan kaynaklarının etkili ve verimli bir şekilde kullanılması ve buna yönelik sistem ve süreçlerin tanımlanması, bu örgütlerin performansı ve sürdürülebilirliği açısından, eğer daha fazla değilse, en az kâr amacı güden işletmeler kadar önemlidir (Ridder, Baluch ve Piening, 2012).

2.4 OECD Öz Yetkinlik Çerçevesi

OECD'nin eğitim, finans ve kamu gibi farklı alanlar için geliştirdiği farklı yetkinlik setleri bulunmaktadır (Ör., OECD, 1997; OECD, 2010; OECD, 2015). Bunlara ek olarak kurumsal faaliyetlerinde etkinlik ve verimliliğe katkı sağlayacak bir yetkinlik çerçevesi geliştirmiştir. Bu yetkinlik çerçevesi, temel ve yönetsel yetkinlikleri kapsayan ve kâr amacı gütmeyen kurumlar açısından bir rehber niteliğindedir (OECD, 2014).

Yetkinlikler ile ilgili farklı sınıflandırmalar bulunmakla birlikte, genel bir yaklaşımla temel, teknik ve yönetsel yetkinlikler sınıflandırılması kullanılmaktadır (Aytekin, 2022). Literatürden hareketle yetkinlikleri tanımlamaya çalışan Aytekin'e (2022) göre temel yetkinlikler çalışanın bütününde olması gereken soft becerileri, teknik yetkinlikler yüksek performansla çalışabilmek için metod, süreç ve ekipmanlarla ilgili bilgi ve becerileri ve yönetsel yetkinlikler ise etkin yönetim için gerekli olan bilgi ve becerileri ifade etmektedir. OECD'nin örgütsel yetkinlikleri açısından geliştirdiği yetkinlik çerçevesi öz yetkinlikler (temel ve yönetsel yetkinlikleri birleştirmiştir) ve teknik yetkinlikler şeklinde iki ana gruptan oluşmaktadır (OECD, 2014). Teknik yetkinlikler işe özgüdür, örgütsel bir yetkinlik çerçevesine dahil edilmeleri güçtür ve bu nedenlerle de OECD tarafından yayımlanmamıştır. Dolayısıyla bu çalışmada, literatürdeki birçok çalışmaya da paralel olarak (Ör., Cheng, Dainty, ve Moore, 2005; Lee ve Salleh, 2009; Seate, Poole ve Chinomona, 2016) öz yetkinlikler baz alınmıştır. OECD'nin öz yetkinlik çerçevesi, verimlilik ile ilişkili yetkinlikler (VIY), kişilerarası yetkinlikler (KY) ve stratejik yetkinlikler (SY) şeklinde grupladığı toplam on beş yetkinlikten oluşmaktadır. Verimle ilişkili yetkinlikler analitik düşünme, başarı odaklılık, yazılı iletişim becerileri, esnek düşünme, kaynakları yönetme, takım çalışması ve takım

liderliği yetkinlikleridir. Kişilerarası yetkinlikler müşteri odaklılık, diplomatik duyarlılık, başkalarını etkileme, müzakere ve organizasyonel bilgi yetkinlikleridir. Stratejik yetkinlikler grubu ise yetenek geliştirme, organizasyonel uyum, stratejik ilişki ağı ve stratejik düşünme yetkinliklerinden oluşmaktadır (OECD, 2014).

2.4.1 Verimlilikle İlişkili Yetkinlikler

OECD'nin belirlediği çerçevede her bir temel yetkinlik için tanımlama yapılmış ancak ana gruplar için bir tanımlama yerine bu yetkinlik grubunun ne ile ilişkili olduğu verilmiştir. Bu çalışmada alt yetkinliklerin tanımı için OECD (2014) tarafından yapılan tanımlar baz alınmıştır. OECD'nin yetkinlik çerçevesinde geçen verimlilik ile ilişkili (delivery related) yetkinlikler, hedeflenen sonuçlara ulaşmak için gerekli bilgi, beceri, yetenek ve diğer donanımları ifade etmektedir.

Analitik düşünme açıkça ilişkili olmayan durumlar arasındaki örüntüleri görebilme ve karmaşık durumlarda kritik veya temel meseleleri tanımlayabilme becerisidir.

Başarı odaklılık yüksek performans göstermek ve doğru müdahalelerde bulunmak için sorumluluk üstelenerek, fırsatları görerek, doğru zamanda ve belirlenen süre içerisinde verimli bir şekilde hareket ederek sonuçlar üretmektir.

Yazılı iletişim becerileri bilgi ve mesajların anlaşılmasını ve istenen etkiye sahip olmasını sağlamak için fikirleri ve bilgileri (genellikle teknik) uygun bir tarzda yazılı olarak iletme becerisine dayanır.

Esnek düşünme farklı durumlara, bireylere veya gruplara etkili bir şekilde uyum sağlama yeteneğini içerir. Bir konudaki farklı ve karşıt bakış açılarını anlama ve değerlendirme, bir durumun gereklilikleri değiştiğinde uygun bir yaklaşım geliştirme ve örgütsel ya da iş gereklilikleri değiştiğinde bu değişimi kabul etme veya kendini değiştirme becerilerini kapsar.

Kaynakları yönetme, verimli proje iş akışlarını planlama ve oluşturmayı ve genel örgütsel performansı geliştirmeyi amaçlayan kararlar vermek için örgütün insan, finans ve operasyonel kaynakları ile ilgili durumları net olarak görmeyi ve anlamayı ifade eder.

Takım çalışması ve takım liderliği başkalarıyla iş birliği içinde çalışmayı, bir takımın parçası olmayı ve bir takımda lider rolünü üstlenmeyi ifade eder.

2.4.2 Kişilerarası Yetkinlikler

Kişilerarası yetkinlikler literatürde en çok kullanılan yetkinliklerdir. Bu yetkinlikler profesyonel amaçlar nedeniyle örgüt içinde ve dış çevrede kritik aktörlerle ilişki kurmak ve sürdürmek için gerekli becerileri kapsamaktadır (Piwowar-Sulej, 2021)

Müşteri odaklılık iç ve dış müşterilerin kısa ve uzun vadeli ihtiyaç ve endişelerini anlama ve bunlara etkili öneri ya da çözümler sunma becerisini ifade eder.

Diplomatik duyarlılık aslında diğer insanları anlamayı ifade eder. Daha açık ifade etmek gerekirse bu yetkinlik; i) söylenenleri doğru duyma ve başkalarının açık olarak ifade etmediği ya da kısmen ifade ettiği duygu, düşünce ve endişelerini anlama, ii) farklı kültürleri anlama ve duyarlılık gösterme ve iii) başkalarının muhalefet veya baskısı karşısında ya da stresli durumlarda duygularını kontrol edebilme ve olumsuz tepkilerini engelleme becerilerini kapsar.

Başkalarını etkileme hedeflere uygun hareket etmelerini sağlamak için dürüst, saygılı ve duyarlı bir şekilde insanları ikna etme niyetini ifade eder. Aynı zamanda bu yetkinlik başkaları üzerinde belirli bir etkiye sahip olma arzusunun da kapsar.

Müzakere kazan-kazan anlayışıyla çalışma, mevkidaşlarını anlama, müzakereler sırasında onlara uygun cevaplar verebilme ve katma değerli sonuçlara ulaşma becerilerini kapsar.

Organizasyonel bilgi organizasyon içindeki ve diğer organizasyonlardaki resmi kuralları, yapıları ve güç ilişkilerini anlama ve gerçek karar vericilerin kimler olduğunu ve onları etkileyebilecek kişileri tespit etme becerilerini kapsar.

2.4.3 Stratejik Yetkinlikler

Stratejik yetkinlikler gelecek ile ilgili plan yapmak ile ilintili bilgi, beceri, yetenek ve diğer donanımlardır. Stratejik yetkinlikler örgütlerin geleceğini şekillendirmeye katkı sunan yetkinlikler olduğu için özellikle karar verme durumunda olanlar için kritik yetkinlikler olarak kabul edilmektedir (Hall, 2012)

Yetenek Geliştirme çalışanları kişisel ve mesleki gelişimleri ile gelecekteki yeteneklere bilgi aktarımını teşvik edecek bir çevre oluşturma becerisini ifade eder.

