



ANKARA YILDIRIM BEYAZIT UNIVERSITY

JOURNAL OF TURKISH OPERATIONS MANAGEMENT

ISSN 2630-6433 e-ISSN 2630-6433

JOURNAL OF TURKISH OPERATIONS MANAGEMENT

YEAR: 2023

VOLUME: 7

NUMBER: 1



ANKARA YILDIRIM BEYAZIT UNIVERSITY

JOURNAL OF TURKISH OPERATIONS MANAGEMENT

ISSN 2630-6433 e-ISSN 2630-6433

Owner / Sahibi

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

Monthly automobile sales prediction in Turkey Bülent Sezen, Mert Tekin	1444-1459
An overview of temporary housing management after the earthquakes in Turkey in terms of disaster management Pınar Usta, Özge Onat	1460-1468
Bir mobilya üretim tesisi için üretim geliştirme mühendisi seçimi Rabia Yumuşak, Bedirhan Sarımehtmet, Tamer Eren	1469-1482
Investigation the ergodic distribution of a semi-Markovian inventory model of type (s,S) with intuitive approximation approach Ash Bektaş Kamışlık, Büşra Alakoç, Tulay Kesemen, Tahir Khaniev	1483-1492
Geliştirilmiş Bulanık SWARA ve Bulanık CODAS yöntemleriyle tesis yeri seçimi: imalat sektöründe bir uygulama Bilge Nur Peker, Ali Görener	1493-1512
A literature review on potential decision problems for vehicle sharing systems İpek Damla Akpınar, Barış Keçeci	1513-1530
Türkiye'deki konteyner terminallerinin performans incelemesi ve Mersin Limanı için performans gelişim önerileri Yeliz Çelik, Murat Yorulmaz	1531-1549
Entropi tabanlı TOPSIS-Sort ile iş güvenliği risklerinin sınıflandırılması Esra Duygu Durmaz, İlker Gölcük	1550-1563
A review of workload challenges in fog computing environment Omar Anwer Nafea, Turkan Ahmed Khaleel	1564-1578
A Monte Carlo simulation approach to the gap-time relationship in solving scheduling problem Oğuz Torağay, Shaheen Pouya	1579-1590
The inference of complicated networks by mutual information Hajar Farnoudkia	1591-1595
Investment decision support system using credibility analysis with fuzzy interest rate Gülçin Canbulut	1596-1604
Fuzzy linear programming model for inverse multiple criteria sorting problem: an application in a public transportation company Gülçin Canbulut	1605-1611



ANKARA YILDIRIM BEYAZIT UNIVERSITY

JOURNAL OF TURKISH OPERATIONS MANAGEMENT

ISSN 2630-6433 e-ISSN 2630-6433

Evaluating efficiency using the technique of data envelopment analysis, case study: sales agents of Iran Khodro Company 1612-1629
Maryam Ebrahimi, Kamran Yeganegi

New generation FMEA method in automotive industry: an application 1630-1643
Nesimi Kk, Mehmet Selami Yıldız



Journal of Turkish Operations Management

Monthly automobile sales prediction in Turkey

Bülent Sezen^{1*}, Mert Tekin²

¹Gebze Technical University, Kocaeli

e-mail: bsezen@gtu.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0001-7485-3194>

²Akpınar Mh. Hasan Basri Cd. No:2 Sancaktepe, İstanbul

e-mail: merttekin@gtu.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-5968-7789>

Article Info

Article History:

Received: 08.12.2021

Revised: 08.07.2022

Accepted: 08.07.2022

Keywords:

Sales prediction,
Artificial neural network,
Regression analysis

Abstract

Meeting customer needs in a timely manner has a significant impact on customer satisfaction. For this reason, the planning process has successfully influenced the success of sales activities. The crucial point for the success of the planning process depends on the sales forecasts. Sales forecasting estimates the quantity required by the customer needs. It helps in determining sales targets as campaigns, pricing, brand and product communication, and distribution channels are incorporated in the sales forecast. In this paper, we use regression and artificial neural networks to predict automobile sales in Turkey. The performance of regression is compared with that of an artificial neural network, and it is shown which network is able to predict. Thus, the result of the study, automobile sales in Turkey, was predicted and compared with the actual sales for 2020. The result is that the best prediction method will determine the automobile sales in Turkey.

1. Introduction

The ability of companies to forecast sales helps them achieve top rankings in their sectors. Therefore, all companies follow different strategies to stay ahead of the competition. Successfully predicting the future of sales not only helps them to improve sales performance but also to manage the business effectively. In addition, it is important to identify early warning signs and risks in the sales pipeline.

There are two primary methods of demand forecasting: qualitative and quantitative. Qualitative methods are generally used for studies based on subjective thoughts and surveys. However, quantitative methods are very suitable for sales forecasting. One of the quantitative methods is regression analysis. This method was selected in this study to determine the relationship between the relevant independent variables. Artificial neural networks are also used to predict sales volume because they are used in too many different fields.

Depending on the method of calculation, there are many methods of regression analysis that are also evaluated. The best method selected to compare with the results is the artificial neural network. At the same time, the collected data were processed using SPSS to find the best method for regression analysis. In addition, some of the independent variables were eliminated because the regression analysis did not affect the results too much. The study continued with six independent variables. The independent variables used in this study are consumer price index, consumer price index (motor vehicle cost), Brent gasoline futures, dollar exchange rate, unit import index, unit export index, industrial production index, economic confidence index, lending rates, deposit rates, total money supply, and unemployment rate.

The choice of artificial neural network analysis method in MATLAB was related to the studies conducted previously. According to recent studies, there is no particular relationship between the number of hidden networks and the results and recommends a heuristic approach. For this reason, different iterations were created with

different sets of neurons and a different ratio of validation to testing. All predictions were compared with the actual results, and the iteration with the best error rate was selected.

The datasets were taken from TUIK (Turkish Statistical Institute) and the EVDS system (Turkish Central Bank). They cover the data between January 2009 and December 2020. For each independent variable, the data are taken as the average of the relevant months. In this way, peaks and troughs are eliminated.

In this paper, the best method is determined using linear regression and artificial neural network results. We have chosen linear regression as one of the forecasting methods because of its popularity in recent studies. Moreover, artificial neural networks are widely used in previous studies. When we compared them in terms of the time taken to achieve prediction, linear regression seems to take a fast path to prediction. However, it was expected that ANN could adapt to the nonlinearities in the dataset to outperform linear regression. Therefore, we decided to compare them to see how the errors change. Moreover, the peaks of the error are interpreted to develop a systematic prediction for automobile sales in Turkey.

2. Literature Survey

Herrera (2010) addressed the prediction of water consumption and demand in an urban area of a city in southeastern Spain. Their models were built using time series data of water consumption. All the prediction models such as artificial neural networks (ANN), Projection pursuit regression (PPR), Multivariate adaptive regression splines (MARS), Support vector regression (SVR), Random forecast, and Weighted pattern-based model for predicting water demand were evaluated using an experimental methodology, so this study is very important.

Yücesoy (2011), in addition to the identification of artificial neural networks and demand forecasting, an application was also created for this study. It is used to predict the annual sales volume of cleaning paper in Turkey. The data used for this study are from 1981 to 2010, and independent variables are production volume, import volume, the price index of the paper and printing industry, gross domestic product, population, urban population, and literacy rate. In addition, the performance of simple regression, multiple regression, and artificial neural networks is shown. In conclusion, the compared results show that artificial neural networks are an efficient tool for forecasting.

Wu & Liu (2012) in this study, have worked on a car fuel consumption prediction system using radial basis function network and backpropagation neural network. Mainly five kinds of engineering variables affect the fuel consumption used for the calculations. The result of this study is that the proposed neural network system is effective and satisfactory in predicting fuel consumption.

Kılıç (2015), the researcher has worked on the study of predicting the daily food demand in the dining hall of PAU. This study is different from the others in terms of data preparation. The intelligent identity database system recorded all the data. They were processed using SPSS, and the relationship between the data was tested. According to the relationship, the data is divided into two parts with the help of tests & training. Consequently, the researcher obtained better results by artificial intelligence methods.

Akyurt (2017), this study aimed to predict the automobile production values of Turkey in 2023. The input value of the study is the monthly sales figures between January 2011 and September 2015. A feed-forward neural network model trained with a backpropagation algorithm was used to estimate demand for this time series - the performance of the model was measured using MAPE and MSE.

Santoni (2020) aimed to create a neural network trained to predict the occurrence of kidney cancer in the US. Their method chooses three layers for computation and changes the number of neurons of the hidden layer, starting with five and increasing. Mean square normalized error performance and correlation coefficients for linear regression were used to assign a value to learning performance. The results show that the prevention of hypertension has the greatest impact on reducing the incidence of renal cell carcinoma. In contrast, preventing obesity and smoking would have a smaller effect.

Yazıcıoğlu (2010) has also worked with data from the automotive industry, but the main differences are the data range used and the focused data set. In contrast, the searcher focused on predicting the value of automobile production in Turkey. It can also be very useful in helping industrial companies manage their pre-production phases. Another difference is the scope of data in this study. Most studies on these areas show that the data breadth should be as large as possible.

Wang (2011) has dealt with the prediction of automobile sales in Taiwan. The study used several independent variables, such as the current number of automobile sales, coincidence indicator, leading indicator, wholesale price index, and income. The first step of the study is a stepwise regression analysis to determine the main output variables. Then select the variables, input, and output in adaptive network based fuzzy inference system (ANFIS). The third step of the study is to compare this model with two forecasting models: autoregressive integrated moving average model (ARIMA) and artificial neural network (ANN). Finally, better results were obtained with the ANFIS method.

Loureiro (2018) This study investigates the use of a deep learning approach to predict sales in the fashion industry to predict the sales of new individual products in future seasons. Five types of prediction methods are used: Decision Trees, Random Forest, Support Vector Regression, Artificial Neural Networks, and Deep Neural Networks. Also, work to determine the best method. Distinguish this from the other studies by diversifying the independent variables for each method. The result of the study: if R^2 is used as a measure of accuracy, Random Forest can be considered the best technique. When the decision is based on error related metrics, Random Forest shares the lead with the deep neural network as each of these techniques gives the best results for two out of four metrics.

This study differs from others, not only in terms of the subject but also in the elimination method used in the regression analysis. The results of backward elimination of irrelevant independent variables were never used for prediction. In addition, related studies primarily focused on predicting production quantity; however, the main objective of this study is to explain the relationship between quantity-based sales and economic indicators. It aimed to see the overall picture of the market.

3. Dataset

The source of the data used in this study is shown in Table 1. The data collected from EVDS and TUIK were created as monthly averages, and the data collected from Investing show the first day of the month. The missing cells were calculated using the simple moving average method and filled in yellow in Table 15.

Table 1. Variables

	Independent Variables	Source
X1	Consumer Price Index	EVDS
X2	Consumer Price Index (Automobile expenses)	EVDS
X3	Brent Petrol futures	Investing.com
X4	Rates of US Dollars	EVDS
X5	Unit import index	TUIK
X6	Unit export index	TUIK
X7	Industrial production index	EVDS
X8	Economic confidence index	EVDS
X9	Interest rates of loans	EVDS
X10	Interest rates of deposits	EVDS
X11	Total money supply	EVDS
X12	Unemployment rate	EVDS
Y1	Automobile Sales in Turkey	Otomotivanaliz.com

4. Calculations

4.1 Regression Analysis

All independent and dependent variables are used in the first step of the regression analysis, as listed in Table 1.

Table 2. Variables Entered / Removed

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	X12, X7, X2, X9, X6, X10, X8, X3, X11, X5, X4, X1 ^b	.	Enter

a. Dependent Variable: Y1

b. All requested variables entered.

Table 3. Anova

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	19675786590,607	12	1639648882,551	9,360	,000 ^a
	Residual	22949300526,973	131	175185500,206		
	Total	42625087117,580	143			

a. Dependent Variable: Y1

b. Predictors: (Constant), X12, X7, X2, X9, X6, X10, X8, X3, X11, X5, X4, X1

The regression model with automobile sales as the dependent variable and X1...X12 as the independent variables is shown in Table 2 and the sig. level found below 0.01 ($p < 0.01$) was significant.

Table 4. Coefficients

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-89880,006	67459,432		-1,332	,185
	X1	408,285	9501,614	,042	,043	,966
	X2	-1036,168	1138,106	-,291	-,910	,364
	X3	584,649	1461,084	,130	,400	,690
	X4	-131,866	118,371	-,722	-1,114	,267
	X5	-76,567	109,360	-,425	-,700	,485
	X6	158,578	1168,062	,017	,136	,892
	X7	644,198	130,512	,736	4,936	,000
	X8	-244,332	158,726	-,373	-1,539	,126
	X9	471,667	260,917	,194	1,808	,073
	X10	1,594E-5	,000	,714	,651	,516
	X11	-665,305	567,664	-,437	-1,172	,243
	X12	1562,385	906,837	,686	1,723	,087

a. Dependent Variable: Y1

The coefficients on Table 4 shows that the positive effect of X7 on the dependent variable is significant ($B=644.198$, $p < 0.01$). In his way, the hypothesis is supported, and the main argument explaining the dependent variable is X7.

Table 5. Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,679 ^a	,462	,412	9223,37203685 4777000

a. Predictors: (Constant), X12, X7, X2, X9, X6, X10, X8, X3, X11, X5, X4, X1

Found that the independent variables included in the model explained 41% of the variance in automobile sales. Using the backward elimination method, a reanalysis was performed, eliminating variables that frequently affect the dependent variable. The end of the seven steps shows that the most influential independent variables in the model are X2, X4, X7, X8, X9, and X12.

Table 6. Variables Entered / Removed (Backward Elimination)

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	X12, X7, X2, X9, X6, X10, X8, X3, X11, X5, X4, X1 ^b	.	Enter
2	.	X1	Backward (criterion: Probability of F-to-remove >= ,100).
3	.	X6	Backward (criterion: Probability of F-to-remove >= ,100).
4	.	X3	Backward (criterion: Probability of F-to-remove >= ,100).
5	.	X5	Backward (criterion: Probability of F-to-remove >= ,100).
6	.	X10	Backward (criterion: Probability of F-to-remove >= ,100).
7	.	X11	Backward (criterion: Probability of F-to-remove >= ,100).

a. Dependent Variable: Y1

b. All requested variables entered.