Örgütsel Uyum kişinin kendi tutum ve davranışlarını örgütün ihtiyaç, öncelik ve hedefleriyle uyumlu hale getirme, örgütün misyonuna odaklanmayı bireysel çıkarlarına ya da mesleki önceliklerine tercih etme istek ve becerisini ifade eder.

Stratejik İlişkiler Geliştirme stratejik hedeflere ulaşmada önemli olan veya olabilecek iç ve dış aktörlerle samimi ve güvenilir ilişkiler kurmak ve bunları sürdürmek için çalışmayı ifade eder.

Stratejik Düşünme örgütün ve örgüt misyonunun büyük resmini görebilme yeteneğidir. Stratejik düşünce rekabet avantajı, fırsat ve tehditler, endüstri trendleri, gelişen teknoloji, pazar fırsatları ve paydaş odaklılık gibi faktörleri bir arada görebilme ve bunları değerlendirebilme ile ilgilidir. Stratejik düşünce bireylerin ve takımların odaklı olmasına ve kaynakların nerelere kullanılacağına dair doğru kararlar vermesine yardımcı olur. Aynı zamanda stratejik düşünce örgütün uzun vadeli vizyoner hedefleri ile kısa vadeli planları ve günlük işleri arasındaki bağı kurabilme yeteneğini kapsar.

Tablo 1. OECD yetkinlik çerçevesi

Ana Yetkinlik Grubu (AYG) 1: Verimlilik ile İlişkili Yetkinlikler	
<i>Analitik düşünme (VIY 1)</i>	Açıkça ilişkili olmayan durumlar arasındaki örüntüleri görebilme
<i>Başarı odaklılık (VIY 2)</i>	Sorumluluk üstlenerek, fırsatları görerek, doğru zamanda ve belirlenen süre içerisinde verimli bir şekilde hareket ederek sonuçlar üretme ve böylece yüksek performans elde etmeye çalışma
<i>Yazılı iletişim becerileri (VIY 3)</i>	Bilgi ve mesajların anlaşılmasını ve istenen etkiye sahip olmasını sağlamak için fikirleri ve bilgileri uygun bir tarzda yazılı olarak iletme becerisi
<i>Esnek düşünme (VIY 4)</i>	Farklı durumlara, bireylere veya gruplara etkili bir şekilde uyum sağlama, farklı bakış açılarını anlama ve değerlendirme, değişimi kabul etme ve kendini değiştirebilme becerisi
<i>Takım çalışması (VIY 5)</i>	Başkalarıyla iş birliği içinde çalışma, bir takımın parçası olma ve bir takımda lider rolü üstlenme
Ana Yetkinlik Grubu (AYG) 2: Kişilerarası Yetkinlikler	
<i>Müşteri odaklılık (KY 1)</i>	İç ve dış müşterileri anlama, sorunlarına çözüm üretme
<i>Diplomatik duyarlılık (KY 2)</i>	Bulunduğu durumu ve diğer insanları anlama ve duruma göre hareket edebilme kabiliyeti
<i>Müzakere (KY 3)</i>	Kazan-kazan anlayışıyla çalışma, uygun cevaplar verebilme ve katma değerli sonuçlara ulaşma becerisi
<i>Organizasyonel bilgi (KY 4)</i>	Organizasyon, birimler ve buralarda yapılan işler hakkında bilgi sahibi olma
Ana Yetkinlik Grubu (AYG) 3: Stratejik Yetkinlikler	
<i>Yetenek geliştirme (SY 1)</i>	Çalışanları kişisel ve mesleki gelişimleri ile gelecekteki yeteneklere bilgi aktarımını teşvik edecek bir çevre oluşturması
<i>Örgütsel uyum (SY 2)</i>	Kişinin kendi tutum ve davranışlarını örgütün ihtiyaç, öncelik ve hedefleriyle uyumlu hale getirmesi
<i>Stratejik ilişkiler geliştirme (SY 3)</i>	Stratejik iç ve dış aktörlerle samimi ve güvenilir ilişkiler kurma ve bunları sürdürmek için çalışması
<i>Stratejik düşünme (SY 4)</i>	Örgütün ve örgüt misyonunun büyük resmini görebilmesi

Kaynak: OECD (2014) Competency Framwork çalışmasından uyarlanmıştır.

3. Yöntem

3.1 Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) Yaklaşımı

Bulanık Analitik Hiyerarşi Yaklaşımı, bulanık mantık ve sözel değişkenlerin kombinasyonundan geliştirilmiş çok kriterleri karar verme tekniklerinden biridir. Temel mantığı, karar verme sürecinde çok sayıda değişkenin olduğu durumda alternatifler arasında seçim yapmak zorlaşacağından, kriterlerin ve bu kriterlerin ağırlıklarının belirlenerek matematiksel olarak optimum alternatifin seçilmesi esasına dayanır. Çünkü böyle bir durumda ikili sistem yetersiz kalır. Bu çalışmada Bulanık AHS yaklaşımlarından merite analizi ile Buckley'in AHS yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yöntem literatürde, farklı alanlarda olduğu gibi (Ör., Özdemir, 2022; Özdemir ve Savalan, 2022) insan kaynakları uygulamaları için de kullanılmaktadır (Ör., Şengül ve Çağıl, 2020).

Çalışmada OECD yetkinlik çerçevesi baz alınmıştır. Bu yetkinlik çerçevesi, hali hazırda kâr amacı gütmeyen kurumlarda insan kaynakları departmanı yöneticisi olarak çalışan 4 kişi ile insan kaynakları alanında çalışan ve aynı zamanda saha tecrübesi olan (insan kaynakları konusunda kurumlara danışmanlık yaparak) bir akademisyen tarafından değerlendirilmiştir. Sonuçlar, değerlendirmeyi yapan 5 kişinin ortalamalarını yansıtmaktadır. Değerlendiricilerden, yetkinlikleri iki gruba göre değerlendirmeleri istenmiştir. Birinci grup, tepe yönetimi hariç olmak üzere (tepe yöneticileri normal atama sürecinden geçemedikleri için) orta ve üst kademe yöneticilerinden oluşmaktadır ve bu çalışmada “yöneticiler” şeklinde ifade edilmiştir. İkinci grup ise kadrolu çalışanlar ile alt kademe yöneticilerini (sorumlu, şef vb.) kapsamaktadır. Bu grupların yapısı, yani gruba dahil olan çalışan düzeyleri, değerlendiricilerin önerileri ile şekillendirilmiştir. Örneğin sorumlu ve şeflerin çalışanlar ile birlikte aynı gruba dahil edilmesi, onların yetki, işe alım ve terfi süreçleri açısından yöneticilerden çok çalışanlara benzemesi nedeniyledir. Yani bir sorumlu, özel bir işe alım süreciyle işe alınmamakta, çalışanlardan bir tanesine sorumlu unvanı verilmekte, ancak yetki ve özlük haklarında önemli bir değişim olmamaktadır.

3.2 Merite Analizi

Bulanık Analitik Hiyerarşi Sürecinde kullanılan farklı yöntemler olmakla birlikte bu çalışmada Perçin'in (2012) çalışmasında kullandığı Merite Analizi yöntemi baz alınmıştır. Merite analizi aşamaları aşağıdaki gibidir.

$X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ öğeler setini ve $U = \{U_1, U_2, \dots, U_m\}$ amaçlar setini yansıtmaktadır. Buna göre alınan her bir öğe ve (g_i) için önem (veya ağırlık, büyüklük vb.) derecesi hesaplanır. Dolayısıyla her bir öğe için m tane merite skoru tespit edilir. Bu süreç aşağıdaki adımlardan oluşur.