Table 7. Model Summary (Backward Elimination)

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	R Square Change	Change Statistics			
						F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	,679 ^a	,462	,412	9223,37	,462	9,360	12	131	
2	,679 ^b	,462	,417	9223,37	,000	,002	1	131	
3	,679 ^c	,462	,421	9223,37	,000	,020	1	132	
4	,679 ^d	,461	,425	9223,37	-,001	,164	1	133	
5	,677 ^e	,459	,427	9223,37	-,002	,490	1	134	
6	,676 ^f	,457	,429	9223,37	-,001	,371	1	135	
7	,672 ^g	,452	,428	9223,37	-,006	1,449	1	136	

a. Predictors: (Constant), X12, X7, X2, X9, X6, X10, X8, X3, X11, X5, X4, X1

b. Predictors: (Constant), X12, X7, X2, X9, X6, X10, X8, X3, X11, X5, X4

c. Predictors: (Constant), X12, X7, X2, X9, X10, X8, X3, X11, X5, X4

d. Predictors: (Constant), X12, X7, X2, X9, X10, X8, X11, X5, X4

e. Predictors: (Constant), X12, X7, X2, X9, X10, X8, X11, X4

f. Predictors: (Constant), X12, X7, X2, X9, X8, X11, X4

g. Predictors: (Constant), X12, X7, X2, X9, X8, X4

Table 8. ANOVA (Backward Elimination)

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	19675786590,607	12	1639648882,551	9,360	,00
	Residual	22949300526,973	131	175185500,206		
	Total	42625087117,580	143			
2	Regression	19675463123,871	11	1788678465,806	10,288	,00
	Residual	22949623993,709	132	173860787,831		
	Total	42625087117,580	143			
3	Regression	19672046376,856	10	1967204637,686	11,399	,00
	Residual	22953040740,724	133	172579253,690		
	Total	42625087117,580	143			
4	Regression	19643726600,779	9	2182636288,975	12,727	,00
	Residual	22981360516,801	134	171502690,424		
	Total	42625087117,580	143			
5	Regression	19559618579,500	8	2444952322,438	14,310	,00
	Residual	23065468538,080	135	170855322,504		
	Total	42625087117,580	143			
6	Regression	19496187574,949	7	2785169653,564	16,377	,00
	Residual	23128899542,631	136	170065437,813		
	Total	42625087117,580	143			
7	Regression	19249758236,546	6	3208293039,424	18,803	,00
	Residual	23375328881,033	137	170622838,548		
	Total	42625087117,580	143			

a. Dependent Variable: Y1

b. Predictors: (Constant), X12, X7, X2, X9, X6, X10, X8, X3, X11, X5, X4, X1

c. Predictors: (Constant), X12, X7, X2, X9, X6, X10, X8, X3, X11, X5, X4

d. Predictors: (Constant), X12, X7, X2, X9, X10, X8, X3, X11, X5, X4

e. Predictors: (Constant), X12, X7, X2, X9, X10, X8, X11, X5, X4

f. Predictors: (Constant), X12, X7, X2, X9, X10, X8, X11, X4

g. Predictors: (Constant), X12, X7, X2, X9, X8, X11, X4

h. Predictors: (Constant), X12, X7, X2, X9, X8, X4

Table 9. Coefficients

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.		
	B	Std. Error	Beta				
1	(Constant)	-89880,006	67459,432		-1,332	0,185	
	X1	408,285	9501,614	0,042	0,043	0,966	
	X2	-1036,168	1138,106	-0,291	-0,91	0,364	
	X3	584,649	1461,084	0,13	0,4	0,69	
	X4	-131,866	118,371	-0,722	-1,114	0,267	
	X5	-76,567	109,36	-0,425	-0,7	0,485	
	X6	158,578	1168,062	0,017	0,136	0,892	
	X7	644,198	130,512	0,736	4,936	0	
	X8	-244,332	158,726	-0,373	-1,539	0,126	
	X9	471,667	260,917	0,194	1,808	0,073	
	X10	1,59E-05	0	0,714	0,651	0,516	
	X11	-665,305	567,664	-0,437	-1,172	0,243	
	X12	1562,385	906,837	0,686	1,723	0,087	
2	(Constant)	-89000,202	64033,698		-1,39	0,167	
	X2	-1020,691	1075,519	-0,287	-0,949	0,344	
	X3	584,896	1455,538	0,13	0,402	0,688	
	X4	-132,196	117,674	-0,724	-1,123	0,263	
	X5	-75,301	104,921	-0,418	-0,718	0,474	
	X6	162,601	1159,892	0,017	0,14	0,889	
	X7	642,998	127,006	0,735	5,063	0	
	X8	-242,991	155,038	-0,371	-1,567	0,119	
	X9	471,74	259,923	0,194	1,815	0,072	
	X10	1,67E-05	0	0,748	1,003	0,318	
	X11	-656,879	530,702	-0,431	-1,238	0,218	
	X12	1543,544	790,787	0,677	1,952	0,053	
	3	(Constant)	-83801,257	52008,267		-1,611	0,109
X2		-1022,514	1071,47	-0,287	-0,954	0,342	
X3		587,401	1450,055	0,131	0,405	0,686	
X4		-130,727	116,774	-0,716	-1,119	0,265	
X5		-74,508	104,381	-0,413	-0,714	0,477	
X7		634,704	111,967	0,725	5,669	0	
X8		-243,041	154,465	-0,371	-1,573	0,118	
X9		461,703	248,944	0,19	1,855	0,066	
X10		1,66E-05	0	0,744	1,002	0,318	
X11		-654,294	528,424	-0,43	-1,238	0,218	
X12		1519,143	768,544	0,667	1,977	0,05	
4		(Constant)	-86116,972	51531,655		-1,671	0,097
		X2	-629,39	452,73	-0,177	-1,39	0,167
	X4	-111,47	106,326	-0,61	-1,048	0,296	
	X5	-72,811	103,971	-0,404	-0,7	0,485	
	X7	641,377	110,403	0,733	5,809	0	
	X8	-248,814	153,325	-0,38	-1,623	0,107	
	X9	470,168	247,29	0,194	1,901	0,059	
	X10	1,43E-05	0	0,64	0,921	0,359	
	X11	-584,799	498,239	-0,384	-1,174	0,243	
	X12	1441,544	741,963	0,633	1,943	0,054	
	5	(Constant)	-86850,487	51423,679		-1,689	0,094
		X2	-816,815	364,461	-0,23	-2,241	0,027
		X4	-120,674	105,312	-0,661	-1,146	0,254
X7		634,462	109,753	0,725	5,781	0	
X8		-268,289	150,497	-0,409	-1,783	0,077	
X9		441,72	243,47	0,182	1,814	0,072	
X10		6,97E-06	0	0,312	0,609	0,543	
X11		-593,785	497,133	-0,39	-1,194	0,234	
X12		1506,341	734,78	0,661	2,05	0,042	
6		(Constant)	-94422,174	49784,137		-1,897	0,06
		X2	-915,508	325,734	-0,257	-2,811	0,006
		X4	-58,504	26,004	-0,32	-2,25	0,026
		X7	612,097	103,194	0,699	5,932	0
	X8	-286,055	147,304	-0,437	-1,942	0,054	
	X9	438,03	242,832	0,181	1,804	0,073	
	X11	-597,007	495,954	-0,392	-1,204	0,231	
	X12	1558,288	728,128	0,684	2,14	0,034	
	7	(Constant)	-87892,362	49568,756		-1,773	0,078
		X2	-975,386	322,441	-0,274	-3,025	0,003
		X4	-60,376	25,999	-0,331	-2,322	0,022
		X7	625,64	102,747	0,715	6,089	0
		X8	-376,042	127,134	-0,574	-2,958	0,004
X9		487,937	239,658	0,201	2,036	0,044	
X12		935,725	513,373	0,411	1,823	0,071	

Dependent Variable: Y1

The equation indicating the number of vehicle sales according to the results of the regression analysis using the backward elimination method;

$$-87893.392 + (X2)*(-975.386) + (X4)*(-60.376) + (X7)*(625.64) + (X8)*(-376.042) + (X9)*(487.937) + (X12)*(935.725).$$

4.2 Artificial Neural Network

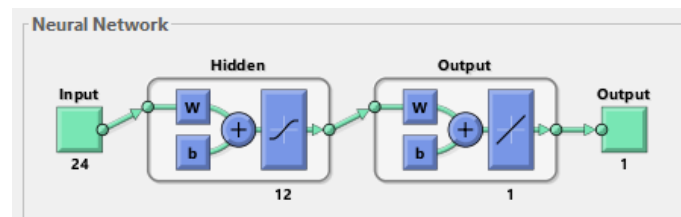
Artificial neural networks are flexible and nonparametric modeling tools. Artificial neural networks are known as a method developed by simulating the brain's cognitive learning process. It is very effective in complex problems. It can find solutions to many problems such as estimation, classification, clustering. The most important property of neural networks is that they can solve the problem by learning based on the past knowledge of complex systems by example.

Artificial neural networks consist of simple elements connected in parallel. These elements have a similar structure to the biological nervous system. The large-scale connections between these elements make up the function of the network. By adjusting the weighting values with which the elements are connected, the network is trained to perform a particular function. In this way, a net output is produced in response to a given input.

With the help of artificial neural networks, many problems can be solved. Different network structures are used to solve each problem. Which network is more suitable for which decision maker is determined by the nature of the problem. In this study, the Multilayer Perceptron Model (MPM) was used because this network structure is commonly used, especially in problems such as classification and estimation.

The MPM was developed by Rumelhart et al. in 1986. This model is also known as the error propagation model or backpropagation network. The backpropagation algorithm is used in the MPM. This algorithm is a robust learning algorithm used in artificial neural networks with middleware. This algorithm allows artificial neural networks to be used to learn the relationship between complex, nonlinear, and process parameters. Artificial neurons, created by mimicking the biological neuron, assemble to form the artificial neural network in Figure 1. These layers are input, output, and intermediate layers. The input layer receives the external information and passes it to the intermediate layer - the information processed in the intermediate layer is sent to the output layer.

Figure 1. Neural Network



The output layer receives the output generated for the pattern set presented by the input layer. It facilitates the learning process by classifying the data into itself. The weights of the network should be adjusted to get the correct output in the learning process. The learning rule of the MPM network is a generalization of the delta learning rule based on the least squares method. Therefore, the learning rule is also called as "generalized delta rule". The "delta rule" used in the backpropagation algorithm is a rule based on the idea of constantly adjusting and improving the input connections, i.e., weights, to reduce the difference between the actual output value of a neuron and the desired output value.

In this rule, the optimal value for the weights is found by constantly changing the connection weights during learning. In this network structure, the method of "instructive learning" is used. Each vector associated with the target output values is presented to the network for learning in instructive learning. The weights are corrected based on the established learning rule.

According to previous studies, we preferred to iterate because there is no linear relationship between the number of hidden neurons and the error. The iteration table is as follows Table 10.

Table 10. Iterations

	Hidden neurons	Training	Validations	Testing
1	4	60	20	20
2	8	60	20	20
3	12	60	20	20
4	16	60	20	20
5	4	70	15	15
6	8	70	15	15
7	12	70	15	15
8	16	70	15	15
9	4	80	10	10
10	8	80	10	10
11	12	80	10	10
12	16	80	10	10
13	12	65	15	20
14	12	65	20	15

5. Results and comparison

When the linear regression analysis was estimated using the backward elimination method with the coefficients from Table 9, the error rate was 16.41%. Then, the error rate was recalculated with all iteration results, and the improvements in the estimates were examined using the linear regression method. In the 13th iteration, 12 hidden neurons were used. The distributions of the training, validation and test data were 65-15-20, respectively. Compared with the linear regression method, the lowest error rate and the most significant improvement were obtained.

Moreover, the success rates in the 13th iteration with 11 internal iterations with the best results can be seen in Table 11-12-13-14.

Table 11. Results of Iterations

	Hidden neurons	Training	Validations	Testing	Error	Improvement
1	4	60	20	20	17,89%	-1,48%
2	8	60	20	20	15,75%	0,66%
3	12	60	20	20	19,15%	-2,74%
4	16	60	20	20	23,60%	-7,19%
5	4	70	15	15	28,35%	-11,94%
6	8	70	15	15	24,04%	-7,63%
7	12	70	15	15	12,58%	3,83%
8	16	70	15	15	38,65%	-22,24%
9	4	80	10	10	25,66%	-9,25%
10	8	80	10	10	25,87%	-9,46%
11	12	80	10	10	20,62%	-4,21%
12	16	80	10	10	12,95%	3,46%
13	12	65	15	20	12,05%	4,36%
14	12	65	20	15	14,64%	1,77%
Linear Regression	-	-	-	-	16,41%	

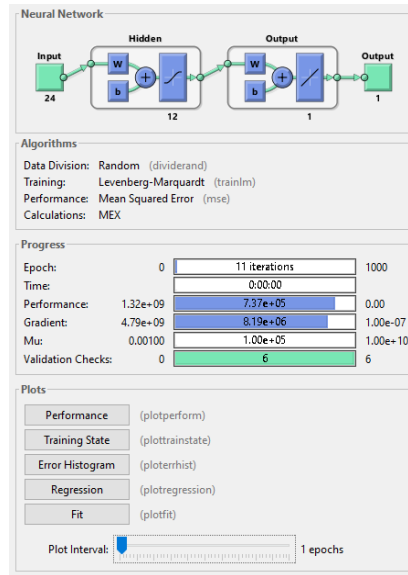


Figure 2. Calculation parameters

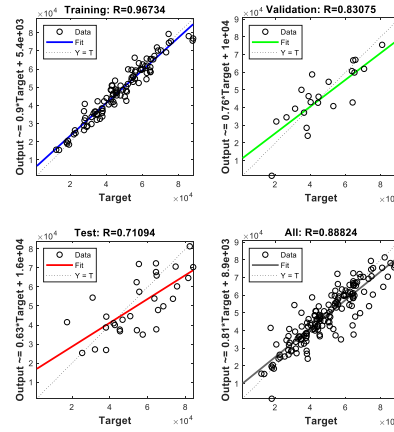


Figure 3. Distribution of improved result

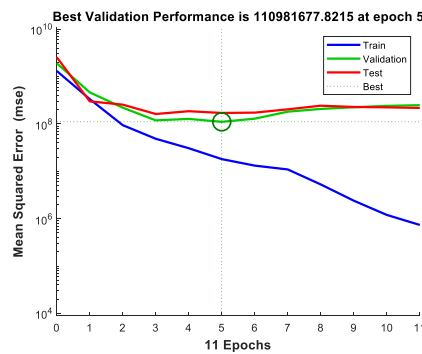


Figure 4. Best Validation Performance

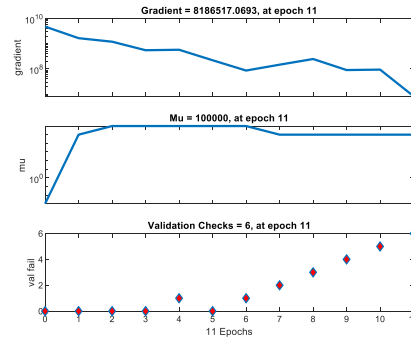


Figure 5. Gradient/Mu/Validation Checks

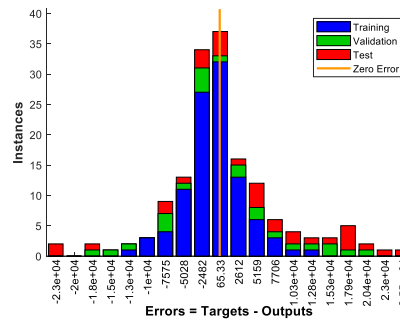


Figure 6. Error Histogram with 20 Bins

6. Discussion

The first estimate of ODD for 2021, which conducts the most detailed research on the automotive industry in Turkey, was published in September 2020. With the data announced after this estimate, the estimate made with the September 2020 data using the Ann method is shown in Table 12 below. As shown in the table, the absolute error rate of ODD in the first eight months estimate was 28.28%, while the absolute error rate in the Ann method used in this study was 5.4%.

For both estimates, the highest error rate was found in March. As the source of this error, the volatility of the dollar exchange rate, the dependent variable that has the most significant effect on the independent variable, was further examined in the regression analysis. It was found that March was the month with the highest USD/TRY volatility at 17.63%. Moreover, in 2012, when the error rate was the lowest, it was found that the volatility was the lowest among the 20-year data, and the relationship between the two factors was confirmed.

Therefore, it is expected that the success of this study will increase in future studies when the estimation of USD/TRY rate is also investigated, and the estimation is improved in this direction.

Table12. Comparison of Estimations

	ODD Pred. By Sep '20	Ann Pred. By Sep '20	TUIK - 2021	Error (Monthly)	
				ODD	Ann
Jan	27702	105186	97198	-71,5%	8,2%
Feb	37217	54211	54574	-31,8%	-0,7%
Mar	57283	60517	98306	-41,7%	-38,4%
Apr	62065	63938	70182	-11,6%	-8,9%
May	55228	65476	48166	14,7%	35,9%
Jun	65139	52304	63703	2,3%	-17,9%
Jul	58312	74718	81399	-28,4%	-8,2%
Aug	48513	66384	60201	-19,4%	10,3%
Sep	58890	56046			
Oct	64651	58353			
Nov	76574	65370			
Dec	119926	56447			
Aug YTD	411459	542734	573729		
Error (Aug YTD)	-28,28%	-5,40%			

ODD: Automotive Distributors Association
TUIK: Statistical Institute of Turkey



Figure 7. USD/TRY Exchange Rate

7. Conclusion

It was observed that the estimation ability increased with the increase in the number of hidden neurons. However, beyond a certain point, the increase in this number began to affect the prediction. In particular, as can be seen in the 13th and 14th iterations, the test rate was slightly higher than the validation rate, which had a significant impact on the prediction success. Since the error rate increases rapidly as the training rate increases, diversifying the iterations with the information obtained from this study will allow the system to make more accurate estimates.

As a continuation of this study, by automating the flow of data and transferring all results into the system BI, creating dashboards, and controlling the data, management decision making is greatly facilitated.

Moreover, the success of the system is enhanced by periodically re-questioning the independent variables identified and working with new independent variables according to the changing trend.

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

Akyurt. (2017). Talep Tahminin Yapay Sinir Ağlarıyla Modellenmesi: Yerli Otomobil Örneği. İstanbul Üniversitesi İktisat Fakültesi Ekonometri ve İstatistik Dergisi, November 2015.

Herrera, M., Torgo, L., Izquierdo, J., & Pérez-García, R. (2010). Predictive models for forecasting hourly urban water demand. *Journal of Hydrology*, 387(1–2), 141–150. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.04.005>

Kılıç, G. (2015). Yapay Sinir Ağları ile Yemekhane Günlük Talep Tahmini

Loureiro, A. L. D., Miguéis, V. L., & da Silva, L. F. M. (2018). Exploring the use of deep neural networks for sales forecasting in fashion retail. *Decision Support Systems*, 114(August), 81–93. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2018.08.010>

Santoni, M., Piva, F., Porta, C., Bracarda, S., Heng, D. Y., Matrana, M. R., Grande, E., Mollica, V., Aurilio, G., Rizzo, M., Giulietti, M., Montironi, R., & Massari, F. (2020). Artificial Neural Networks as a Way to Predict Future Kidney Cancer Incidence in the United States. *Clinical Genitourinary Cancer*, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.clgc.2020.10.008>

Wang, F. K., Chang, K. K., & Tzeng, C. W. (2011). Using adaptive network-based fuzzy inference system to forecast automobile sales. *Expert Systems with Applications*, 38(8), 10587–10593. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.02.100>

Wu, J. Da, & Liu, J. C. (2012). A forecasting system for car fuel consumption using a radial basis function neural network. *Expert Systems with Applications*, 39(2), 1883–1888. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.07.139>

Yazıcıoğlu, N. (2010). Yapay Zeka ile Talep Tahmini. In *International Institute for Environment and Development*: Vol. 07/80 (Issue 2). <https://arxiv.org/pdf/1707.06526.pdf><https://www.yrpri.org><http://weekly.cnbnews.com/news/article.html?no=124000><https://www.fordfoundation.org/>http://bibliotecavirtual.clacso.org.ar/Republica_Dominicana/ccp/20120731051903/prep<http://webpc.cia>

Yücesoy. (2011)..Temizlik Kağıtları Sektöründe Yapay Sinir Ağları İle Talep Tahmini. *Istanbul Teknik Üniversitesi- Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi, Cilt 8, Sayı 17, 2012, ss. 87-100 91 *Int. Journal of Management Economics and Business*, Vol. 8, No. 17, 2012, pp. 87-100

Table 13. Data Set (2009-01/2012-12)

Tarih	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	Y1
2009-01	1,59	21,65	15,67	160,90	109,32	14,10	52,52	45,88	65,57	460587164,80	92,42	95,13	27391
2009-02	1,65	20,88	13,03	160,35	111,74	14,80	50,45	46,35	69,00	470279207,50	90,63	90,94	12126
2009-03	1,70	20,07	12,00	162,12	104,82	14,70	56,90	49,23	71,44	473549882,20	90,17	89,84	31679
2009-04	1,60	18,63	11,74	162,15	99,75	13,80	57,79	50,80	85,54	467303012,95	89,61	91,67	34884
2009-05	1,55	18,33	11,33	163,19	100,90	12,70	61,00	65,52	84,97	471327888,90	86,36	93,78	38006
2009-06	1,54	18,24	11,34	163,37	104,82	12,20	65,20	69,30	86,67	475738436,00	89,46	96,38	41216
2009-07	1,51	18,22	11,03	163,78	107,37	12,10	65,79	71,70	87,45	477200014,20	90,15	97,12	13728
2009-08	1,48	16,89	9,97	163,29	107,99	12,60	61,84	69,65	86,46	482703790,70	92,27	98,64	25362
2009-09	1,49	15,67	9,17	163,93	108,13	12,50	61,49	69,07	85,61	493154743,40	93,34	100,20	31699
2009-10	1,46	15,02	8,46	167,88	113,70	12,20	69,97	75,20	85,21	498127945,60	96,94	101,48	29043
2009-11	1,48	14,07	8,08	170,01	115,19	12,20	63,65	78,47	84,48	510997266,80	98,68	103,32	17363
2009-12	1,50	13,13	8,39	170,91	113,19	12,60	69,58	77,93	85,68	519002519,78	97,39	102,19	22842
2010-01	1,47	13,18	8,18	174,07	115,11	13,60	56,84	71,46	90,22	518304595,80	97,83	100,93	44988
2010-02	1,51	13,27	7,95	176,59	115,06	13,50	57,51	77,59	89,80	527424195,80	97,83	98,62	21887
2010-03	1,53	12,73	8,17	177,62	115,63	12,80	68,08	82,70	94,07	534197571,10	98,53	98,69	27523
2010-04	1,49	12,01	8,15	178,68	115,92	11,30	66,12	87,44	98,02	532706354,60	100,66	99,68	38114
2010-05	1,53	11,74	8,42	178,04	116,20	10,30	69,05	74,65	95,02	541863016,50	98,98	97,91	34581
2010-06	1,57	11,75	8,62	177,04	115,53	9,90	72,17	75,01	95,38	557691010,30	96,66	96,14	32789
2010-07	1,54	11,38	8,38	176,19	115,86	9,90	72,69	78,18	95,41	558998046,80	97,03	98,79	34895
2010-08	1,50	10,87	8,19	176,90	115,50	10,60	70,04	74,64	96,60	562595448,50	98,41	98,15	57371
2010-09	1,49	10,79	8,13	179,07	114,82	10,60	67,70	82,31	99,04	571710763,60	99,51	99,45	38459
2010-10	1,42	10,60	7,98	182,35	115,23	10,50	77,30	83,15	98,15	578725018,70	104,43	103,66	45242
2010-11	1,43	10,26	8,07	182,40	114,34	10,20	70,03	85,92	100,17	586342271,50	105,19	104,11	49096
2010-12	1,51	9,67	7,93	181,85	112,91	10,60	85,12	94,75	101,14	615442813,06	104,94	103,89	50103
2011-01	1,55	10,28	7,30	182,60	114,60	11,10	70,72	101,01	104,80	615214329,63	107,67	106,98	90685
2011-02	1,58	10,44	7,41	183,93	118,84	10,70	68,54	111,80	103,09	630657604,98	110,71	109,46	34627
2011-03	1,57	10,51	7,60	184,70	119,99	10,10	79,03	117,36	102,54	643048030,00	113,52	111,74	50775
2011-04	1,52	10,69	7,84	186,30	121,66	9,30	76,03	125,89	102,23	648847488,80	117,49	114,58	50361
2011-05	1,56	10,95	8,09	190,81	121,96	8,90	79,55	116,73	102,42	663763929,92	116,83	114,02	55731
2011-06	1,59	11,37	8,34	188,08	122,75	8,70	82,98	112,48	103,33	673338087,56	116,68	114,66	42620
2011-07	1,65	12,48	8,69	187,31	122,77	8,60	81,88	116,74	101,96	682778896,31	116,88	114,72	59196
2011-08	1,74	12,82	8,49	188,67	125,79	8,50	78,88	114,85	99,07	696129835,29	118,70	113,52	42724
2011-09	1,79	12,98	8,17	190,09	129,67	8,20	80,91	102,76	101,94	698058557,57	116,29	110,71	37919
2011-10	1,83	12,97	8,17	196,31	130,95	8,40	89,86	109,56	97,47	691402320,37	116,30	109,28	43639
2011-11	1,80	13,42	8,70	199,70	130,49	8,40	80,14	110,52	98,68	695623224,03	114,74	109,51	45550
2011-12	1,86	12,02	9,71	200,85	130,35	9,00	92,09	107,38	98,60	708766659,76	112,86	108,25	38958
2012-01	1,84	15,04	10,03	201,98	132,71	9,30	74,98	110,98	92,50	695782874,10	110,98	108,24	74749
2012-02	1,75	14,82	10,00	203,12	132,40	9,60	73,39	122,66	93,80	699951645,01	112,66	109,75	27576
2012-03	1,78	13,39	9,72	203,96	131,80	9,10	83,77	122,88	93,19	709526905,63	114,57	109,34	44347
2012-04	1,78	13,17	9,73	207,05	132,34	8,20	80,30	119,47	88,71	714190305,85	115,21	109,24	42372
2012-05	1,80	12,99	9,98	206,61	132,32	7,60	86,81	101,87	91,93	723723921,82	112,56	107,60	50904
2012-06	1,82	12,99	10,27	204,76	132,39	7,30	86,15	97,80	91,42	735844371,18	110,31	106,47	37848
2012-07	1,80	13,38	9,81	204,29	132,32	7,60	85,43	104,92	92,50	737187297,51	108,78	106,86	56119
2012-08	1,79	13,38	9,21	205,43	132,23	8,00	76,45	114,57	90,28	746358754,20	109,72	107,73	44626
2012-09	1,80	13,00	8,52	207,55	131,31	8,30	87,10	112,39	89,02	759423992,30	111,85	108,75	40021
2012-10	1,79	12,77	7,94	211,62	131,36	8,30	84,84	108,70	84,87	766222192,64	111,88	108,92	46708
2012-11	1,79	12,07	7,64	212,42	130,25	8,60	91,38	111,23	89,88	764900065,75	111,70	108,20	51959
2012-12	1,78	11,01	7,51	213,23	129,92	9,30	91,67	111,11	89,07	783455076,71	112,69	109,83	42015

Table 14. Data Set (2013-01/2018-12)

2013-01	1,76	11,06	7,17	216,74	130,62	9,70	78,18	115,55	91,52	786170788,19	111,89	110,80	74538
2013-02	1,77	10,91	6,87	217,39	133,56	9,70	77,04	111,38	91,76	794838821,03	114,00	111,03	33957
2013-03	1,81	10,48	6,55	218,83	133,85	9,40	85,94	110,02	92,06	806033273,52	111,99	109,29	50790
2013-04	1,80	10,30	6,41	219,75	134,00	8,70	87,08	102,37	92,71	814526896,79	111,09	108,36	54717
2013-05	1,82	9,88	5,95	220,07	134,70	8,20	91,88	100,39	95,53	835241603,74	109,33	108,12	75505
2013-06	1,89	9,61	6,14	221,75	134,85	8,10	91,22	102,16	94,70	849475857,57	108,80	108,60	27951
2013-07	1,93	10,10	6,95	222,44	138,11	8,60	93,69	107,70	96,54	870469348,87	107,53	107,53	75620
2013-08	1,95	10,60	7,56	222,21	139,20	9,00	77,59	114,01	95,29	889675766,98	108,89	108,16	47741
2013-09	2,02	11,46	7,99	223,91	142,30	9,20	96,31	108,37	91,43	903561042,43	108,83	107,44	51276
2013-10	1,99	11,81	7,78	227,94	144,18	9,10	87,73	108,84	93,34	909555599,18	110,36	107,47	44319
2013-11	2,02	11,28	7,58	227,96	143,45	9,30	100,39	109,69	96,78	918359122,88	108,80	107,46	60040
2013-12	2,06	10,99	7,87	229,01	143,25	9,60	100,92	110,80	94,16	948561344,63	110,16	108,16	51840
2014-01	2,22	12,84	8,20	233,54	151,68	10,30	87,54	106,40	91,54	965478573,89	108,86	109,25	80785
2014-02	2,21	15,09	9,98	234,54	161,10	10,20	83,36	109,07	89,21	964416666,72	109,62	108,26	27807
2014-03	2,22	15,21	10,62	237,18	166,94	9,70	93,89	107,76	92,43	965242047,59	110,24	107,58	35050
2014-04	2,13	14,91	10,43	240,37	167,83	9,00	92,89	108,07	97,37	970058514,76	109,48	107,95	40128
2014-05	2,09	14,29	9,96	241,32	166,66	8,80	94,26	109,41	95,11	966337733,23	107,99	108,02	42924
2014-06	2,12	13,31	9,58	242,07	164,96	9,10	95,71	112,36	93,50	985377927,18	108,48	108,71	37497
2014-07	2,12	12,79	8,92	243,17	164,87	9,80	90,64	106,02	93,73	1009206293,71	108,17	109,52	62284
2014-08	2,16	12,84	8,53	243,40	164,79	10,10	89,34	103,19	93,65	1014270568,80	107,43	107,31	43463
2014-09	2,20	12,72	8,60	243,74	164,83	10,50	102,30	94,67	94,02	1038568395,68	105,69	105,50	45649
2014-10	2,26	12,37	8,76	248,37	164,74	10,40	92,38	85,86	91,43	1028803573,71	103,90	104,84	50974
2014-11	2,23	12,38	8,91	248,82	163,84	10,70	100,09	70,15	90,87	1032143736,29	103,05	104,12	55343
2014-12	2,29	12,60	9,15	247,72	162,89	10,90	108,50	57,33	90,15	1060136918,03	100,78	103,13	57916
2015-01	2,33	12,91	9,15	250,45	166,79	11,30	86,73	52,99	89,35	1069329669,30	96,26	101,67	87689
2015-02	2,46	13,06	9,03	252,24	170,74	11,20	84,18	62,58	88,80	1095353011,66	95,23	100,24	37327
2015-03	2,58	12,58	9,26	255,23	171,23	10,60	99,67	55,11	86,49	1117361798,61	93,96	97,91	60013
2015-04	2,65	12,79	9,49	259,39	171,46	9,60	99,26	66,78	87,42	1144509086,80	92,66	97,64	68259
2015-05	2,65	13,14	9,62	260,85	173,65	9,30	98,83	65,56	86,80	1155360991,42	92,57	98,93	61335
2015-06	2,70	13,44	9,78	259,51	174,15	9,60	104,51	63,59	89,63	1165738112,40	92,23	98,44	47768
2015-07	2,69	13,60	9,94	259,74	176,27	9,80	95,08	52,21	88,24	1196001711,60	90,39	97,37	85525
2015-08	2,85	14,14	10,11	260,78	176,90	10,10	101,57	54,15	85,20	1219438469,62	88,74	95,67	62114
2015-09	3,00	15,20	10,34	263,11	183,80	10,30	97,06	48,37	82,15	1250247051,98	86,68	94,95	45627
2015-10	2,93	15,82	10,56	267,20	187,45	10,50	108,69	49,56	86,04	1233926306,11	86,41	93,94	44740
2015-11	2,87	15,62	10,45	268,98	186,92	10,50	107,49	44,61	95,15	1223676554,60	85,21	91,91	55596
2015-12	2,92	15,18	10,70	269,54	185,87	10,80	116,93	37,28	93,34	1232282824,94	83,58	91,90	81423
2016-01	3,01	15,82	10,85	274,44	188,76	11,10	91,33	34,74	91,95	1242984422,28	79,80	90,90	67922
2016-02	2,94	16,32	11,02	274,38	194,28	10,90	95,81	35,97	89,68	1251375149,27	79,81	91,62	38656
2016-03	2,89	16,33	11,01	274,27	194,79	10,10	106,41	39,60	89,87	1264541021,41	80,53	91,67	59168
2016-04	2,83	15,92	10,81	276,42	194,82	9,30	102,69	48,13	91,25	1268602052,89	80,86	92,70	63985
2016-05	2,93	15,54	10,50	278,02	195,09	9,40	107,11	49,69	91,70	1294245139,14	82,68	93,07	70521
2016-06	2,92	15,30	10,25	279,33	197,42	10,20	107,37	49,68	92,01	1305663140,39	83,57	93,36	73343
2016-07	2,96	15,31	9,95	282,58	197,36	10,70	86,90	42,46	89,66	1328208050,57	82,64	93,01	54143
2016-08	2,96	15,45	9,93	281,76	199,71	11,30	105,49	47,04	95,17	1327789036,34	82,48	93,26	53937
2016-09	2,96	15,01	9,88	282,27	200,23	11,30	93,47	49,06	94,78	1346519410,42	82,52	93,03	45347
2016-10	3,07	14,74	9,79	286,33	202,96	11,80	113,01	48,30	95,02	1366054775,37	83,59	92,33	58882
2016-11	3,27	13,71	9,65	287,81	206,10	12,10	113,72	50,47	91,41	1411438545,47	82,39	91,41	87999
2016-12	3,49	13,86	9,57	292,54	209,43	12,70	117,58	56,82	87,01	1452354420,01	82,99	91,47	65042

Table 15. Data Set (2017-01/2020-12)