Birin Adım: $M^{j_{gi}} : M^{1_{gi}}, M^{2_{gi}}, \dots, M^{m_{gi}}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad j = 1, 2, \dots, m$ olmak üzere, i . öğe için bulanık sentetik merite değeri şöyle tespit edilir: (1)

$$S_i = \sum_{j=1}^m M^{j_{gi}} \times \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M^{j_{gi}} \right]^{-1} \quad (2)$$

Burada S_i değerini bulmak amacıyla (4) ve (5)' teki bulanık toplama işlemleri yapılır.

$$\sum_{j=1}^m M^{j_{gi}} = \left(\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right) \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M^{j_{gi}} = \left(\sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i \right) \quad (4)$$

Daha sonra (5)' teki vektörün tersi aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M^{j_{gi}} \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \quad \forall u_i, m_i, l_i > 0 \quad (5)$$

Son olarak (3)' teki S_i değerli şöyle tespit edilir;

$$S_i = \sum_{j=1}^m M^{j_{gi}} \times \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M^{j_{gi}} \right]^{-1} \\ = \left(\sum_{j=1}^m l_j \times \frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \sum_{j=1}^m m_j \times \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \sum_{j=1}^m u_j \times \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \quad (6)$$

İkinci Adım: $M_1 = \{l_1, m_1, u_1\} \geq M_2 = \{l_2, m_2, u_2\}$ durumunun olma olasılığı aşağıdaki gibi tespit edilir

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

$x \geq y$ ve $\mu_{M_1}(x) = (\mu_{M_2}(y))$ durumunu sağlayan bir (x,y) söz konusu olduğunda $V(M_1 \geq M_2) = 1$ elde edilir. M_1 ve M_2 konveks bulanık sayılar olduğu için eğer $m_1 \geq m_2$ ise $V(M_1 \geq M_2) = 1$ olur ve matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir;

$$V(M_1 \geq M_2) = \text{hgt}(m_1 \cap m_2) = \mu_{M_1}^{(d)} = \frac{(l_1 - u_2)}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} \quad (8)$$

Burada d , μ_{M_1} ve μ_{M_2} arasındaki en yüksek kesişim noktası olan D 'nin ordinatıdır. M_1 ve M_2 'nin karşılaştırılabilmesi için $V(M_1 \geq M_2)$ ve $V(M_2 \geq M_1)$ sayılarına ihtiyaç duyulur.

Üçüncü Adım: Konveks bir bulanık sayının k adet konveks bulanık sayıdan $M_i (i=1,2,\dots,k)$ daha büyük olma ihtimali şöyle ifade edilir;

$$V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = V[(M \geq M_1) \text{ ve } (M \geq M_2) \text{ ve } \dots \text{ ve } (M \geq M_k)] = \min V(M \geq M_i), i = 1, 2, \dots, k \quad (9)$$

$D^*(S_i) = \min V(S_i \geq S_k)$ olduğu kabul edildiğinde, $k = 1, 2, \dots, n$; $k \neq i$ için ağırlık vektörü,

$$W^* = (D^*(S_1), D^*(S_2), \dots, D^*(S_n))^T$$

şeklinde olur. Burada $S_i (i = 1, 2, \dots, n)$ n elemandan oluşmaktadır.

Dördüncü Adım: Normalize edilmiş ağırlık vektörleri, W bulanık olmayan bir değer olmak üzere, şöyle hesaplanır.

$$W = (D(S_1), D(S_2), \dots, D(S_n))^T \quad (10)$$

3.3 Buckley'nin Bulanık AHS Yaklaşımı

Buckley (1985), etkisi az olan aktörlerin karar sürecindeki ağırlıklarını tespit etmek için farklı aşamaları olan bir yöntem önermiştir. Bu yöntemin aşamaları aşağıdaki gibidir;

Birinci aşama aşağıda gösterildiği şekilde bulanık bir karşılaştırma matrisinin ($\hat{A} = [a_{ij}]$) oluşturulmasıdır:

$$\hat{A} = \begin{bmatrix} 1 & \dots & \hat{a}_{1j} & \dots & \hat{a}_{1n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \hat{a}_{i1} & \dots & 1 & \dots & \hat{a}_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \hat{a}_{n1} & \dots & \hat{a}_{nj} & \dots & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \dots & \hat{a}_{1j} & \dots & \hat{a}_{1n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/\hat{a}_{i1} & \dots & 1 & \dots & \hat{a}_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/\hat{a}_{n1} & \dots & 1/\hat{a}_{nj} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

$\hat{a}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ üçlü bulanık sayılardır ($i = 1, 2, \dots, n$, $j = 1, 2, \dots, m$).

Bu yöntemde kriterler ikili karşılaştırmalara tabi tutulur. İkili karşılaştırmaların sayısal verileri ile bunların dilsel olarak ne anlama geldiği Tablo 2'de verilmiştir. Bu ifadeler Awatshi ve Chauhan (2012) çalışmasından uyarlanmıştır.

Tablo 2. Kriterlerin değerlendirilmesinde kullanılacak değişkenlerin dilsel ifadeleri

Dilsel Değişkenler	Değer Skalası	Üçlü Bulanık Skala	Üçlü Bulanık Ters Skala
Eşit Önem (E)	1	(1,1,1)	(1/1, 1/1, 1/1)
Az Önem (A)	3	(1,3,5)	(1/5, 1/3, 1/1)
Çok Önem (C)	5	(3,5,7)	(1/7, 1/5, 1/3)
Çok Kuvvetli Önem (CK)	7	(5,7,9)	(1/9, 1/7, 1/5)
Aşırı Önem (AS)	9	(7,9,9)	(1/9, 1/9, 1/7)
İki Değer Arasındaki Yakın	2	(1,2,3)	(1/3, 1/2, 1)
Hükümler (YH)	4	(3,4,5)	(1/5, 1/4, 1/3)
	6	(5,6,7)	(1/7, 1/6, 1/5)
	8	(7,8,9)	(1/9, 1/8, 1/7)

İkinci aşamada bulanık ağırlık matrisi, aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\hat{a}_i = (\hat{a}_{i1} \times \hat{a}_{i2} \times \dots \times \hat{a}_{in})^{1/n}$$

m, alternatiflerin; n ise kriterlerin sayısını göstermektedir. Bunların sayısal ifadeleri ve dilsel olarak ne anlama geldiği Tablo 3'te verilmiştir. Bu tablo da Awatshi ve Chauhan (2012) çalışmasından uyarlanmıştır.

Tablo 3. Alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan değişkenlerin dilsel ifadeleri

Dilsel Değişkenler	Karşılık Gelen Üçlü Bulanık Sayılar
Çok Zayıf (VP)	(1,1,3)
Zayıf (P)	(1,3,5)
Denk (F)	(3,5,7)
Kuvvetli (G)	(5,7,9)
Çok Kuvvetli (VG)	(7,9,9)

3.Adım: Her bir kriterin / alternatifin bulanık ağırlığı aşağıda verilen formül ile hesaplanır (Buckley, 1985).
 $w_i = \hat{a}_i \times (\hat{a}_1 + \hat{a}_2 + \dots + \hat{a}_n)^{-1}$

4. Bulgular

4.1 Ana Yetkinlik Gruplarına İlişkin Bulgular

Bu çalışmada OECD tarafından geliştirilen yetkinlik çerçevesi, Türkiye'deki benzer kurumlar açısından, çalışanlar ve yöneticiler için ayrı ayrı incelenmiştir. Bu inceleme ile yönetici ve çalışanlar için en önemli yetkinliklerin ve ana yetkinlik gruplarının tespit edilmesi hedeflenmiştir. Bu bağlamda öncelikle yönetici ve çalışanlar için ana yetkinlik gruplarının, akabinde ise yetkinliklerin karşılaştırılması yapılmıştır. Ana yetkinlik gruplarının, uzman görüşüne dayalı karşılaştırmalı analiz sonuçları Tablo 4 ve Tablo 5'te verilmiştir. Tablolarda verimliliğe ilişkin yetkinlikler ana yetkinlik grubu AYG 1, kişilerarası yetkinlikler ana yetkinlik grubu AYG 2 ve stratejik yetkinlikler ana yetkinlik grubu AYG 3 olarak ifade edilmiştir.

Tablo 4. Yöneticiler için ana yetkinlik gruplarının karşılaştırılması

	AYG 1			AYG 2			AYG 3		
AYG 1	1	1	1	1/7	1/5	1/3	1/5	1/3	1
AYG 2	3	5	7	1	1	1	1/5	1/3	1
AYG 3	1	3	5	1	3	5	1	1	1

Tablo 5. Çalışanlar için ana yetkinlik gruplarının karşılaştırılması

	AYG 1			AYG 2			AYG 3		
AYG 1	1	1	1	1/5	1/3	1	3	5	7
AYG 2	1	3	5	1	1	1	5	7	9
AYG 3	1/7	1/5	1/3	1/9	1/7	1/5	1	1	1

Bu karşılaştırmaların sonucu olarak normalize edilmiş değerler, yönetici ve çalışanlar için sırasıyla Tablo 6 ve Tablo 7'de verilmiştir. Tablolarda görüldüğü üzere yetkinliklerin kendi aralarındaki önem derecesi, pozisyonun hiyerarşisine göre değişmektedir. Yöneticiler için en önemli yetkinlik grubu stratejik yetkinlikler olurken, bunu sırasıyla kişiler arası yetkinlikler ve verimliliğe ilişkin yetkinlikler takip etmektedir. Çalışanlar için ise kişiler arası yetkinlikler belirgin olarak öne çıkmaktadır.

Tablo 6. Yöneticiler için ana yetkinlik gruplarının normalize edilmiş sonuçları

	ri veya ai			wi			Mi	Ni
AYG 1	0,306	0,405	0,693	0,055	0,110	0,323	0,163	0,123
AYG 2	0,843	1,186	1,913	0,153	0,323	0,890	0,455	0,345
AYG 3	1,000	2,080	2,924	0,181	0,567	1,361	0,703	0,532
Toplam	2,149	3,671	5,530				1,321	

Tablo 7. Çalışanlar için ana yetkinlik gruplarının normalize edilmiş sonuçları

	ri veya ai			wi			Mi	Ni
AYG 1	0,843	1,186	1,913	0,144	0,279	0,682	0,368	0,309
AYG 2	1,710	2,759	3,557	0,291	0,649	1,268	0,736	0,618
AYG 3	0,251	0,306	0,405	0,043	0,072	0,145	0,086	0,073
Toplam	2,805	4,250	5,875				1,191	

4.2 Yetkinliklere İlişkin Bulgular

İkinci aşamada, OECD yetkinlik çerçevesindeki her bir yetkinliğin çalışanlar ve yöneticiler için önem derecesi tespit edilmiştir. Bunun için öncelikle tüm yetkinliklerin kendi ana grupları içerisinde bir karşılaştırılması yapılmıştır. Uzman görüşüne dayalı karşılaştırmaların sonuçları Tablo 8 ve Tablo 9’da verilmiştir. Tablolardaki rakamlar yukarıda verilen dilsel ifadelerin rakamsal karşılıklarını yansıtmaktadır. Yetkinlikler, Tablo 1’de verilen kısaltmaları ile kullanılmıştır.

Tablo 8. Yöneticiler için yetkinliklerin grup içi karşılaştırılması

	VIY 1			VIY 2			VIY 3			VIY 4			VIY 5		
VIY1	1	1	1	3	5	7	5	6	7	7	8	9	1	3	5
VIY2	1/7	1/5	1/3	1	1	1	1	3	5	3	4	5	1/5	1/3	1
VIY3	1/7	1/6	1/5	1/5	1/3	1	1	1	1	3	5	7	1/5	1/4	1/3
VIY4	1/9	1/8	1/7	1/5	1/4	1/3	1/7	1/5	1/3	1	1	1	1/9	1/7	1/5
VIY5	1/5	1/3	1	1	3	5	3	4	5	5	7	9	1	1	1
	KY 1			KY 2			KY 3			KY 4					
KY1	1	1	1	1	3	5	3	4	5	3	5	7			
KY2	1/5	1/3	1	1	1	1	1	7	9	3	4	5			
KY3	1/5	1/4	1/3	1/9	1/7	1	1	1	1	1/7	1/5	1/3			
KY4	1/7	1/5	1/3	1/5	1/4	1/3	3	5	7	1	1	1			
	SY 1			SY 2			SY 3			SY 4					
SY 1	1	1	1	3	5	7	1	2	3	1/5	1/3	1			
SY 2	1/7	1/5	1/3	1	1	1	1/7	1/5	1/3	1/7	1/6	1/5			
SY 3	1/3	1/2	1	3	5	7	1	1	1	1/7	1/5	1/3			
SY 4	1	3	5	5	6	7	3	5	7	1	1	1			

Tablo 9. Çalışanlar için yetkinliklerin grup içi karşılaştırılması

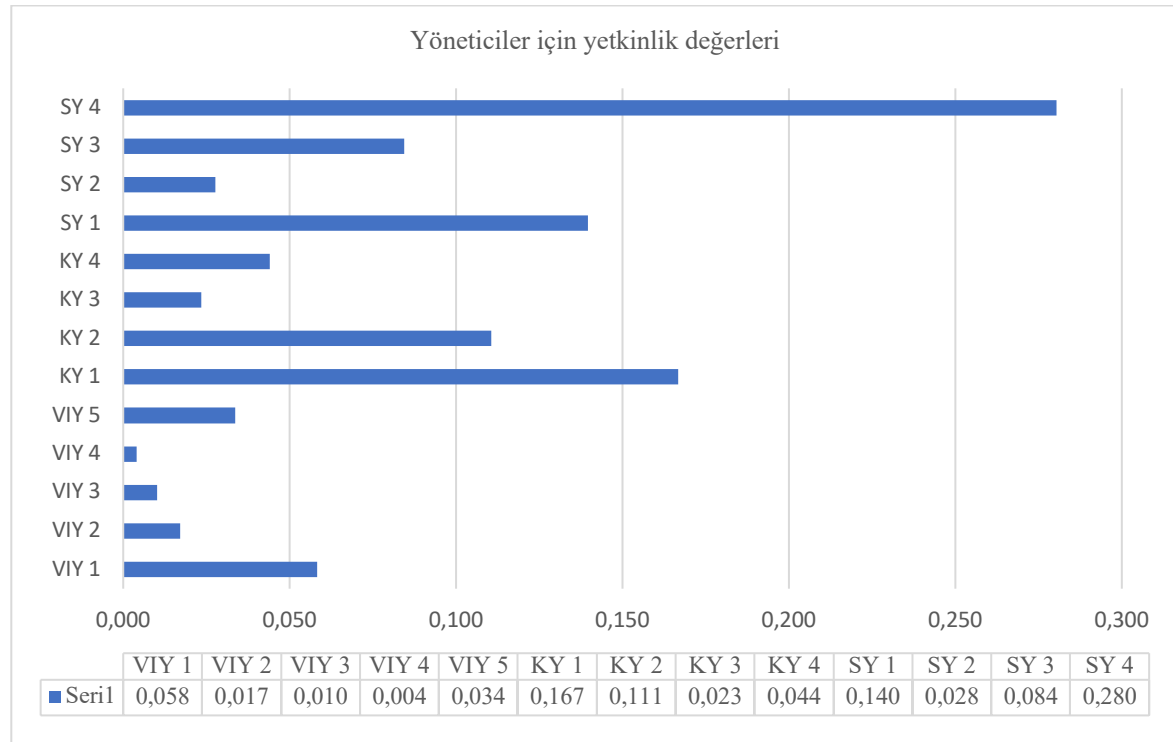
	VIY 1			VIY 2			VIY 3			VIY 4			VIY 5		
VIY 1	1	1	1	1/5	1/4	1/3	1	3	5	1/5	1/4	1/3	1/9	1/7	1/5
VIY 2	3	4	5	1	1	1	5	7	9	1	3	5	1/7	1/5	1/3
VIY 3	1/5	1/3	1	1/9	1/7	1/5	1	1	1	1/7	1/5	1/3	1/9	1/8	1/7
VIY 4	3	4	5	1/5	1/3	1	3	5	7	1	1	1	1/7	1/6	1/5
VIY 5	5	7	9	3	5	7	7	8	9	5	6	7	1	1	1
	KY 1			KY 2			KY 3			KY 4					
KY1	1	1	1	1	2	3	1	3	5	5	7	9			
KY2	1/3	1/2	1	1	1	1	3	5	7	5	6	7			
KY3	1/5	1/3	1	1/7	1/5	1/3	1	1	1	1	2	3			
KY4	1/9	1/7	1/5	1/7	1/6	1/5	1/3	1/2	1	1	1	1			
	SY 1			SY 2			SY 3			SY 4					
SY 1	1	1	1	1/5	1/3	1	1/5	1/3	1	1	2	3			
SY 2	1	3	5	1	1	1	1/3	1/2	1	3	5	7			
SY 3	1	3	5	1	2	3	1	1	1	3	5	7			
SY 4	1/3	1/2	1	1/7	1/5	1/3	1/7	1/5	1/3	1	1	1			