2017-01	3,73	15,21	9,50	299,74	213,34	13,00	97,07	55,70	88,39	1471951172,76	84,89	91,45	84025
2017-02	3,67	15,62	9,84	302,17	223,43	12,60	96,25	55,59	87,63	1452653321,82	85,68	91,32	37702
2017-03	3,67	15,38	10,04	305,24	232,01	11,70	113,22	52,83	89,89	1494420502,19	85,92	90,91	53858
2017-04	3,65	15,68	10,68	309,23	236,01	10,50	110,16	51,73	91,95	1521508812,51	86,87	91,48	53034
2017-05	3,56	15,61	11,34	310,61	235,32	10,20	113,71	50,31	94,22	1536277105,91	87,36	92,26	63602
2017-06	3,52	15,37	11,84	309,78	231,73	10,20	105,11	47,92	92,67	1562194354,17	87,27	93,47	57844
2017-07	3,56	15,97	11,89	310,24	234,39	10,70	112,48	52,65	93,21	1569127150,34	87,60	93,85	74395
2017-08	3,51	16,22	11,92	311,85	239,66	10,60	113,69	52,38	93,49	1594665339,79	88,60	94,63	62557
2017-09	3,47	16,36	11,88	313,88	241,58	10,60	110,57	57,54	92,00	1613206675,90	89,88	95,83	45132
2017-10	3,66	15,69	11,94	320,40	250,09	10,30	125,87	61,37	89,60	1665554306,58	90,35	95,09	64500
2017-11	3,88	14,49	12,07	325,18	256,56	10,30	124,95	63,57	87,35	1684309646,48	91,19	95,27	68489
2017-12	3,85	14,64	12,36	327,41	265,56	10,40	130,17	66,87	87,81	1686379871,93	92,02	96,42	66526
2018-01	3,77	17,48	12,31	330,75	268,55	10,80	109,17	69,05	92,38	1677943312,77	94,10	97,99	73036
2018-02	3,78	18,01	12,44	333,17	273,28	10,64	105,33	65,78	92,97	1696368567,79	91,81	98,36	36356
2018-03	3,88	17,39	12,55	336,48	277,24	10,12	120,66	70,27	92,28	1744515345,08	92,61	98,01	54721
2018-04	4,05	18,19	12,63	342,78	289,99	9,60	114,91	75,17	91,65	1779939106,88	93,70	98,55	54289
2018-05	4,41	18,86	12,92	348,34	296,08	9,70	121,09	77,59	90,95	1854602762,92	94,05	96,77	54914
2018-06	4,63	21,74	15,09	357,44	307,72	10,16	107,16	79,44	91,05	1875337445,42	93,27	97,06	33460
2018-07	4,75	24,09	16,37	359,41	312,05	10,76	120,86	74,25	92,92	1939142195,58	92,74	95,80	55541
2018-08	5,73	26,35	17,22	367,66	330,34	11,12	100,84	77,42	88,70	2166978696,48	92,41	94,06	36349
2018-09	6,37	32,44	22,63	390,84	375,35	11,40	114,80	82,72	81,15	2077795641,62	92,18	93,69	20605
2018-10	5,86	32,78	24,11	401,27	364,56	11,60	119,82	75,47	78,42	2007126254,07	93,38	92,84	18235
2018-11	5,37	30,83	23,17	395,48	316,80	12,30	116,20	58,71	80,95	1951039975,28	92,75	92,46	45660
2018-12	5,31	29,49	22,25	393,88	313,82	13,50	117,22	53,80	79,66	1994691011,65	92,07	92,37	37740
2019-01	5,37	29,52	21,15	398,07	311,52	14,70	100,97	61,89	80,11	2010694312,22	91,19	92,71	43779
2019-02	5,26	26,78	20,04	398,71	311,41	14,70	100,09	66,03	78,79	2059988823,40	90,70	92,26	17988
2019-03	5,44	23,58	19,65	402,81	307,04	14,10	115,12	68,39	81,10	2172575702,83	91,03	91,91	32124
2019-04	5,74	25,07	20,54	409,63	310,25	13,00	113,58	72,80	83,61	2243233092,37	91,12	91,54	29379
2019-05	6,05	27,59	22,30	413,52	321,85	12,80	120,96	64,49	77,05	2262095362,26	90,42	91,56	26393
2019-06	5,81	28,68	22,62	413,63	325,18	13,00	96,97	66,55	80,09	2254588885,64	89,80	92,44	17882
2019-07	5,67	27,40	21,47	419,24	358,13	13,90	120,39	65,17	78,94	2243488855,35	89,11	92,24	37840
2019-08	5,62	22,89	17,88	422,84	348,48	14,00	99,12	60,43	79,60	2347314405,55	87,61	90,71	18615
2019-09	5,71	20,18	15,39	427,04	345,80	13,80	119,55	60,78	77,64	2354207337,02	87,33	90,52	28181
2019-10	5,78	16,03	13,51	435,59	348,34	13,40	123,14	60,23	78,17	2415642858,24	87,01	90,25	42741
2019-11	5,73	14,95	11,78	437,25	348,83	13,30	121,01	62,43	81,24	2453011972,26	86,68	90,65	43204
2019-12	5,84	13,75	10,57	440,50	352,18	13,70	128,88	66,00	80,49	2554042031,75	86,39	91,38	40968
2020-01	5,92	14,06	9,64	446,45	354,12	13,80	108,70	58,16	81,12	2574581601,47	86,64	92,01	64716
2020-02	6,04	13,12	9,29	448,02	353,58	13,60	111,49	50,52	79,29	2669522364,49	85,17	90,93	31279
2020-03	6,31	13,35	9,36	450,58	359,25	13,20	113,93	22,74	80,98	2794985768,35	85,21	89,65	42633
2020-04	6,82	13,91	9,19	454,43	371,05	12,80	78,12	25,27	78,18	3035274638,76	79,81	88,04	19231
2020-05	6,95	13,12	7,65	460,62	380,98	12,90	84,11	35,33	82,85	3062952694,69	78,54	88,35	22509
2020-06	6,81	11,64	7,38	465,84	395,43	13,40	114,03	41,15	82,98	3134025516,58	81,73	89,86	30876
2020-07	6,85	11,61	7,34	468,56	404,73	13,40	119,57	43,30	82,82	3260026111,41	80,76	90,73	82221
2020-08	7,25	14,39	8,98	472,61	410,30	13,20	115,16	45,28	79,77	3307055828,09	84,54	91,52	55879
2020-09	7,51	16,85	10,29	477,21	426,84	12,70	133,22	40,95	81,91	3379105043,23	85,50	90,63	53860
2020-10	7,87	17,45	11,04	487,38	439,53	12,70	134,94	37,46	81,54	3521619805,45	84,45	90,75	70065
2020-11	8,00	18,81	13,08	498,58	481,33	13,08	131,54	47,59	79,98	3419213271,64	86,83	91,34	65882
2020-12	7,72	17,15	15,10	504,81	499,86	13,02	126,88	51,80	79,80	3377404011,96	84,42	91,00	65581



Journal of Turkish Operations Management

An overview of temporary housing management after the earthquakes in turkey in terms of disaster management

Pınar Usta^{1*}, Özge Onat²

¹Department of Civil Engineering, Technology Faculty, Isparta University of Applied Sciences, Isparta, Turkey
e-mail: pinarusta@isparta.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0001-9809-3855>

²Graduate Institute, Isparta University of Applied Sciences, Isparta, Turkey
e-mail: onatozge09@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-4336-0212>

Article Info

Article History:

Received: 14.11.2022
Revised: 02.12.2022
Accepted: 13.12.2022

Keywords

Natural disaster management,
Earthquake,
Post-Disaster

Abstract

Interventions after earthquakes are very important for saving human life and returning the survivors to their normal lives. Earthquakes are one of the most devastating natural hazards and can have serious economic, social and environmental impacts. As a result of earthquakes from the past to the present, millions of people have been affected and lost their lives. Being prepared for disasters will provide an opportunity to prevent possible losses and will provide an idea about how to act in case of disaster. In this paper, post-disaster response and recovery situations in disaster management and rescue after earthquakes in Turkey are discussed. Disaster management situations after the Gölcük, Van, Elazığ, and İzmir earthquakes in Turkey were analyzed and presented in terms of natural disaster and emergency management. As a result of the study, there was an improvement in disaster relief and response situations depending on the years of earthquakes in Turkey. However, the recent earthquakes show that there is still a need to work on this issue.

1. Introduction

Today, the approach to the issue of disaster refers to the return of human life to old lives with quick and effective recovery efforts, which cause people's life to go out of their daily lives with unexpected events. This approach covers all recovery processes in the face of disasters and emphasizes the necessary steps for normalization. The definitions made about disasters do not differ over time, and this also shows that approaches to disasters and solution proposals have diversified (Mavi, 2020).

Natural disasters have caused the death of millions of people and great economic losses throughout the history of civilization. Most of the world's population lives in cities rather than rural areas. Therefore, natural disaster risks and losses are higher in urban areas. As our cities grow, the risks are increasing day by day. Therefore, it is an inevitable necessity to reduce the risk of natural disasters and to develop effective disaster management policies (Kemec et al., 2015).

People need shelter after major disasters. Victims may go to their second homes, if possible, or stay with a relative, their neighbors, or in their choice of shelter. Depending on the possibilities, different types of vehicles, caravans, containers, or tents can be converted into living quarters after a disaster. Assessing the shelter needs of survivors after severe earthquakes is one of the foremost challenges that emergency response teams have to face. It is very important to be able to estimate the number of victims who will require shelter temporarily according to the magnitude of the disaster and why these people should be placed in tent cities as soon as possible (Cicekdağı, 2021).

Therefore, in this study, Analysis and reviews of tents needed after the major earthquakes (Golcuk, Van, Elazig, and Izmir Earthquakes) in Turkey are presented. The framework used in the study is given in Figure 1. The conceptual framework of the paper is shown diagrammatically in Figure 1.



Figure 1. Conceptual framework

2. Earthquakes in Turkey

Earthquakes are a potential threat to the social and economic stability of many communities (Hassan et al, 2020). Turkey is one of the countries under significant earthquake risk. 95 percent of the total human population in Turkey is in the earthquake zone. In addition, 92% of the dams and 98% of the industrial facilities in Turkey are in the active earthquake zone. Due to their location, the buildings in these regions have been exposed to many earthquakes. Many of these structures were damaged or completely destroyed during earthquakes. In the last century, the number of earthquakes with a magnitude of 6 or more in Turkey is 56. The damages resulting from these earthquakes are quite high, such that; 0.8% of our national income is used every year to cover the damages after earthquakes (Usta and Bozdağ, 2021). Earthquakes that have caused significant loss of life and property in Turkey since 1990 are shown in Table 1.

Table 1. Earthquakes have caused significant loss of life and property in Turkey since 1990 (Platt and Drinkwater, 2016; Wikipedia, 2020).

Earthquake	Year	Deaths	Injured	Homeless	Affected Population	Loss USD million
Erzincan	1992	653	3850	95,000	250,000	750
Dinar	1995	94	240	40,000	120,000	100
Çorum-Amasya	1996	0	6	9000	17,000	30
Ceyhan-Adana	1998	145	1600	88,000	250,000	500
İzmit-Marmara	1999	17,480	43,953	675,000	15,000,000	13,000
Düzce	1999	763	4948	35,000	600,000	750
Afyon-Sultandağı	2002	42	327	30,000	222,000	96
Bingöl	2003	177	520	520	245,000	135
Elazığ	2010	51	137	3477	56,000	6
Kütahya-Simav	2011	3	122	8390	22,000	260
Van	2011	644	2300	180,000	1,000,000	1000
İzmir	2020	119	1,053	15,000	807,762	400

3. Disaster management

Natural disasters such as earthquakes and floods are events that can have a significant impact on people. These events can also have an influence upon the socioeconomic improvement of a region (Soulakellis et al., 2020).

If natural events cause human, socio-economic, cultural, physical, environmental, and political losses, it can be called a disaster (Erkan et al., 2015). The severity of the disaster situation and the duration after the disaster are closely related to the disaster management process (Alexander, 2012). If strong mitigation strategies are improved for existing hazards before an event occurs, the impact will be less severe and response and recovery phases will be smoother (Comfort and Haase, 2006).

Disaster management comprises four phases: response, recovery, mitigation, and preparedness are the phases of this cycle. Although there are no definite boundaries between disaster stages, the time scope of these stages also

varies according to disaster situations. The use of this cycle is effective in the development of disaster management strategies (Kemec et al., 2015; Soulakellis et al., 2020). The stages are shown in Figure 2.

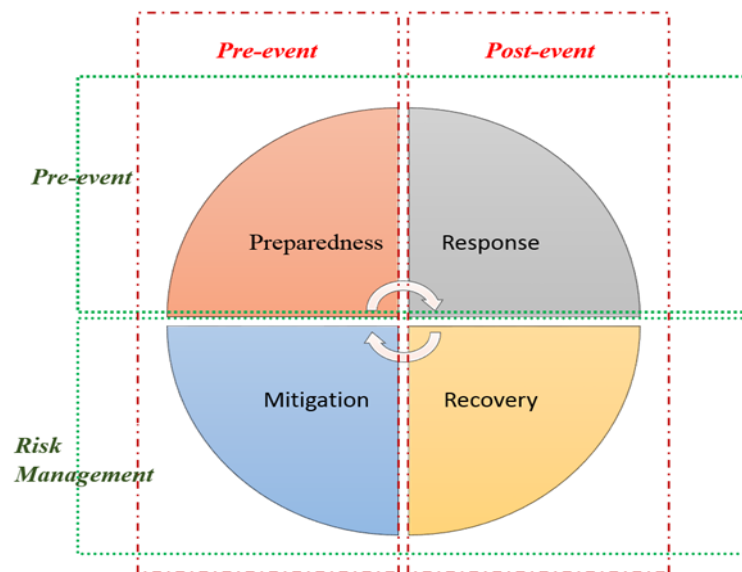


Figure 2. Disaster management cycle [2].

Planning how to respond in the event of a disaster is called the Preparedness phase. Being prepared can be defined as the state of being ready to respond to a disaster, crisis, or any other emergency in the field of emergency management. Preparedness, as well as a state of preparedness, is also a theme throughout most aspects of emergency management. The preparedness phase includes the following activities: (1) Planning, (2) Exercises, and training.

The response is an action taken just before, during, or just after a disaster or major emergency. Saving lives, minimizing property damage, and improving the onset of recovery from the incident is the goal of the responder. Recovery phases are accomplished with (1) alerts; (2) evacuation; and (3) sheltering methods.

The mitigation phase contains all events that prevent an emergency, reduce the likelihood of an emergency happening, or reduce the damaging effects of indispensable emergencies (Shaluf, 2008; FEMA, 2006).

The recovery phase aims to restore the life of the city, at the pre-destructive levels, as well as to reduce vulnerability in the future and it has a variable, time range according to the length of the short-term and long-term phases (Soulakellis et al., 2020). The recovery phase is achieved through the following ways: damage assessment; debris removal; and disaster assistance centers.

4. Disaster management in terms of Temporary Shelter

Anatolia has faced disasters that caused much loss of life and property from past to present. Earthquake is the most common disaster in our geography. Although our history of disaster management is quite old, the first regulation in this field was on September 14, 1509. After the Istanbul earthquake, which took place on this date and in which more than 13.000 lives were lost, the Ottoman Sultan of the period, Beyazıt II, issued an edict for disaster (Shaluf, 2008; Kemalöglü, 2015).

From the Ottoman to the present, the view of the administrations on disasters has always included the elimination of the damage, compensation, or reconstruction after the occurrence of the event, and the pre-disaster measures have not been given sufficient importance (FEMA, 2006; Aktel, 2010).

It can be said that Turkey is located in one of the most active earthquake and volcanic regions of the world. For this reason, disasters frequently occur in Turkey from the past to the present. By being prepared for the disaster situations in question, losses can be minimized. In this process, in addition to taking appropriate engineering designs and construction measures, pre-disaster and post-disaster management have a great impact on reducing losses (Kemaloğlu, 2015; Aktel, 2010; Ural, 2001; Aksu, 2000).

4.1 Gölcük earthquake

The Izmit earthquake, which occurred on August 17, 1999, near the city of Izmit in northwestern Turkey, is devastating. This earthquake is also called the Kocaeli earthquake or the Gölcük earthquake. Thousands of people died and many medium-sized towns and cities were destroyed by the earthquake.

The earthquake, which occurred on the northernmost strand of the North Anatolian fault system, occurred just after 03:00 local time. Thousands of buildings collapsed or were severely damaged, more than 17,000 people were killed and an estimated 500,000 people were left homeless. High casualty figures were reported in the Istanbul and districts of Gölcük, Derince, Darıca, and Sakarya (Adapazarı). The Turkish Red Crescent and the Turkish army have participated in the Rescue and relief efforts led by many international aid organizations (Aksu, 2000).

The Gölcük earthquake that occurred in 1999 first caused a moral and economic collapse, and then a nationwide awakening (Aksu, 2000; Aslan and İnce, 2019). An important lesson learned after this Earthquake was the importance of risk reduction and preparedness. To achieve this, new building regulations have been issued and the relevant legislation has been amended. Since rapid and unplanned urbanization is also seen as a risk factor, many new applications have been started in this area. There has been an increase in public and private sector disaster awareness and recognition of the important role of civil society. In response to the needs of traumatized survivors, gaps in health and medical services have also been filled through psychosocial support programs (Britannica, 2021; UNDRR, 2021).

The government has picked up the shelter needs of the community in three phases: Emergency shelter, Temporary housing, and Permanent housing. In the first phase, the need for shelter has been met by tents, and in the second phase, 40000 prefabricated temporary houses were distributed to those harmed by the earthquake with this allocation, the housing needs of 150000 earthquake victims were met. After the allocation, 30000 people continued to live in tents while 70000 people met their shelter needs by their own needs (Aslan and İnce, 2019; Gökmen and Öymen, 2003).

Disaster management in Turkey is highly centralized and hierarchical encourages local initiatives oppositely, restricts community participation, and occurs with ineffective communication and coordination. In the early days of the 1999 Kocaeli/Düzce earthquake, the lack of coordination led to serious problems, and it was understood that the rigid structure of the system was not a suited form. As a result, new operational attempts have been made to correct this situation (UNDRR, 2021; Mızrak, 2017).

4.2. Van earthquake

The Van province which is in the eastern part of Turkey was shaken by an earthquake of about 25 seconds on October 23, 2011, at 13:41 local time. (Gökmen and Öymen, 2003; Zare, 2014). In this earthquake, the sum of injured was 4,182, the sum of destroyed buildings was 2,265, the sum of moderately damaged houses was 10,000 and the sum of slightly damaged houses was 52,000 (Mızrak, 2017; Afad, 20114).

Local administrations and disaster management team organizations are quite significant in the application of the fastest and most active response to the district in disaster management. 2011 Van earthquake team organizational composition is shown in Figure 3.

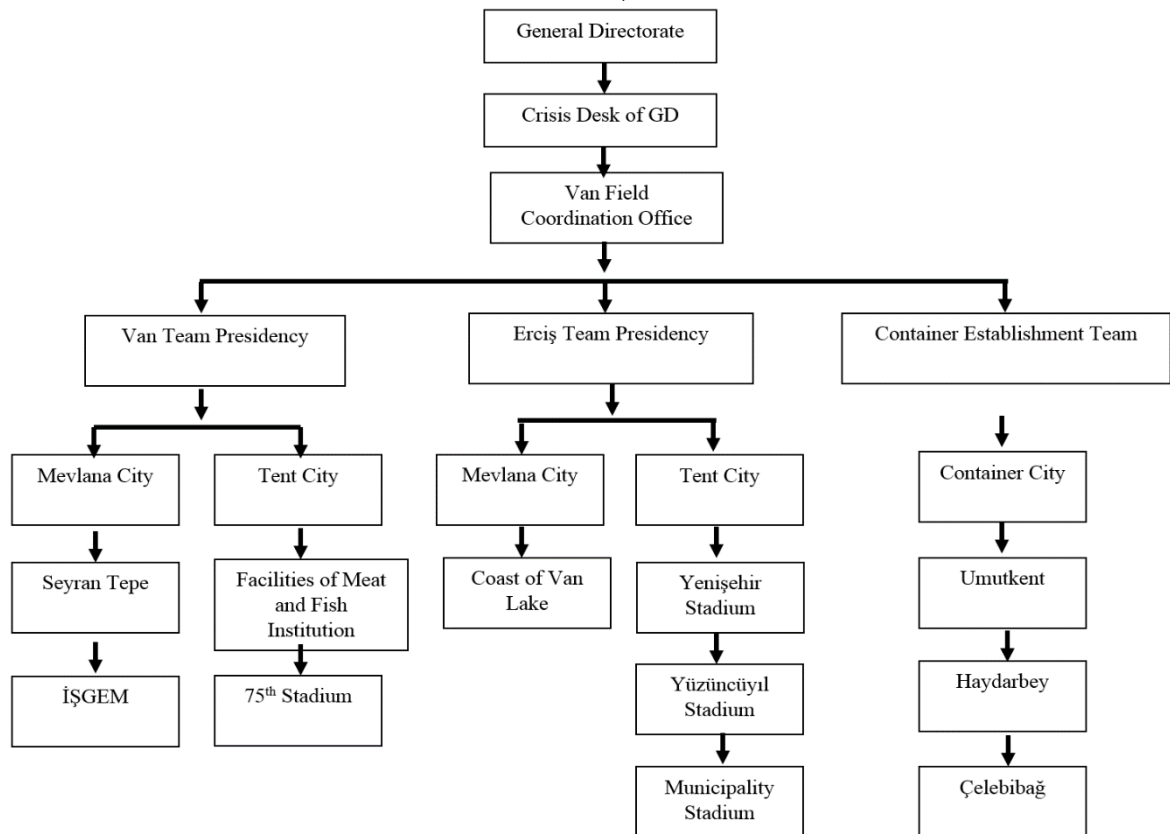


Figure 3. The Van earthquake team organization structure (UNDRR, 2021; Mızrak, 2017).

On October 23, 2600 tents, 7500 blankets, 100 ovens, sleeping bags, heaters, and food were provided for the earthquake victims. Turkish Red Crescent's crisis response groups set up two tent camps in a stadium in Erciş District. Two hundred and sixty families were placed in these camps. In addition, two windbreaks and two storage tents were set up to adopt individuals and store aid. Another tent camp with a capacity of 232 tents was established in the city center of Van. Until 21 November, 18000 people were identified in 12 tent cities in Erciş and Van. Turkish Red Crescent established three camps and a house in Erciş, four tent camps, and two Mevlana houses in Van center, including a camp and a house. In addition, the distribution of tents and Mevlana houses to the village residents continued. Red Crescent has placed 50,547 tents and 2,348 Mevlana houses and prepared shelters for 248,859 people and has planned contracts for 2,000 container houses (equipped with 21 m² bathroom, toilet and kitchen) for Van and Erciş. AFAD has ordered 20,000 containers to be built and by 30 November 2711 containers have been built, of which 2081 have been installed (Gokmen and Öymen, 2003; Zare, 2014).

4.3. Elazığ earthquake

On January 24, 2020, a 6.8 magnitude earthquake occurred at 20:55 local time in eastern Turkey, close to the Sivrice district of Elazığ province, causing extensive seismic damage to buildings (Zare, 2014; Cheloni and Akinci, 2020). The Elazığ earthquake caused damage in the southern provinces of Elazığ and Malatya, 41 people died and 1600 people were injured due to the severe earthquake. This earthquake was recorded as the largest EAF earthquake in more than a century (Afad, 2014; Pousse-Beltran et al., 2020).

After this earthquake, the earthquake victims were placed in mass shelters established in schools, sports centers, dormitories, and nursing homes in the region. In line with the needs determined by the Turkish Red Crescent local government center, 2,500 tents and Turkish Red Crescent teams 74,908 shelter materials were distributed. In addition to the collective shelter centers established in public buildings in Sivrice, tents were set up in the recreation area to create a capacity to accommodate more affected people (Cheloni and Akinci, 2020; Turkish Red Crescent, 2020).

4.4. İzmir earthquake

On Friday, October 30, 2020, an earthquake with a magnitude of 6.6 - 7.0 occurred in the west of İzmir. In the official statement of the Ministry of Interior Disaster and Emergency Management Presidency, it was stated that 1034 people were injured and 115 people lost their lives (Pousse-Beltran et al., 2020; IBC, 2020). A total of 3,020 tents have been set up in İzmir for the temporary housing needs of the victims (Turkish Red Crescent, 2020; Milliyet Newspaper, 2020).

Collective tent areas were quickly established as temporary settlement areas in the earthquake zone. The temporary settlement areas where the works were first started are the parks within the borders of Bayraklı and the collective tent areas established in the green areas by the İzmir Metropolitan Municipality (İzmir Tabib Odası). Temporary accommodation areas established in the region are shown in Table 2.

Table 2. Temporary accommodation areas in İzmir (IBC, 2020; İzmir Tabib Odası, 2020).

Temporary Settlements Within Bayraklı Municipality Limits		
Location	Institution	Tent
Öğretmenevi	İBB, AFAD DENİZLİ MERKEZ EFENDİBEL.	64
Bilal Çakırcalı Park	İBBBAYRAKLI	60
Bulent Kıvanc Park	İBB	38
Working Women's Park	İBB	7
Back Of Türk Telekom	İBB BAYRAKLI	0
Mill Cafe/ Migros Parking	İBB	13
Emek Mah 7248 Street	İBB	10
Martyr Hakan Ünsal Park	İBB	5
286stoakyeşilalan	İBB	9
Ahmet Taner Kışlalı Park	İBB	10
Semt Park	İBB MUĞLA BB	12
Zeki Muren Park	İBB	21
Baris Manco	İBB	10
Metin Oktay Park	İBB	4
Mansuraydın	İBB	2
Day Okçun Park	İBB	10
Türkan Saylan Park	İBB	15
Sımrna Square	AFAD	Preparations Are Continuing In A Wide Area
Temporary Settlements Within Bornova Municipal Limits		
Aşık Veysel Recreation Area	AFAD, İBB, Bornova, District Gendarmerie Commander	781
Bornova Stadium	AFAD, Bornova Municipality	210
Ege University Faculty Of Nursing Parking Park	AFAD	119
Temporary Settlement Areas Within Buca Municipal Limits		
Şirinyer	AFAD	220
Temporary Settlement Areas Within Konak Municipality		
Kültürpark Hall Number 1	İBB	Housing Area For 150 People

5. Results

Considering the results of the recent earthquakes in our country and the world; especially in seismic regions, high importance should be given to risk management and awareness. Each nation struggles to deal with disasters in its way, relying on their help in their international community. But aid from their international community is geared toward urgent needs. For this reason, there should be a consistent and correct strategy for vulnerable regions to reduce risks in the region against potential repetitive disasters.

Although natural disasters are unpredictable, possible risks can be minimized by preparing cities and even countries for disasters, taking necessary precautions together with laws and regulations, planning cities accordingly, and correct planning of disaster management. In addition, with good disaster planning, crisis management can be done easily in serious situations. This situation once again reveals the importance of studying the issue of disaster management. As a result, the lessons learned from each earthquake enable the system to be updated and create a safer and better living environment for the people affected by the disaster. Turkey has made

good progress in this regard since 1999, but there are still many precautions that should be taken. For example, the aftermath of the 1999 Earthquakes in disaster policies and management, Metropolitan Municipality Law No. 5216, Municipal Law No. 5393, Local Administrative Unions Law No. 5355, Law No. 5302 on Special Provincial Administration, Law No. 6306 on the transformation of Areas Under Disaster Risk and Public Financial Management No. 5018 and Control Laws have been enacted and some regulations have been amended (Tercan, 2018).

That is clearly seen that disaster management studies have not reached a sufficient level in losses after earthquakes in our country.

Studies have shown that earthquakes cannot be prevented, but the damage caused by earthquakes can be minimized, in other words, risk reduction can also reduce possible damages. Successful disaster management for earthquakes, like all disasters, is possible by establishing a disaster management systematic in which all stages are applied correctly and meeting the social, modern, and economic needs of our society and sustainable building targets.

In addition to all these, it is mentioned in the literature that one of the foremost factors in disasters crisis management is the communication network. After the disaster occurs, the recovery and rebuilding process requires a race against time, and in this process, social media is an important medium, especially for those who manage the disaster process and the public. For this reason, it is important to actively use social communication networks in disaster management.

In this context, disaster risk and intensity maps of the cities of Turkey should be prepared for contribution to future studies and disaster management. In addition, it is necessary to evaluate the risks in the country and to ensure social participation in global disaster management issues.

Contribution of authors

Authors have equal contribution in all the sections.

Conflicts of interest

The authors declared that there is no conflict of interest.

References

Aksu, A., Calon, T., Hiscott, R., & Yaşar, D. 2000. "Anatomy of the North Anatolian Fault Zone in the Marmara Sea, Western Turkey: extensional basins above a continental transform." *Gsa Today*, 10(6). Available at: <https://avesis.deu.edu.tr/yayin/d32d2e74-6cce-4c41-a058-e5fd55e025c6/anatomy-of-the-north-anatolian-fault-zone-in-the-marmara-sea-western-turkey-extensional-basins-above-a-continental-transform>

Afad, 2014. "Afad, Müdahale, iyileştirme ve sosyoekonomik açıdan 2011 Van Depremi," *Ankara: T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı*. Available at: https://www.afad.gov.tr/upload/Node/17944/xfiles/mudahale_iyilestirme-ve-sosyoekonomik-acidan-2011-van-depremi-raporu_2_.pdf (Accessed on 10 September 2022)

Aslan, B., & Ince, C. D. 2019. "Analysis of the first urban regeneration area in Kocaeli after Gölçük earthquake by using zoning plans." *TeMA Journal of Land Use, Mobility and Environment*, 12(1), 65-81. Available at: <http://eprints.bice.rm.cnr.it/id/eprint/19012>

Erkan, B. B., Karanci, A. N., Kalaycıoğlu, S., Özden, A. T., Çalışkan, I., & Özakşehir, G. 2015. "From emergency response to recovery: multiple impacts and lessons learned from the 2011 Van earthquakes." *Earthquake Spectra*, 31(1), 527-540. doi: <https://doi.org/10.1193/060312EQS205M>

Tercan, B. 2018. "Türkiye'de afet politikaları ve kentsel dönüşüm." *Abant Kültürel Araştırmalar Dergisi*, 3 (5), 63-74. Available at: <https://dergipark.org.tr/en/pub/akader/issue/36855/413249>

Britannica, 2022. "Izmit Earthquake." *Britannica* Available at: <https://www.britannica.com/event/Izmit-earthquake-of-1999> (Accessed on 11 September 2022)

Cicekdağı, H. 2021. "Based On Best-Worst Method (Bwm), Determination Of Criteria For Disaster Survivors To Stay In Temporary Accommodation Tents: Example Of İzmir Earthquake," *ResearchGate* Available at: https://www.researchgate.net/publication/348920378_BASED_ON_BEST-

WORST METHOD BWM DETERMINATION OF CRITERIA FOR DISASTER SURVIVORS TO STAY IN TEMPORARY ACCOMMODATION TENTS EXAMPLE OF IZMIR EARTHQUAKE (Accessed on 11 September 2022)

Alexander, D. 2012. "Principles of Emergency Planning and Management." 6th ed. Edinburg, UK: Dunedin Academic Press Ltd, ISBN 978-1-903544-10-5. Available at: https://www.researchgate.net/publication/247479314_Principles_of_Emergency_Planning_and_Management (Accessed on 11 September 2022)

Cheloni, D., & Akinci, A. 2020. "Source modelling and strong ground motion simulations for the 24 January 2020, M w 6.8 Elazığ earthquake, Turkey." *Geophysical Journal International*, 223(2), 1054-1068. doi: <https://doi.org/10.1093/gji/ggaa350>

Mavi, E. E. 2020. "Afet Kriz Yönetiminde Medya: 30 Ekim 2020 İzmir Depremi." *Karadeniz Teknik Üniversitesi İletişim Araştırmaları Dergisi*, 10 (2), 31-53. Available at: <https://dergipark.org.tr/en/pub/e-kiad/issue/59330/828417> (Accessed on 11 March 2022)

Hassan, E. M., Mahmoud, H. N., & Ellingwood, B. R. 2020. "Resilience of school systems following severe earthquakes." *Earth's future*, 8(10), e2020EF001518. doi: <https://doi.org/10.1029/2020EF001518>

McCann, D. G. 2009. "Preparing for the worst: A disaster medicine primer for health care." *The Journal of legal medicine*, 30(3), 329-348. doi: <https://doi.org/10.1080/01947640903143581>

Gokmen G. P. and Öymen N. 2003. "Temporary/Permanent Housing Concepts In Transition." *Academia* Available at: https://www.academia.edu/44244647/TEMPORARY_PERMANENT_HOUSING_CONCEPTS_IN_TRANSITION (Accessed on 12 March 2022).

Mohamed Shaluf, I. 2008. "Technological disaster stages and management." *Disaster Prevention and Management*, Vol. 17 No. 1, pp. 114-126. doi: <https://doi.org/10.1108/09653560810855928>

IBC, 2020. "Izmir earthquake assessment report of IBC." *IBC* Available at: <https://reliefweb.int/report/turkey/izmir-earthquake-assessment-report-ibc-november-2020> (Accessed on 12 March 2022).

İzmir tabib odası, 2020. "Izmir earthquake assessment report." *Dunyadoktorlari* Available at: <https://www.dunyadoktorlari.org.tr/en/media-press/publications/izmir-earthquake-rapid-assessment-report-november-2020>. (Accessed on 12 March 2022).