Yapılan analizler ile elde edilen sonuçlar, sırasıyla yönetici ve çalışanlar için Tablo 10 ve Tablo 11’de verilmiştir. Tablolardaki ana kriterler sütunu ana yetkinlik grubunu, ağırlıklar sütunu ana yetkinlik grubunun ağırlığını, alt kriterler sütunu yetkinlikleri, yerel ağırlıklar sütunu yetkinliklerin ana yetkinlik grubu içindeki ağırlığını, global ağırlıklar sütunu yetkinliğin tüm yetkinlikler içindeki ağırlığını, grup içi sıralama sütunu yetkinliğin ana yetkinlik grubu içerisindeki önem sırasını, genel sıralama sütunu ise yetkinliğin tüm yetkinlikler içindeki önem sırasını göstermektedir. Şekil 1 ve şekil 2 ise yetkinliklerin global ağırlıklarını vermektedir.

Tablo 10’da görüldüğü üzere yöneticiler için en önemli yetkinlik grubunun stratejik yetkinlikler (AYG 3) ve en önemli yetkinliğin stratejik düşünme (SY 4) olduğu görülmektedir. Şekil 1’de görüldüğü üzere, yöneticiler açısından en kritik 5 yetkinliğin sırasıyla stratejik düşünme, müşteri odaklılık, yetenek geliştirme, diplomatik duyarlılık ve stratejik ilişkiler geliştirme olduğu görülmektedir. Tablo 11’de görüldüğü üzere çalışanlar için en önemli yetkinlik grubunun kişiler arası yetkinlikler (AYG 2) ve en önemli yetkinliğin müşteri odaklılık (KY 1) olduğu görülmektedir. Şekil 2’de görüldüğü üzere, çalışanlar açısından en kritik 5 yetkinliğin sırasıyla müşteri odaklılık, diplomatik duyarlılık, takım çalışması, müzakere ve başarı odaklılık olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar, hem yöneticiler hem de çalışanlar için müşteri odaklılık ve diplomatik duyarlılık yetkinliklerinin ortak olduğunu göstermektedir.

Tablo 10. Yöneticiler için yetkinliklerin normalize edilmiş analiz sonuçları

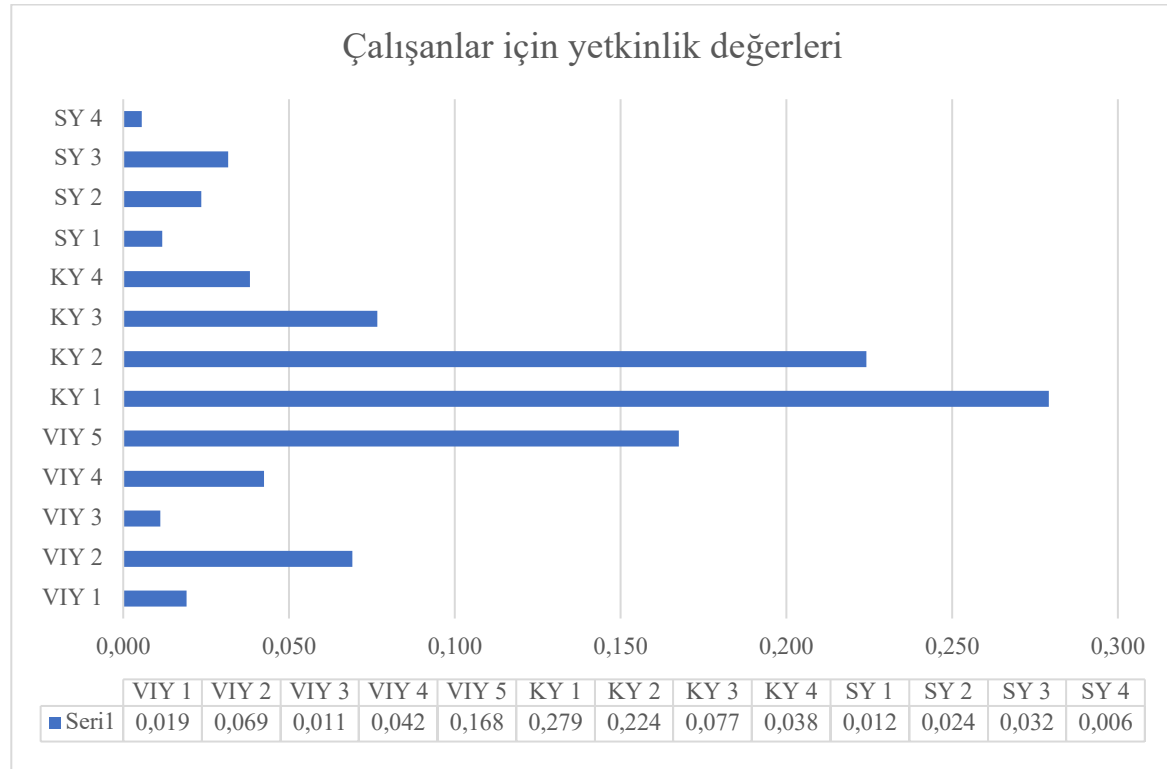
Ana Kriterler	Ağırlıklar	Alt Kriterler	Yerel Ağırlıklar	Global Ağırlıklar	Grup İçi Sıralama	Genel Sıralama
AYG 1	0,123	VIY 1	0,472	0,058	1	6
		VIY 2	0,139	0,017	3	11
		VIY 3	0,083	0,010	4	12
		VIY 4	0,033	0,004	5	13
		VIY 5	0,274	0,034	2	9
AYG 2	0,345	KY 1	0,484	0,167	1	2
		KY 2	0,321	0,111	2	4
		KY 3	0,068	0,023	4	10
		KY 4	0,128	0,044	3	7
AYG 3	0,532	SY 1	0,262	0,140	2	3
		SY 2	0,052	0,028	4	8
		SY 3	0,158	0,084	3	5
		SY 4	0,527	0,280	1	1



Şekil 1. Yöneticiler için yetkinliklerin global ağırlıkları

Tablo 11. Çalışanlar için normalize edilmiş analiz sonuçları

Ana Kriterler	Ağırlıklar	Alt Kriterler	Yerel Ağırlıklar	Global Ağırlıklar	Grup İçi Sıralama	Genel Sıralama
AYG 1	0,309	VIY 1	0,062	0,019	4	10
		VIY 2	0,223	0,069	2	5
		VIY 3	0,036	0,011	3	12
		VIY 4	0,137	0,042	5	6
		VIY 5	0,542	0,168	1	3
AYG 2	0,618	KY 1	0,452	0,279	1	1
		KY 2	0,363	0,224	2	2
		KY 3	0,124	0,077	3	4
		KY 4	0,062	0,038	4	7
AYG 3	0,073	SY 1	0,162	0,012	3	11
		SY 2	0,325	0,024	2	9
		SY 3	0,436	0,032	1	8
		SY 4	0,078	0,006	4	13



Şekil 2. Çalışanlar için yetkinliklerin global ağırlıkları

5. Sonuç ve Öneriler

Kâr amacı gütmeyen örgütlerin ülkelerin gelişmelerine olan etkileri büyüdükçe, bu örgütlerin kaynaklarını daha etkin kullanmaları ve daha yüksek performansla çalışmalarını da hem uygulamacı hem de araştırmacıların daha fazla ilgisini çekmeye başlamıştır. Bu öneminden dolayı olsa gerek, 2017 yılında insan kaynakları alandaki etkili dergilerden biri olan The International Journal of Human Resource Management, kâr amacı gütmeyen örgütlerde insan kaynaklarının önemini ve etkin insan kaynakları uygulamalarının sonuçlarını ele alan özel bir sayı yayınlamıştır. Giriş makalesinde editörler, özel sayının amacını “insan kaynaklarının, kâr amacı gütmeyen

örgütlerin etkin yönetimi, ürün ve hizmetlerini ilgilere ulaşımı açısından giderek daha fazla önemli hale gelmesi” olarak ifade etmektedir (Bartram, Cavanagh ve Hoye, 2017: 1902). Bu çalışma da OECD yetkinlik çerçevesinden faydalanarak, kâr amacı gütmeyen ve Türkiye’de faaliyet gösteren örgütlerin, insan kaynakları uygulamalarında faydalanabilecekleri model bir yetkinlik çerçevesi geliştirme amacıyla yapılmıştır. Amaca uygun olarak söz konusu yetkinlik seti, İK alanından uzmanların görüşüne sunulmuş ve yönetici ve çalışanlar için yetkinlikleri değerlendirmeleri istenmiştir. Elde edilen veriler AHS yaklaşımı ile analiz edilmiştir.