Mizrak, K. C., & Tolon, M. 2017. "Development of disaster management in Turkey: from 1999 Kocaeli Earthquake to 2011 Van Earthquake." *International Journal of Engineering Science and Application*, 1(4), 145-151. Available at: <https://dergipark.org.tr/en/pub/ijesa/issue/33450/360986>

Comfort, L. K., & Haase, T. W. 2006. "Communication, coherence, and collective action: The impact of Hurricane Katrina on communications infrastructure." *Public Works management & policy*, 10(4), 328-343. doi: <https://doi.org/10.1177/1087724X06289052>

Pousse-Beltran, L., Nissen, E., Bergman, E. A., Cambaz, M. D., Gaudreau, É., Karasözen, E., & Tan, F. 2020. "The 2020 Mw 6.8 Elazığ (Turkey) earthquake reveals rupture behavior of the East Anatolian Fault." *Geophysical Research Letters*, 47(13), e2020GL088136. doi: <https://doi.org/10.1029/2020GL088136>

Aktel, M. 2010. "Change in Disaster Management in Turkey with Law No. 5902," *Dumlupınar University Journal of Social Sciences*, vol. 27, pp. 1-9. Available at: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/dpusbe/issue/4769/65607> (Accessed on 12 March 2022).

Kemaloğlu, M. 2015. "History and Legal Development of Disaster Management in Turkey," *Academic Perspective*, vol. 52, pp. 126-145, Available at: https://www.academia.edu/32511935/T%C3%BCrkiye_de_Afet_Y%C3%B6netiminin_Tarihi_ve_Yasal_Geli%C5%9Fimi_HISTORICAL_AND_LEGAL_DEVELOPMENT_OF_DISASTER_MANAGEMENT_IN_TURKEY (Accessed on 12 March 2022).

Zaré, M. 2014. "Response Quality to the Van Earthquake in Turkey of 23 October 2011, Mw7. 2, for Hazards Reduction." *Environmental Management Hazards*, 1(2), 189-202. doi: <https://doi.org/10.22059/JHSCI.2014.53119>

Milliyet Newspaper web page, "Izmir Earthquake". *Milliyet* Available at: <https://www.milliyet.com.tr/galeri/izmirdeki-deprem-sonrasi-cadir-kent-boyle-goruntulendi-6344056/10> (Accessed on 8 March 2022).

Soulakellis, N., Vasilakos, C., Chatzistamatis, S., Kavroudakis, D., Tataris, G., Papadopoulou, E. E., ... & Kontos, T. 2020. "Post-earthquake recovery phase monitoring and mapping based on UAS data." *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(7), 447. doi: <https://doi.org/10.3390/ijgi9070447>

Usta, P., & Bozdağ, Ö. 2021. "Earthquake analysis of historical Basdurak Mosque." *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 27(3), 244-250. doi: <https://doi.org/10.5505/pajes.2020.31384>

Kemec, S., Ok, A. O., & Kamaci, E. 2015. "The effects of 23 October and 9 November 2011 earthquakes on spatial transformation of the Van City." *Geodinamica Acta*, 27(2-3), 214-223. doi <https://doi.org/10.1080/09853111.2014.957502>

Platt, S., & Drinkwater, B. D. 2016. "Post-earthquake decision making in Turkey: Studies of Van and Izmir." *International journal of disaster risk reduction*, 17, 220-237. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2016.03.010>

S. R. Turkish Red Crescent, 2020. "Elazig/Turkey: Earthquake Situation Report No: 10." *S. R. Turkish Red Crescent* Available at: <https://reliefweb.int/report/turkey/elazigturkey-earthquake-situation-report-no-10-31-january-2020> (Accessed on 8 March 2022).

UNDRR, "Turkey: Izmit Earthquake 1999." *UNDRR* Available at: <https://www.preventionweb.net/collections/turkey-izmit-earthquake-1999>. (Accessed on 8 March 2022).

Wikipedia, "2020 Aegean Sea Earthquake." *Wikipedia* Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/2020_Aegean_Sea_earthquake (Accessed on 8 March 2022).



Journal of Turkish Operations Management

Bir mobilya üretim tesisi için üretim geliştirme mühendisi seçimi

Bedirhan Sarimehmet¹, Rabia Yumuşak², Tamer Eren^{3*}

¹ Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale
e-mail: sarimehmetbedirhan@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-6112-9460>

² Bilişim Güvenliği Teknolojisi Bölümü, Kapadokya Meslek Yüksekokulu, Kapadokya Üniversitesi, Nevşehir
e-mail: rabia.yumusak@kapadokya.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-0257-939X>

³ Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale
e-mail: tamereren@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0001-5282-3138>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 26.06.2022
Revize: 02.10.2022
Kabul: 21.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Personel seçim problemi,
Üretim geliştirme mühendisi seçimi,
ANP,
VIKOR,
PROMETHEE.

Özet

İşletmelerde ihtiyaç duyulan pozisyonlar için personel seçim işlemi önemli bir karar problemidir. Personel seçimi, belirli kriterler altında aday personellerin değerlendirilip en uygun olanın seçilmesi ile gerçekleşir. Bu değerlendirme çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri ile gerçekleştirilebilir. Bu çalışmada, bir mobilya üretim tesisi için üretim geliştirme mühendisi seçim problemi ele alınmıştır. Üretim geliştirme mühendisleri; iş süreçlerini iyileştirmek, gerekli üretim takip modüllerini tasarlamak, kullanılan üretim takip programlarına dahil etmek veya ettirmek, 5S, KAIZEN gibi yalın üretim metodlarını firma kültürüne kazandırmak gibi görevler üstlenirler. Çalışmanın örnek uygulaması kapsamında, üç kriter ve toplamda dokuz alt kriter altında dört aday personel kıyaslanmıştır. Kriter ağırlıkları ANP yöntemi ile bulunmuş, VIKOR ve PROMETHEE yöntemleri ile alternatif personeller kıyaslanmıştır. Uygulama sonucunda VIKOR ve PROMETHEE yöntemlerinin her ikisinin de aynı sonucu verdiği görülmüştür. En uygun adayın A4 ile isimlendirilmiş aday olduğu sonucuna varılmıştır. Kriter ağırlıkları değiştirilerek duyarlılık analizi gerçekleştirilmiş, sonuçlar yorumlanmıştır.

Production improving engineer selection for a furniture factory

Article Info

Article History:

Received: 26.06.2022
Revised: 02.10.2022
Accepted: 21.12.2022

Keywords:

Personnel selection problem,
Production development engineer selection,
ANP,
VIKOR,
PROMETHEE.

Abstract

Personnel selection process is an important decision problem for enterprises. The personnel selection is realized by evaluating the candidate personnel under certain criteria and selecting the most appropriate one. This evaluation can be performed with multi criteria decision making (MCDM) methods. In this study, a production improving engineer selection problem for a furniture factory is discussed. Production improving engineers assume tasks such as healing business processes, designing the necessary production tracking modules in the production tracking programs used and applying lean production methods such as 5S, KAIZEN. Within the scope of the sample application of the study, four candidate personnel were compared according to 3 main criteria and 9 sub-criteria. Weights of criteria were found by ANP method, and candidate personnel were compared with VIKOR and PROMETHEE methods. It was seen that both VIKOR and PROMETHEE methods gave the same result. It was concluded that the most suitable candidate was the candidate named with A4. Sensitivity analysis was performed by changing the criterion weights and the results were interpreted.

1. Giriş

Birçok sektörde rakip firma sayısının gün geçtikçe arttığı günümüz dünyasında en etkin rekabet aracı firmaların bünyelerinde barındırdıkları kaynakları en verimli şekilde kullanabilmeleridir. Bu kaynakların en değerlisi insan kaynaklarıdır. İnsan kaynaklarının yönetim süreci genel olarak birkaç aşamadan oluşur. Bu aşamalar; işin analiz edilmesi ve işin gerekliliklerinin oluşturulmasıyla şekil alır, planlama ile başlar, personel bulma ve seçme ile devam eder. Personel tedariki ve seçim süreci, insan kaynakları yönetiminin en temel işlevlerinden biridir. Bu süreç, ilgili organizasyonun ihtiyaç duyduğu niteliklere sahip olan kişinin veya kişilerin bulunmasını, seçilmesini ve istihdam edilmesini kapsar. Doğru yerde doğru insanı bulundurmaya, görevlendirmeye amaçlar. Gerekli süreçlerden geçip doğru bir şekilde seçilen ve kuruluş bünyesine dahil edilen personel; iş tanımında belirtilen görevlerin en iyi şekilde yapılması, firmaya katılan değerin maksimize edilmesi ve işleyişin düzgün bir biçimde ilerlemesi açısından oldukça önemlidir (Erenel, 2012). Personel seçim süreci subjektif sözel ve sayısal kriterler içeren bir çok kriterli karar verme (ÇKKV) sürecidir (Kuşakçı vd., 2018).

ÇKKV problemleri belirli kriterler altında alternatiflerin karşılaştırıldığı ve en uygun olanın bulunmaya çalışıldığı problemlerdir (Ecer ve Dündar, 2009). Literatürde ÇKKV yöntemleri ile yapılmış; personel seçimi (Öztürk ve Kaya, 2020), güzergah seçimi (Sarımehmet vd., 2020), tedarikçi seçimi (Supçiller ve Deligöz, 2018) gibi birçok alanda çalışma mevcuttur. ÇKKV yöntemlerinden bazıları ANP, VIKOR ve PROMETHEE yöntemleridir. Literatürde farklı problemler için farklı ÇKKV yöntemleri kullanılmaktadır. Bazı problemlerde AHP-TOPSIS gibi iki yöntemin bir arada kullanıldığı da görülmektedir (Sarımehmet vd., 2020).

Bu çalışmada bir mobilya üretim tesisi için ÇKKV yöntemleri ile üretim geliştirme mühendisi seçimi gerçekleştirilmiştir. Üretim geliştirme mühendisleri; iş süreçlerini iyileştirmek, gerekli üretim takip modüllerini tasarlamak, kullanılan üretim takip programlarına dahil etmek veya ettirmek, 5S, KAIZEN gibi yalın üretim metodlarını firma kültürüne kazandırmak gibi görevler üstlenirler. Bu çalışmadaki personel seçim probleminde dört aday personel arasında ÇKKV çalışması yapılmıştır. Uzman görüşü ve literatür araştırması sonucunda aday personellerin değerlendirilmesi için üç adet ana kriter ve toplamda dokuz adet alt kriter belirlenmiştir. Kriter ağırlıkları ANP ile bulunmuş, VIKOR ve PROMETHEE yöntemleri ile aday personeller kıyaslanmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde literatürde yapılan çalışmalardan bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde kullanılan yöntemlerden bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde örnek uygulama gerçekleştirilmiştir. Beşinci bölümde çalışmanın sonucu yer almaktadır.

2. Bilimsel Yazın Taraması

Literatürde ÇKKV yöntemleri ile personel seçim problemini ele alan birçok çalışma mevcuttur. Ekin (2021) bir çalışmalarında PROMETHEE yöntemi ile belirli bir işe en doğru personelin seçilmesini amaçlamışlardır. Uygulama, bankacılık sektöründe faaliyet gösteren bir firma için yapılmış, sonuçlar yorumlanmıştır. Taş ve Karataş (2021) bir firmaya alınacak personel için gerekli kriterleri belirlemiş, AHP ve TOPSIS yöntemleri ile alternatif adayları değerlendirmişlerdir. Yazgan ve Agamyradova (2021) yaptıkları bir çalışmada SWARA ve MAIRCA yöntemlerini birlikte kullanmışlardır. Bankacılık sektöründe işleyişini sürdüren bir firma için personel seçimi çalışması gerçekleştirmişlerdir. Ersoy (2021) AHP ve TOPSIS yöntemleri ile mühendis seçimi gerçekleştirmişlerdir. Uygulama, tekstil sektöründe işleyişini sürdüren bir firma için yapılmıştır. Ayçin (2020) yaptıkları bir çalışmada lojistik sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın bilgi sistemleri departmanı için CRITIC ve MAIRA yöntemleri ile personel seçim çalışması gerçekleştirmişlerdir. Özcan vd. (2020) bir büyükşehir belediyesi metrosu için personel seçim çalışması gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada AHP ve gri ilişkisel analiz yöntemleri kullanılmıştır. Vural vd. (2020) yaptıkları bir çalışmada orta ölçekli bir işletme için personel seçim problemini ele almışlardır. Acer ve İnci (2020) AHP ve TOPSIS yöntemleri ile Trabzon limanı için saha operasyon elemanı seçimi gerçekleştirmişlerdir. Nabeeh vd. (2019) bir çalışmalarında AHP ve TOPSIS yöntemleri ile Mısır'da bir akıllı bölge için personel seçim çalışması gerçekleştirmişlerdir. Yıldırım vd. (2019) yaptıkları bir çalışmada havayolu işletmeleri için ARAS yöntemi ile destek personeli seçimi gerçekleştirmişlerdir. Efe (2019) bulanık AHP ve bulanık TOPSIS yöntemleri ile iş güvenliği uzmanı seçimi gerçekleştirmişlerdir. Nişancı vd. (2019) yaptıkları bir çalışmada VIKOR yöntemi ile personel sınıflandırması yapmışlardır. Luo ve Xing (2019) bir çalışmalarında BMW, MABAC ve PROMETHEE yöntemleri ile hibrit bir karar modeli kurup personel seçim çalışması gerçekleştirmişlerdir. Widianta vd. (2018) bir çalışmalarında ÇKKV yöntemlerinin personel seçim problemlerindeki başarısını kıyaslamışlardır. AHP, SAW, TOPSIS ve PROMETHEE yöntemlerinin kıyaslandığı bu çalışmada TOPSIS yöntemi %95 doğrulukla birinci gelmiştir. Kamble ve Parveen (2018) bir çalışmalarında bulanık AHP ve bulanık TOPSIS yöntemleri ile bir akademik kurum için personel seçimi gerçekleştirmişlerdir. Tuan (2018) bir çalışmalarında personel seçim problemi için genelleştirilmiş bir bulanık model önermişlerdir. Öğretim üyesi seçim problemi için bir örnek uygulama gerçekleştirilmiştir. Ilgaz (2018) yaptıkları bir çalışmada lojistik sektöründe personel seçimi gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada AHP ve TOPSIS yöntemleri kullanılmıştır.

Ulutaş vd. (2018) bir otomobil parçası üretim tesisi için personel seçim çalışması gerçekleştirmişlerdir. Çözüm yöntemi olarak bulanık AHP ve bulanık gri ilişkisel analiz yöntemleri kullanılmıştır. Çelikbilek (2018) yaptıkları bir çalışmada personel seçimi için bütünleşik AHP-MOORA yöntemini uygulamışlardır. Kenger ve Organ (2017) bir çalışmalarında ARAS yöntemi ile banka personeli seçim çalışması gerçekleştirmişlerdir. İçigen ve Çetin (2017) AHP ve TOPSIS yöntemleri ile konaklama işletmelerinde personel seçim problemini ele almışlardır. Akın (2016) yaptıkları bir çalışmada bulanık TOPSIS ile araştırma görevlisi seçim uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Eroğlu vd. (2014) ORESTE yöntemi ile personel seçim uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Özbek (2014) tarafından yapılmış bir çalışma bulanık AHP yöntemi ile yönetici seçimi üzerinedir. Yıldız ve Deveci (2013) çalışmalarında bulanık VIKOR yöntemi ile bir teknoloji firması için personel seçim çalışması gerçekleştirmişlerdir. Literatürde personel seçimi konusunda birçok çalışma bulunmasına karşın, çalışmamızdaki gibi ÇKKV yöntemleri ile üretim geliştirme mühendisi seçimi üzerine yapılmış bir personel seçimi çalışmasına rastlanmamıştır. Bu da çalışmanın özgünlüğünü ispatlamaktadır. Tablo 1’de incelenen çalışmalar özetlenmiştir.