Çalışma bulgularına göre yöneticiler açısından en önemli ana yetkinlik grubu stratejik yetkinliklerdir. Bu durumda yöneticiler ile ilgili insan kaynakları uygulamalarında (işe alım, yetenek yönetimi, değerlendirme merkezi uygulamaları, performans değerlendirme vb.) stratejik yetkinliklerin önceliklendirilmesi gerekir. Stratejik yetkinliklerden özellikle stratejik düşünme, stratejik ilişkiler geliştirme ve yetenek geliştirme öne çıkmaktadır. Bunlar aynı zamanda tüm yetkinlikler dikkate alındığında da ilk beş yetkinlik arasında yer almaktadır. Stratejik yetkinliklere ek olarak kişiler arası yetkinliklerin de önemli olduğu görülmektedir. Kişiler arası yetkinliklerden diplomatik duyarlılık ve müşteri odaklılık yetkinlikleri de yine ilk beş yetkinlik arasında yer almaktadır. Bu kurumların farklı ulusal ve uluslararası kurumlarla iş birliği içinde olmaları ve kamu yöneticileri ile yakın ilişki içerisinde olmaları göz önüne alındığında, bu yetkinliklerin öne çıkması beklenen bir durumdur. O halde kâr amacı gütmeyen kurumlar açısından, yönetici pozisyonundaki personelin kadrolama, performans değerlendirme, atama ve terfi gibi süreçlerde stratejik düşünme, müşteri odaklılık, yetenek geliştirme, diplomatik duyarlılık ve stratejik ilişkiler geliştirme yetkinlikleri kritik öneme sahiptir.

Çalışma bulgularına göre memur çalışanlar açısından en önemli ana yetkinlik grubu ise kişilerarası yetkinlik grubudur. Bu kurumların yaptığı işler, farklı kesimlerdeki ihtiyaç sahipleri ile iletişim halinde olmayı zorunlu kıldığından, çalışanlardan kişilerarası ilişkileri etkin bir şekilde yürütmeleri beklenebilir. Bu nedenle bu yetkinlik grubunun öne çıkması şaşırtıcı değildir. Bu durumda çalışanlar ile ilgili insan kaynakları uygulamalarında kişilerarası yetkinliklerin önceliklendirilmesi gerekir. Çalışma bulgularına göre çalışanlara yönelik insan kaynakları uygulamalarında en kritik 5 yetkinliğin sırasıyla müşteri odaklılık, diplomatik duyarlılık, takım çalışması, müzakere ve başarı odaklılık olduğu görülmektedir. Çalışanlar açısından verimliliğe ilişkin yetkinlik grubu ikinci derecede önemli iken, stratejik yetkinliklerin önemi görece düşük çıkmıştır. Bu bulgular, yetkinlik uygulamalarında çalışan düzeylerine göre farklılaşabilecek uygun yetkinlik kombinasyonunun tespit edilmesi ve yetkinlik bazlı insan kaynakları uygulamalarının buna göre yürütülmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Yönetici ve çalışanlara yönelik olarak tespit edilen söz konusu yetkinliklerin, ilgili örgütlerin insan kaynakları performansına katkısı olacağı değerlendirilmektedir. Çünkü örgütlerin başarısı, onların sahip olduğu hammadde, ara mal ve çalışanlar gibi kaynaklara ve bu kaynakların efektif bir şekilde kullanılmasına bağlıdır. Günümüzde, taklit edilemez yapısı ve değer üretiminin büyük oranda insan kaynaklarına bağımlı hale gelmesi nedeniyle örgütün sahip olduğu insan kaynakları, başarı, sürdürülebilirlik ve rekabet avantajı açısından diğer kaynaklardan daha belirleyicidir (Midhat Ali vd., 2021). Dolayısıyla söz konusu yetkinlikler, ilgili örgütlerin aday bulma ve seçme, geliştirme, performans yönetimi, performans değerlendirme, yedekleme, yetenek yönetimi ve ücretleme gibi örgüt açısından kritik önemdeki faaliyetlerde kullanılarak örgütün performansına pozitif katkılar sunulabilir (Mansfield, 1996).

Bu çalışmada kullanılan AHS yönteminin, insan kaynakları yönetimi ile ilgili farklı çalışmalarda kullanılacak etkin bir yöntem olduğu değerlendirilmektedir. Her ne kadar alan araştırmacılar arasında yaygın olarak kullanılan bir yöntem olmasa da AHS yaklaşımı, yetkinlik bazlı insan kaynakları süreçleri ile uyumludur. Klasik işe alım yöntemlerinin günümüz kompleks örgütsel yapılar içerisinde yapılan ve tanımı genişlemiş karmaşık işler için yeterli olmadığı düşüncesinden hareketle geliştirilen yetkinlik bazlı işe alım ve terfi sistemi, aslında çok sayıda faktörün dikkate alınmasını gerektiren çok amaçlı bir karar verme süreci olarak ifade edilmektedir (Iwamura ve Lin, 1998; Lai,1995). Bu karar verme sürecinde örgütler, stratejik amaç ve hedefleri ile uyumlu yetkinlik bazlı değerlendirme ve seçim kriterleri kullanmaktadır (Golec ve Kahya, 2007). Singh ve Pathak’a (2018) göre yetkinliklerin ölçümü için standart kriterlerin kullanılması, yetkinlik bazlı mülakatların yapılması, eğitimli profesyonellerin süreci yürütmesi ve farklı değerlendirme merkezi uygulamalarının (Ör., rol oyunu, mülakat, simülasyon) kullanılması bu sürecin etkin yürütülmesine katkı sağlar. Nitekim Avrupa Birliği ülkeleri, Avustralya, Yeni Zelanda ve Güney Afrika gibi çok sayıda ülke yetkinlik bazlı insan kaynakları uygulamalarını geliştirmeye ve yaygınlaştırmaya çalışmaktadır (Van Der Wagen ve Van Der Wagen, 2008). Benzer şekilde Türkiye’de de yetkinlik bazlı uygulamaların geliştirilmesi, uygulamasının teşvik edilmesi ve yaygınlaştırılması gerektiği değerlendirilmektedir.

Son olarak yetkinlik çerçevelerinin zamanla tekrar analize tabi tutulması ve bir bağlamda geliştirilen bir yetkinlik setinin farklı bağlamlarda tekrar analiz edilmesi gerekir. Örneğin, OECD yetkinlik çerçevesinin Türkiye bağlamında olduğu gibi kullanılmasının bazı sakıncaları bulunmaktadır. Birincisi, bu çerçevede çalışanların pozisyon düzeyleri farklılaştırılmamıştır. Ancak farklı düzeydeki çalışanlar için (örneğin yönetici ve çalışanlar) gerekli yetkinlikler farklılaşabilmektedir. İkincisi, yetkinlikler, bağlama özgü özellikler barındırdığı gibi zamana da duyarlıdır. Ekonomik, teknolojik ve diğer çevresel özelliklerdeki değişime bağlı olarak ihtiyaç duyulan

yetkinlikler ya da yetkinliklerin kritiklik düzeyleri değişebilmektedir (Salas-Pilco, 2013). Silva'ya (2009) göre yetkinlikler aslında her zaman vardır. Ancak çevresel gelişmelerden dolayı bunlardan bazıları zamanla daha önemli hale gelir. Bu nedenle bundan sonra yapılacak çalışmalarda, farklı yetkinlik modellerinin farklı düzey ve bağlamlar için ne kadar geçerli olduğunun analiz edilmesinde fayda bulunmaktadır. İkinci olarak üzerinde belirli bir süre geçmiş yetkinlik modellerinin de güncellenmesi için araştırmalara konu edilmesi gerektiği değerlendirilmektedir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada S. Cihan Köseoğlu, verilerin toplanması, hedef probleme yönelik modelinin oluşturulması, yöntemin uygulanması, sonuçların yorumlanması ve makalenin oluşturulması, sonuçların yorumlanması, konu ve literatür araştırmasının yapılması; Elif Kılıç Delice, problemin tanımlanması, bilimsel yayın araştırmasının yeterliliğinin incelenmesi, yöntem ve uygulamanın incelenmesi, makalenin oluşturulması ve genel makale incelemesi konularında katkı sağlamışlardır.

Teşekkür

Bu çalışmayı gerçekleştirmek için hem izin hem de uygulama aşamasında yardımlarını esirgemeyen Eğitim ve Araştırma Hastanesi yöntemine ve yoğun iş yüklerine rağmen çalışmaya gönüllü olarak katılan hemşirelere minnettarız.

Çıkar Çatışması

Bu makalenin yazarları arasında herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynakça

- Ahmadi, S., Yazdani, S. & Mohammad-Pour, Y. (2017). Development of a nursing competency framework: Thematic content analysis. *International Journal of Scientific Study*, 5 (4), 827-831. Doi: <https://doi.org/10.17354/ijssI/2017/112>.
- Aisha, A.N., Sudirman, I., Siswanto, J. & Andriani, M. (2019). A competency model for SMEs in the creative economy. *International Journal of Business*, 24 (4), 369 – 392.
- Armstrong, M. (2006), *A Handbook of Human Resource Management Practice*, 10th ed., Kogan Page, London, UK.
- Aytekin, İ. (2022). Yetkinliklere dayalı insan kaynakları yönetiminin Türkiye kamu kurumları bağlamında mevcut durumu. *Bartın Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 13 (25), 118-139. Doi: <https://doi.org/10.47129/bartiniibf.1120142>.
- Bartram, T., Cavanagh, J. & Hoye, R. (2017). The growing importance of human resource management in the NGO, volunteer and not-for-profit sectors. *The International Journal of Human Resource Management*, 28 (14), 1901-1911. Doi: <https://doi.org/10.1080/09585192.2017.1315043>.
- Beatty, C.A. (2019). *From HR practitioner to HR leader: Competencies required*, industrial relations center, Queen's University IRC. Erişim adresi: https://irc.queensu.ca/wp-content/uploads/articles/articles_from-hr-practitioner-to-hr-leader-competencies-required.pdf.
- Boyatzis, R. (1982). *The Competent Manager: A Model for Effective Managers*. New York: John Wiley and Sons.
- Buckley, J.J. (1985). Fuzzy hierarchical analysis. *Fuzzy Sets Systems*, 17 (1), 233–247. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1311.2886>
- Caldwell, R. (2010). HR business partner competency models: Re-contextualizing effectiveness? *Human Resource Management Journal*, 18 (3): 275–294. <https://doi.org/10.1111/j.1748-8583.2008.00071.x>
- Çetinkaya, M. ve Özutku, H. (2012). Yönetmelik performans yetkinlik temelli yaklaşım: Türk otomotiv sektöründe bir araştırma. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 41(1), 142-161. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/98200>.
- Cheng, M., Dainty, A.R.J. & Moore, D.R. (2005). Towards a multidimensional competency-based managerial performance framework. *Journal of Managerial Psychology*, 20(5), 380–396. Doi: <https://doi.org/10.1108/02683940510602941>.
- Daniali, S.M., Barykin, S.E., Khortabi, F.M., Kalinina, O.V., Teukanova, O.A., Torosyan, E.K., Poliakova, S., Prosekov, S., Moiseev, N. & Senjyu, T. (2022). An employee competency framework in a welfare organization. *Sustainability*, 14, 2397. Doi: <https://doi.org/10.3390/su14042397>.
- Draganidis, F. & Mentzas, G. (2006). Competency based management: A review of systems and approaches. *Information Management & Computer Security*, 14 (1), 51–64. Doi: <https://doi.org/10.1108/09685220610648373>.
- Elkin, G. (1990). Competency-based human resource development: Making sense of the ideas. *Industrial and Commercial Training*, 22 (4). 20-25. Doi: <https://doi.org/10.1108/00197859010137009>.
- Emmerling, R.J. & Boyatzis, R.E. (2012). Emotional and Social Intelligence Competencies: Cross Cultural Implications. *Cross Cultural Management*, 19 (1), 4–18. Doi: <https://doi.org/10.1108/13527601211195592>.
- Gallardo, K. (2020). Competency-based assessment and the use of performance-based evaluation rubrics in higher education: challenges towards the next decade. *Problems of Education in the 21st Century*, 78(1), 61-79. Doi: <https://doi.org/10.33225/pec/20.78.61>.

- Gangani, N.T., McLean, G.N. & Braden, R.A. (2008). A competency-based human resource development strategy. *Performance Improvement Quarterly*, 19, 127-139. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1937-8327.2006.tb00361.x>.
- Garavan, T. & McGuire, D. (2001). Competencies and workplace learning: Some reflections on the rhetoric and the reality. *Journal of Workplace Learning*, 13 (4), 144-164. Doi: <https://doi.org/10.1108/13665620110391097>.
- Golec, A. & Kahya, E. (2007). A fuzzy model for competency-based employee evaluation and selection. *Computers & Industrial Engineering*, 52, 143–161. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2006.11.004>.
- Gratton, P.C. (2018). Organization development and strategic planning for non-profit organizations. *Organization Development Journal*, 36 (2). 27 – 38.
- Hall, R. (2013). What are strategic competencies?, (Ed.) Joe Tidd, *From Knowledge Management to Strategic Competence: Assessing Technological, Market and Organizational Innovation*. Third Edition, Imperial College Press, 21-42. Doi: <https://doi.org/10.1142/p439>.
- ILO, (2020). *Competency-based training (CBT): An introductory manual for practitioners*, Retrieved from: https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---arabstates/---ro-beirut/documents/publication/wcms_757836.pdf.
- Iwamura, K. & Lin, B. (1998). Chance constrained integer programming models for capital budgeting environments. *Journal of Operational Research Society*, 46, 854–860. Doi: <http://dx.doi.org/10.1057/palgrave.jors.2600667>.
- Karimi, A., Teimouri, H., Shahin, A. & Barzoki, A.S. (2018). Competency-based recruitment and managerial succession. *Human Systems Management*, 37, 411-423. Doi: <https://doi.org/10.3233/HSM-17184>.
- Kramar, R. (2014). Beyond strategic human resource management: Is sustainable human resource management the next approach? *The International Journal of Human Resource Management*, 25(8), 1069–1089. Doi: <https://doi.org/10.1080/09585192.2013.816863>.
- Kruyen, P.M. & Van Genugten, M.L. (2019). Opening up the black box of civil servants' competencies. *Public Management Review*, 22, 118 - 140. Doi: <https://doi.org/10.1080/14719037.2019.1638442>.
- Lado, A.A. & Wilson, M.C. (1994). Human resource systems and sustained competitive advantage: A competency-based perspective. *Academy of Management Review*, 19 (4), 699-727. Doi: <https://doi.org/10.2307/258742>.
- Lai, Y.J. (1995). IMOST: interactive multiple objective system technique. *Journal of Operational Research Society*, 46, 958–976. Doi: <https://doi.org/10.1057/jors.1995.134>.
- Lee, K.L. & Salleh, A.L. (2009). Moderating effects of subordinate's competency level on leadership and organization citizenship behavior. *International Journal of Business and Management*, 4(1) (7), 139-145. Doi: <https://doi.org/10.5539/ijbm.v4n7p139>.
- Lucia, A. & Lepsinger, R. (1997). *The Art and science of 360° feedback*. San Francisco: Jossey-Bass.
- Lynn, D.B. (2003). Symposium: Human resource management in nonprofit organizations. *Review of Public Personnel Administration*, 23, 91-96. Doi: <https://doi.org/10.1177/0734371X0102100108>.
- Macke, J. & Genari, D. (2019). Systematic literature review on sustainable human resource management. *Journal of Cleaner Production*, 208(1), 806–815. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.091>.
- Male, S.A., Bush, M.B. & Chapman, E.S. (2011). Understanding generic engineering competencies. *Australasian Journal of Engineering Education*, 17 (3), 147-156. Doi: <https://doi.org/10.1080/22054952.2011.11464064>.
- Mansfield, R.S. (1996). Building competency models: Approaches for HR professionals, *Human Resource Management*, 35 (1), 7-18. Doi: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-050X\(199621\)35:1%3C7::AID-HRM1%3E3.0.CO;2-2](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-050X(199621)35:1%3C7::AID-HRM1%3E3.0.CO;2-2)