Tablo 1. İncelenen çalışmaların özeti

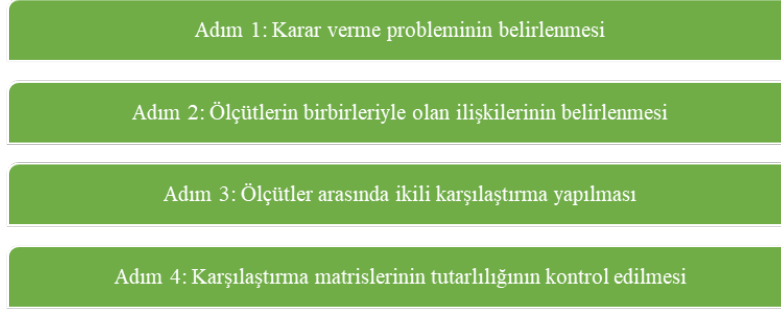
Yazarlar	Konu	Kullanılan Yöntem
Akın (2016)	Akademik personel seçimi	Bulanık TOPSIS
Kamble ve Parveen (2018)		Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS
Tuan (2018)		Genelleştirilmiş bulanık bir model
Nabeeh vd. (2019)	Akıllı bölge için personel seçimi	AHP ve TOPSIS
Kenger ve Organ (2017)	Bankacılık sektöründe personel seçimi	ARAS
Ekin (2021)		PROMETHEE
Yazgan ve Ağamradova (2021)		SWARA ve MAIRCA
Luo ve Xing (2019)	Bilişim sektöründe personel seçimi	BWM, MABAC ve PROMETHEE
Nişancı vd. (2019)	Bir kahve işletmesinde personel sınıflandırması	VIKOR
Özcan vd. (2020)	Büyükşehir belediyesi metrosunda personel seçimi	AHP ve Gri İlişkisel Analiz
Yıldırım vd. (2019)	Havayolu işletmeleri için personel seçimi	ARAS
Efe (2019)	İş güvenliği uzmanı seçimi	AHP ve Bulanık TOPSIS
İçigen ve Çetin (2017)	Konaklama işletmelerinde personel seçimi	AHP ve TOPSIS
İlgaz (2018)	Lojistik sektöründe personel seçimi	AHP ve TOPSIS
Ayçin (2020)		CRITIC ve MAIRCA
Eroğlu vd. (2014)	Muhasebe ve pazarlama departmanları için personel seçimi	ORESTE
Vural vd. (2020)	Orta ölçekli bir işletmede personel seçimi	AHP ve VIKOR
Ulutaş vd. (2018)	Otomobil parçası üretim tesisinde personel seçimi	Bulanık AHP ve Bulanık Gri İlişkisel Analiz
Widianta vd. (2018)	Personel seçiminde ÇKKV yöntemlerinin performansının kıyaslanması	AHP, SAW, TOPSIS ve PROMETHEE
Çelikbilek (2018)	Sağlık sektöründe yönetici seçimi	AHP ve MOORA
Acer ve İnci (2020)	Saha operasyon elemanı seçimi	AHP ve TOPSIS
Yıldız ve Deveci (2013)	Teknoloji firması için personel seçimi	Bulanık VIKOR
Ersoy (2021)	Tekstil sektöründe personel seçimi	AHP ve TOPSIS
Taş ve Karataş (2021)	Yazılım sektöründe personel seçimi	Nötrosofik AHP ve TOPSIS
Özbek (2014)	Yönetici seçimi	Bulanık AHP

3. Kullanılan Yöntemler

Karar analizi esnasında genellikle birbirleriyle çelişki içerisinde bulunan çok sayıda kriterle ve birbirlerine farklı özellikler ile üstünlük sağlayan ama baskın çözüm içermeyen alternatiflerle karşı karşıya kalınır. ÇKKV yöntemleri bu durumlarda belirlenen kriterlere istinaden en uygun çözümün bulunmasına yardımcı olan yöntemlerdir (Hwang ve Yoon, 1981). Yöntemler birçok faktörün ele alınması durumunda belirlenen karar problemi için; faktörlerin analizinin gerçekleştirilmesine, elde edilmiş sonuçlara istinaden alternatifleri sıraya koymaya, karşılaştırmaya, sınıflandırmaya ve en iyi alternatifi bulmaya yardımcı olur (Urfalıoğlu ve Genç, 2013). ÇKKV yöntemleri literatürde birçok farklı alanda uygulanmıştır. Bu alanlardan biri de bu çalışmada olduğu gibi personel seçimidir. Bu çalışmadaki ÇKKV uygulaması ANP, VIKOR ve PROMETHEE yöntemleri ile gerçekleştirilmiştir.

3.1. Analitik Ağ Süreci Yöntemi

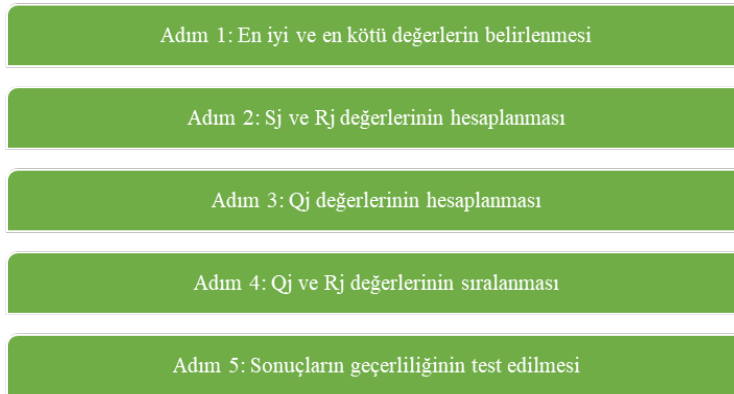
Analitik Ağ Süreci (ANP), Analitik Hiyerarşi Süreci'nin (AHP) bir uzantısı şeklinde ortaya çıkarılmış ÇKKV yöntemidir. AHP yöntemi ele alınan karar problemi için bir hiyerarşik yapı oluşturur. Problem bu yapıya göre tek yönlü bir şekilde modellenir. En iyi karara ulaşmaya etki eden faktörleri algoritmasına göre değerlendirir. Bu şekilde ele alınan faktörlere ait öncelik sıralarını ortaya koyar. ANP yöntemi ise karar verme sürecinde problemin faktörleri arasındaki ilişkilerin dikkate alınmasına imkân vermektedir. Bu yapısı gereğince ANP, problemi tek bir yöne bağlı olarak modelleme şartını gerektirmemektedir. Bu durum da karar problemlerine daha etkin ve realist bir şekilde sonuçlar sunmaktadır (Aksakal ve Dağdeviren, 2010). ANP yönteminin adımları Şekil 1'deki gibidir.



Şekil 1. ANP yönteminin adımları

3.2. VIKOR Yöntemi

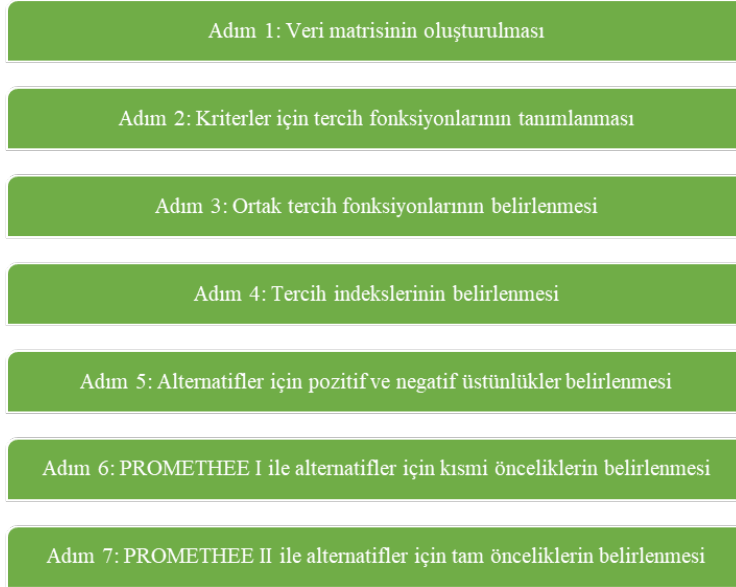
VIKOR yöntemi, Serafim Opricović tarafından 2000'li yıllara gelmeden ortaya atılmış bir ÇKKV yöntemidir. VIKOR yöntemi içerisinde birleştirme fonksiyonu bulunduran bir yöntemdir. Bu fonksiyon ele alınan karar problemi için bir sıralama endeksi oluşturarak çözümlerin en iyisine olan yakınlığı analiz edebilmektedir. Bilhassa karar vericilerin seçimleri kolaylıkla gerçekleştiremediği veya tercihlerini net bir şekilde ortaya koyamadığı durumlarda VIKOR etkin bir yöntem olmaktadır. Bu yöntem, karar problemindeki bütün alternatiflerin en iyi (değerlendirme kriterleri baz alındığında en iyi değeri alan) alternatifine olan yakınlığını dikkate alır ve bir sıralama dizini oluşturur (Soba, 2016). VIKOR yönteminin adımları Şekil 2'deki gibidir.



Şekil 2. VIKOR yönteminin adımları

3.3. PROMETHEE Yöntemi

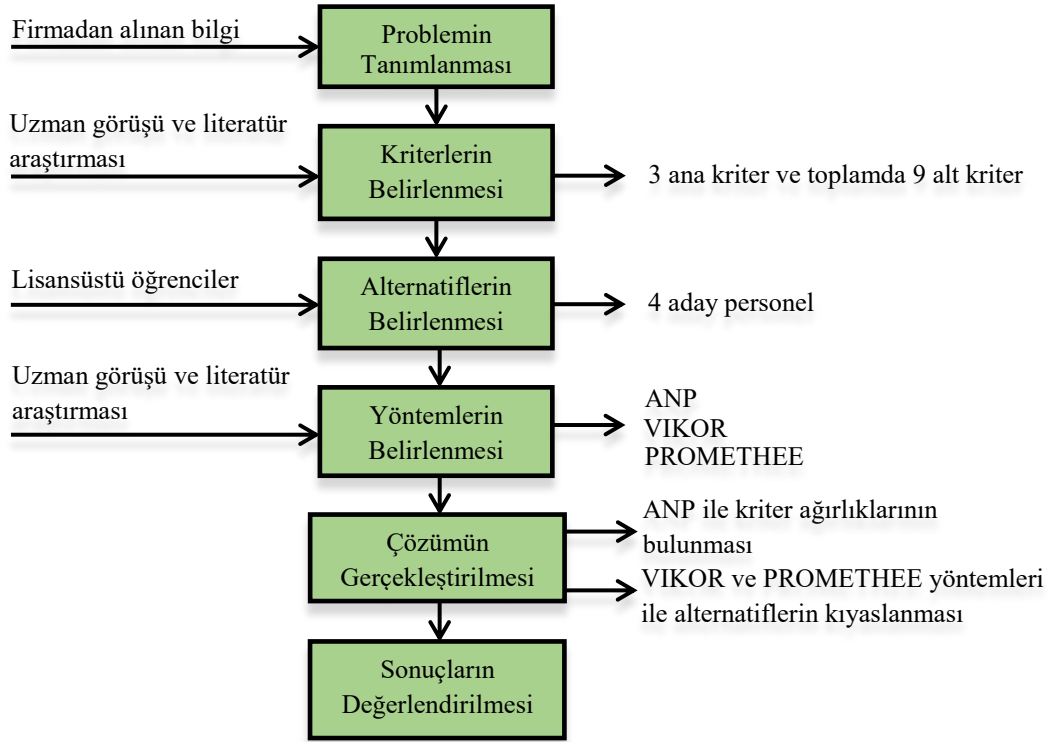
PROMETHEE yöntemi, Brans (1982) tarafından ortaya çıkarılan bir ÇKKV yöntemidir. Bu yöntem, problemin karar noktalarının önceliğini ve sıralamasını, Promethee I (kısmi sıralama) ve Promethee II (tam sıralama) temel aşamalarıyla oluşturmaya dayanmaktadır. Yöntem, problemin karar noktalarının belirlenmiş olan değerlendirme kriterlerine göre ikili kıyaslamalara tabi tutulmasından oluşur. Yöntemin diğer ÇKKV yöntemlerinden en bariz farkı, problemin değerlendirme faktörlerinin kendi içerisindeki bağlantısını gösteren önem ağırlıklarını dikkate almasına ek olarak bütün değerlendirme faktörlerinin kendi içindeki ilişkiyi de dikkate almasıdır (Bedir ve Eren, 2015). PROMETHEE yönteminin adımları Şekil 3'deki gibidir.



Şekil 3. PROMETHEE yönteminin adımları

4. Üretim Geliştirme Mühendisi Seçimi

Çalışma kapsamında personel seçimi konusunda bir örnek uygulama gerçekleştirilmiştir. Uygulamanın akış şeması Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Uygulama akış şeması

Uygulamanın ilk adımı problemin tanımlanmasıdır. İkinci adımında uzman görüşü ve literatür araştırması ile kriterler belirlenmiştir. Devamında personel seçim problemi için aday personeller seçilmiştir. Adayların belirlenmesinin ardından kullanılacak ÇKKV yöntemleri belirlenmiştir. Bu yöntemler kullanılarak aday personeller kriterler altında değerlendirilmiş ve en uygun personel seçilmiştir.

4. 1. Problemin Tanımlanması

Üretim geliştirme mühendisleri üretim süreçlerindeki verimi, izlenebilirliği ve kontrolü artıran mühendislerdir. Kıt kaynakların en verimli şekilde kullanılması konusunda firmaları geliştirmektedirler. Üretim geliştirme mühendisleri; iş süreçlerini iyileştirmek, gerekli üretim takip modüllerini tasarlamak, kullanılan üretim takip programlarına dahil etmek veya ettirmek, 5S, KAIZEN gibi yalın üretim metotlarını firma kültürüne kazandırmak, üretim kaybı risklerini analiz edip gerekli tedbirleri almak, üretimdeki kritik pozisyonlar için alternatif personellerin oluşturulmasını sağlamak, departmanların üretim süreci talimatlarını gerektiği şekilde güncellemek ve uygulanışını kontrol etmek gibi görevler üstlenirler.

Üretim geliştirme mühendisinin gerekli yetkinliklere sahip olması firmalar için büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada bir mobilya üretim tesisi için personel seçimi uygulaması gerçekleştirilmiştir. Üretim geliştirme mühendisi pozisyonu için dört aday personel arasında ÇKKV çalışması yapılmıştır.

4. 2. Kriterlerin Belirlenmesi

Uzman görüşü ve literatür araştırması ışığında belirlenen kriterler ve alt kriterler Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Kriterler ve alt kriterler

KRİTER	ALT KRİTER	AÇIKLAMA
BİLGİ	Lisans Not Ortalaması	4'lük sistemdeki lisans not ortalamasını ifade eder.
	Yazılım Bilgisi	100 üzerinden yazılım bilgisini ifade eder.
	İngilizce Bilgisi	100 üzerinden ingilizce bilgisini ifade eder.
TECRÜBE	Geçmiş İş Tecrübesi	Ay cinsinden geçmiş iş tecrübesini ifade eder.
	ERP Programı Kullanma Tecrübesi	Ay cinsinden geçmiş ERP programı kullanma tecrübesini ifade eder.
	KAIZEN - 5S Tecrübesi	100 üzerinden KAIZEN - 5S tecrübesini ifade eder.
MÜLAKAT	Maaş Beklentisi	Tl cinsinden maaş beklentisini ifade eder.
	Özgüven	100 üzerinden özgüven değerlendirmesidir.
	Ekip Çalışmasına Yatkinlik	100 üzerinden ekip çalışmasına yatkinlik değerlendirmesidir.

Bilgi kriteri üç alt kritere sahiptir. Bu kriterler; lisans not ortalaması, yazılım bilgisi ve ingilizce bilgisidir. Tecrübe kriteri de üç alt kritere sahiptir. Bu kriterler; geçmiş iş tecrübesi, ERP programı kullanma tecrübesi ve Kaizen/5S tecrübesidir. Mülakat kriteri; maaş beklentisi, özgüven ve ekip çalışmasına yatkinlik alt kriterlerinden oluşmaktadır.

Lisans not ortalaması kriteri 4'lük sistemdeki değeri almaktadır. Yazılım bilgisi, İngilizce bilgisi, KAIZEN – 5S tecrübesi, özgüven ve ekip çalışmasına yatkinlik kriterleri 100 üzerinden puan değerini almaktadır. Geçmiş iş tecrübesi ve ERP programı kullanma tecrübesi ay olarak değer almaktadır. Maaş beklentisi ise tl cinsinden değer almaktadır.

4.3. Alternatiflerin Belirlenmesi

Üretim geliştirme mühendisi pozisyonu için dört aday mühendis ele alınmıştır. Adayların isimleri A1, A2, A3 ve A4 ile gösterilmiş olup özellikleri Tablo 3'deki gibidir.