- McClelland, O.C. (1973). Testing for competence rather than for intelligence. *American Psychologist*, 28, 1-14. Doi: <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/h0034092>.
- Midhat Ali, M., Qureshi, S.M., Memon, M.S., Mari, S.I. & Ramzan, M.B. (2021). Competency framework development for effective human resource management. *SAGE Open*, 11 (2), 1-15. Doi: <https://doi.org/10.1177%2F21582440211006124>.
- Mietzner, D. & Kamprath, M. (2013). A competence portfolio for professionals in the creative industries. *Creativity and Innovation Management*, 22 (3), 280 – 294. Doi: <https://doi.org/10.1111/caim.12026>.
- Neelankavil, J.P., Mathur, A. & Zhang, Y. (2000). Determinants of managerial performance: A cross-cultural comparison of the perceptions of middle-level managers in four countries. *Journal of International Business Studies*, 31(1), 121-140. Retrieved From: <https://www.jstor.org/stable/155624>.
- Netzer, D. (2020). Non-Profit Organization. In: (Ed. Ruth Towse and Trilce Navarrete Hernández), *Handbook of Cultural Economics*, Third Edition, 379-391.
- Nunamaker, T.R. (1985). Using data envelopment analysis to measure the efficiency of non-profit organizations: A critical evaluation. *Managerial and Decision Economics*, 6, 50-58. Doi: <https://doi.org/10.1002/mde.4090060109>.
- Nutt, P.C. (1984). A strategic planning network for non-profit organizations. *Strategic Management Journal*, 5 (1), 57 – 75. Doi: <https://doi.org/10.1002/smj.4250050105>.
- OECD. (1997). The Definition and Selection of Key Competencies (DeSoCo). Erişim: <https://www.oecd.org/education/skills-beyond-school/definitionandselectionofcompetenciesdeseco.htm>.
- OECD. (2010). Managing Competencies in Government: State of the Art Practices and issues at Stake for the Future; Unclassified, GOV/PGC/PEM(2010)1/FINAL. Retrieved From: <https://www.oecd.org/gov/pem/paper-managing-competencies-in-government-state-of-the-art-practices-and-issues.pdf>.
- OECD. (2014). Competency Framwork. Retrieved From: <http://www.oecd.org> -> competency_framework_en.pdf
- OECD (2015), OECD/INFE Core Competencies Framework on Financial Literacy for Youth. Retrieved From: <https://www.oecd.org/finance/Core-Competencies-Framework-Youth.pdf>
- Özdemir, Y. S. (2022). Stok yönetimi için ABC - Küresel Bulanık AHS - ELECTRE tabanlı melez grup karar verme yöntemi ve bir uygulama. *Journal of Turkish Operations Management*, 6(1), 928 – 942.
- Özdemir, Y. S. & Savalan, Ş. (2022). Farklı tarımsal üretim yöntemleri sonucu elde edilen ürün kalitesi analizi için sürdürülebilir melez bulanık ÇKKV yaklaşımı uygulaması. *Journal of Turkish Operations Management*, 6(1), 1121 – 1133.
- Şengül, D., & Çağıl, G. (2020). Bulanık SWARA ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi Yöntemi ile iş değerlemesi. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 11 (3), 965-976.
- Perçin, D. S. (2012). Bulanık AHS ve Topsis yaklaşımının makine teçhizat seçimine uygulanması. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 21(1), 169-184. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/pub/cusosbil/issue/4389/60337>
- Piowar-Sulej, K. (2021). Human resources development as an element of sustainable HRM with the focus on production engineers. *Journal Of Cleaner Production*, 278 (1), 1-14. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124008>.
- Rana, R.A., Rana, F.Z. & Rana, H.A. (2017). Strategic planning role in non-profit organizations. *Journal for Studies in Management and Planning*, 3, 166-170. Retrieved From: <http://edupediapublications.org/journals/index.php/JSMaP/>

- Renwick, D.W., Redman, T. & Maguire, S. (2013). Green human resource management: A review and research agenda. *International Journal of Management Review*, 15 (1), 1-14. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1468-2370.2011.00328.x>.
- Ridder, H., Piening, P. & Baluch, A. M. (2012). The third way reconfigured: How and why nonprofit organizations are shifting their human resource management. *Human Resource Development Quarterly*, 23, 605–635. <https://doi.org/10.1007/s11266-011-9219-z>.
- Salamon, L.M. (1994). The Rise of the nonprofit sector. *Foreign Affairs*, 73 (4), 109 – 122. Doi: <https://doi.org/10.2307/20046747>.
- Salas-Pilco, S. Z. (2013). Evolution of the framework for 21st century competencies. *Knowledge Management & E-Learning*, 5(1), 10–24. Doi: <https://doi.org/10.34105/j.kmel.2013.05.002b>.
- Seate, B.M., Poee, R.D. & Chinomona, R. (2016). The relative importance of managerial competencies for predicting the perceived job performance of Broad-Based Black Economic Empowerment verification practitioners. *SA Journal of Human Resource Management*, 14, 1-11. Doi: <http://dx.doi.org/10.4102/sajhrm.v14i1.696>.
- Shaheen, M., Azam, M.S., Soma, M.K. & Kumar, T.J.M. (2019) A competency framework for contractual workers of manufacturing sector. *Industrial and Commercial Training*, 51 (3), 142-164. Doi: <https://doi.org/10.1108/ICT-10-2018-0080>.
- Shippmann, J.S., Ash, R.A., Batjtsta, M. & Carr, L. (2000). The practice of competency modeling. *Personnel Psychology*, 53, 703-740. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1744-6570.2000.tb00220.x>.
- Sienkiewicz, L., Jawor-Joniewicz, A., Sajkiewicz, B., Trawinska-Konador, K.A. & Podwojciec, K. (2014). *Competency-Based Human Resources Management: The Lifelong Learning Perspective*. Educational Research Institute, Warszawa.
- Silva, E. (2009). Measuring skills for 21st-century learning. *The Phi Delta Kappan*, 90(9), 630–634. Doi: <https://doi.org/10.1177%2F003172170909000905>.
- Singh, A. & Pathak, V. (2018). Competency based recruitment & selection: A key to retain employees. *CPJ Global Review*, 10 (1), 1-4. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2014.07.016>.
- Srikanth, P.B. (2019). Developing human resource competencies: An empirical evidence. *Human Resource Development International*, 22 (4), 343-363. Doi: <https://doi.org/10.1080/13678868.2019.1605580>.
- Van Der Wagen L. & Van Der Wagen, M. (2008). *Customer Service Intelligence: Perspectives for Human Resources and Training*. First Edition, Butterworth-Heinemann.
- Wasthi, A. & Chauhan, S. S. (2012), A hybrid approach integrating affinity diagram, AHP and Fuzzy TOPSIS for sustainable city logistics planning. *Applied Mathematical Modelling*, 36 (2), 573–584. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2011.07.033>
- Whysall, Z., Owtram, M., & Brittain, S. (2019). The new talent management challenges of Industry 4.0. *Journal of Management Development*, 38(2), 118 -129. Doi: <https://doi.org/10.1108/JMD-06-2018-0181>.