Tablo 3. Adayların özellikleri

		A1	A2	A3	A4
BİLGİ	Lisans Not Ortalaması	2,81	3,26	3,08	2,53
	Yazılım Bilgisi	90	70	80	85
	İngilizce Bilgisi	50	60	60	60
TECRÜBE	Geçmiş İş Tecrübesi	23	0	15	36
	ERP Programı Kullanma Tecrübesi	11	0	15	36
	KAIZEN - 5S Tecrübesi	60	0	50	70
MÜLAKAT	Maaş Beklentisi	9500	6500	9000	8000
	Özgüven	90	50	70	100
	Ekip Çalışmasına Yatkinlik	80	70	60	90

4.4. Yöntemlerin Belirlenmesi

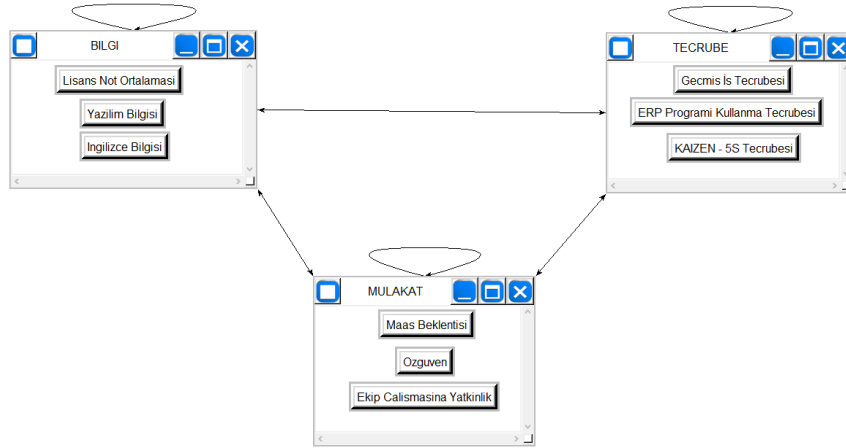
Uygulama için belirlenen yöntemler ÇKKV yöntemleridir. Bu yöntemler; ANP, VIKOR ve PROMETHEE yöntemleridir. ANP yöntemi kriter ağırlıklarının bulunmasında, VIKOR ve PROMETHEE yöntemleri aday personellerin değerlendirilmesinde kullanılmıştır.

4.5. Çözümün Gerçekleştirilmesi

Problemin çözümü, üretim geliştirme mühendisi adayı olan dört aday personelin belirlenen kriterlere göre değerlendirilmesini ve kıyaslanmasını kapsamaktadır. ANP yöntemi ile kriter ağırlıkları bulunmuştur. VIKOR ve PROMETHEE yöntemleri ile aday personeller kıyaslanmıştır.

4.5.1. ANP Çözümü

Kriter ağırlıklarının belirlenmesi için ANP yöntemi kullanılmıştır. ANP çözümü esnasında Super Decisions paket programı kullanılmıştır. Kurulan model Şekil 5’de gösterilmiştir.



Şekil 5. ANP modeli

Kurulan ANP modeli ile Super Decisions programında oluşan kriter ağırlıkları Şekil 6’da gösterilmiştir.

Here are the priorities.				
Icon	Name		Normalized by Cluster	Limiting
No Icon	Lisans Not Ortalamasi		0.05781	0.006286
No Icon	Yazilim Bilgisi		0.30112	0.032745
No Icon	Ingilizce Bilgisi		0.64107	0.069712
No Icon	Gecmis İş Tecrubesi		0.02979	0.008980
No Icon	ERP Programi Kullanma Tecrubesi		0.04066	0.012255
No Icon	KAIZEN - 5S Tecrubesi		0.92955	0.280188
No Icon	Maas Beklentisi		0.16839	0.099324
No Icon	Ozguven		0.42824	0.252590
No Icon	Ekip Calismasina Yatkinlik		0.40337	0.237921

Şekil 6. ANP sonucu

ANP sonucu incelendiğinde en önemli kriterin KAIZEN – 5S Tecrübesi olduğu gözükmektedir. Ardından Özgüven ve Ekip Çalışmasına Yatkinlik kriterleri gelmektedir. Tablo 4’de ana kriterlerin önem ağırlıklarına, alt kriterlerin lokal ve global önem ağırlıklarına yer verilmiştir.

Tablo 4. Kriterlerin ve alt kriterlerin önem ağırlıkları

Kriter	Ağırlık	Alt Kriter	Lokal Ağırlık	Global Ağırlık
BİLGİ	0,109	Lisans Not Ortalaması	0,058	0,006
		Yazılım Bilgisi	0,301	0,033
		İngilizce Bilgisi	0,641	0,070
TECRÜBE	0,301	Geçmiş İş Tecrübesi	0,030	0,009
		ERP Programı Kullanma Tecrübesi	0,041	0,012
		KAIZEN - 5S Tecrübesi	0,930	0,280
MÜLAKAT	0,590	Maaş Beklentisi	0,168	0,099
		Özgüven	0,428	0,253
		Ekip Çalışmasına Yatkınlık	0,403	0,238

4.5.2. VIKOR Çözümü

VIKOR yöntemi kullanılarak aday personeller değerlendirilmiştir. Problemin VIKOR yöntemi ile çözümü esnasındaki ağırlıklar, ANP yöntemi ile bulunan kriter ağırlıklarıdır. VIKOR yöntemine göre alternatiflerin değerlendirilmesi Tablo 5'deki gibidir.

Tablo 5. VIKOR yöntemine göre alternatiflerin değerlendirilmesi

Ağırlık	0,006	0,033	0,070	0,009	0,012	0,280	0,010	0,253	0,238
Kriter/ Alternatif	Lisans Not Ortalaması	Yazılım Bilgisi	İngilizce Bilgisi	Geçmiş İş Tecrübesi	ERP Programı Kullanma Tecrübesi	KAIZEN - 5S Tecrübesi	Maaş Beklentisi	Özgüven	Ekip Çalışmasına Yatkınlık
A1	2,81	90	50	23	11	60	9500	90	80
A2	3,26	70	60	0	0	0	6500	50	70
A3	3,08	80	60	15	15	50	9000	70	60
A4	2,53	85	60	36	36	70	8000	100	90

VIKOR çözümünde öncelikle S_j ve R_j değerleri bulunmuştur. S_j ve R_j değerleri j alternatifi için ortalama ve en kötü grup skorlarını ifade etmektedir. Bu değerler kullanılarak Q_j değerleri elde edilmiştir. Tablo 6'da VIKOR yöntemi sonucunda bulunan S_j değerleri, R_j değerleri ve Q_j değerleri gösterilmiştir.

Tablo 6. VIKOR S_j , R_j ve Q_j değerleri

	S_j değeri	R_j değeri	Q_j değeri
A1	0,355	0,099	0,321
A2	0,745	0,280	1,000
A3	0,583	0,238	0,789
A4	0,064	0,050	0,000

Bu değerlere göre alternatiflerin sıralanması Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. VIKOR yöntemine göre sıralamalar

	S_j değeri	R_j değeri	Q_j değeri
A1	2	2	2
A2	4	4	4
A3	3	3	3
A4	1	1	1

Tablo incelendiğinde VIKOR yöntemine göre üretim geliştirme mühendisi pozisyonu için en uygun adayın A4 ile isimlendirilmiş personel olduğu gözükmektedir.

4.5.3. PROMETHEE Çözümü

PROMETHEE yöntemi kullanılarak karar problemindeki alternatiflerin kriterlere göre kıyaslanması sağlanmıştır. Çözüm esnasında Visual PROMETHEE programı kullanılmıştır. Çözümde bulunan kriter ağırlıkları ANP yöntemi sonucunda bulunmuş olan kriter ağırlıklarıdır. PROMETHEE modeli Şekil 7'de gösterilmiştir.

Scenario1	Lisans Not O...	Yazılım Bilgisi	İngilizce Bilgisi	Gecmiş İş Te...	ERP Program...	KAIZEN - 5S ...	Maas Bekentisi	Ozguven	Ekip Çalışma...
Unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit
Cluster/Group	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
Preferences									
Min/Max	max	max	max	max	max	max	min	max	max
Weight	0,01	0,03	0,07	0,01	0,01	0,28	0,10	0,25	0,24
Preference Fn.	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute
- Q: Indifference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
- P: Preference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Statistics									
Minimum	2,53	70,00	50,00	0,00	0,00	0,00	6500,00	50,00	60,00
Maximum	3,26	90,00	60,00	36,00	36,00	70,00	9500,00	100,00	90,00
Average	2,92	81,25	57,50	18,50	15,50	45,00	8250,00	77,50	75,00
Standard Dev.	0,28	7,40	4,33	13,05	13,05	26,93	1145,64	19,20	11,18
Evaluations									
A1	2,81	90,00	50,00	23,00	11,00	60,00	9500,00	90,00	80,00
A2	3,26	70,00	60,00	0,00	0,00	0,00	6500,00	50,00	70,00
A3	3,08	80,00	60,00	15,00	15,00	50,00	9000,00	70,00	60,00
A4	2,53	85,00	60,00	36,00	36,00	70,00	8000,00	100,00	90,00

Şekil 7. PROMETHEE modeli

Kurulan PROMETHEE modelinin sonucu Şekil 8'de gösterilmiştir.

PROMETHEE Flow Table				
	action	Phi	Phi+	Phi-
1	A4	0,8529	0,9032	0,0503
2	A1	0,1174	0,5587	0,4413
3	A3	-0,4331	0,2602	0,6933
4	A2	-0,5372	0,2082	0,7454

Şekil 8. PROMETHEE sonucu

PROMETHEE sonucu incelendiğinde üretim geliştirme mühendisi pozisyonu için en uygun adayın A4 ile isimlendirilmiş personel olduğu gözükmektedir.

Üretim geliştirme mühendisi seçimi sürecinde ANP yöntemi ile kriter ağırlıkları belirlenmiştir. En önemli ana kriterin mülakat olduğu, en önemli alt kriterin de tecrübe ana kriterine bağlı olan KAIZEN - 5S tecrübesi olduğu görülmüştür. Aday personellerin kıyaslanmasında VIKOR ve PROMETHEE yöntemleri kullanılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde her iki yöntemde de A4 personelinin birinci sırada geldiği görülmüştür. Tablo 8'de sonuçların kıyaslanması gösterilmiştir.

Tablo 8. Sonuçların kıyaslanması

VIKOR Sıralaması	PROMETHEE Sıralaması
A4-A1-A3-A2	A4-A1-A3-A2

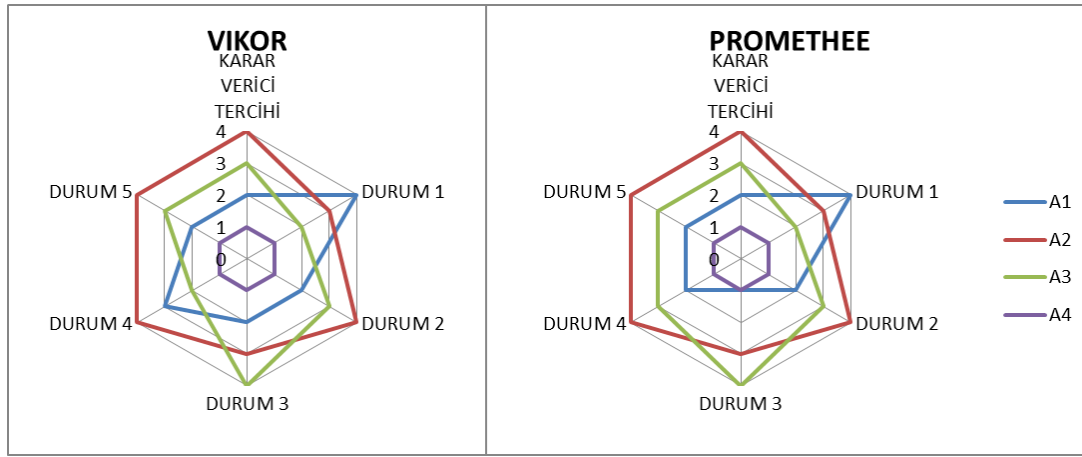
4.6. Duyarlılık Analizi

VIKOR ve PROMETHEE çözümleri için duyarlılık analizi çalışması gerçekleştirilmiştir. Duyarlılık analizi kapsamında ana kriter ağırlıkları için 5 farklı durum incelenmiştir. Bu 5 durum için her iki yöntemin de sonucu kıyaslanmıştır. Uygulamada kullanılmış olan karar vericinin önem ağırlıkları ve diğer 5 farklı durum Tablo 9'da gösterilmiştir.

Tablo 9. Duyarlılık analizinde incelenen durumlardaki ana kriter ağırlıkları

ANA KRİTER	KARAR VERİCİNİN ÖNEM AĞIRLIĞI	DURUM 1	DURUM 2	DURUM 3	DURUM 4	DURUM 5
BİLGİ	0,11	1	0	0	0,33	0
TECRÜBE	0,30	0	1	0	0,33	0,5
MÜLAKAT	0,59	0	0	1	0,33	0,5

Ana kriter ağırlıklarının değiştirilmesiyle yapılan duyarlılık analizinin VIKOR ve PROMETHEE çözümlerine etkisi Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 9. Duyarlılık analizi sonucu

Duyarlılık analizi sonucu incelendiğinde her iki yöntem için bütün durumlarda A4 aday personelinin birinci sırada geldiği görülmüştür. Bu sonuç, A4 aday personelinin diğer adaylara göre bütün durumlarda daha baskın geldiğini göstermektedir. Bu durumun sebebi, ana kriter ağırlıkları değişse bile alt kriterlerin en büyük önem derecesine sahip olanlarında A4 aday personelinin daha iyi değerler almasıdır.

5. Sonuç

Çalışma kapsamında bir mobilya üretim tesisi için personel seçimi uygulaması gerçekleştirilmiştir. Üretim geliştirme mühendisi pozisyonu için dört aday personel arasında ÇKKV çalışması yapılmıştır. Uzman görüşü ve literatür araştırması sonucunda aday personellerin değerlendirilmesi için üç adet ana kriter ve toplamda dokuz adet alt kriter belirlenmiştir. Kriter ağırlıkları ANP yöntemi ile belirlenmiş, aday personellerin değerlendirilmesi VIKOR ve PROMETHEE yöntemleri ile gerçekleştirilmiştir. VIKOR ve PROMETHEE sonuçları incelendiğinde her iki yöntemin de aynı sıralamayı verdiği görülmüştür. Bu sıralama A4-A1-A3-A2 şeklindedir. Yöntemlerin aynı sonucu vermesi örnek uygulamanın sonucunu doğrulamaktadır. Elde edilen sonuca göre A4 ile isimlendirilmiş aday birinci gelmiştir. Bu sonuca bakıldığında, üretim geliştirme mühendisi pozisyonu için en uygun adayın A4 ile isimlendirilmiş aday olduğu görülmüştür. A4 aday personelinin birinci sırada gelmesinin en büyük sebebi, önem ağırlıkları yüksek olan KAIZEN – 5S Tecrübesi ve Özgüven kriterlerinden en iyi değerleri almış olmasıdır. Ayrıca ana kriter ağırlıkları için beş farklı durum değerlendirilerek duyarlılık analizi yapılmıştır. Ana kriter ağırlıkları değişse bile alt kriterlerin en büyük önem puanına sahip olanlarında A4 aday personelinin en iyi değeri alması bütün durumlarda A4 aday personelinin birinci sırada gelmesine sebep olmuştur. Gelecek çalışmalarda üretim planlama mühendisi, iş sağlığı ve güvenliği uzmanı, kalite kontrol uzmanı gibi pozisyonlar için personel seçim çalışması gerçekleştirilebilir. Ayrıca mevcut personellerin performans değerlendirmeleri de ÇKKV yöntemleri ile gerçekleştirilebilir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Bedirhan SARİMEHMET, Bilimsel yayın taraması, gerekli verilerin belirlenmesi, toplanması, yöntemlerin uygulanması ve sonuçların raporlanması; Rabia YUMUŞAK, yöntemlerin belirlenmesi, uygulanması ve makalenin yazılması; Tamer EREN: sürecin yönetilmesi, yöntemlerin doğrulanması ve sonuçların değerlendirilmesi konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Bu çalışmada yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynaklar

Acer, A. & İnci, H. (2020). Personel Seçimi Sürecinin AHP Tabanlı MOORA Yöntemi ile Değerlendirilmesi: Liman Saha Operasyon Elemanı Seçimi Üzerine Bir Uygulama. *OPUS Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi*, 16(29 Ekim Özel Sayısı), 3689-3713. doi: <https://doi.org/10.26466/opus.716542>

Akın, N. G. (2016). Personel Seçiminde Çok Kriterli Karar Verme: Bulanık TOPSIS Uygulaması. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 8(2), 224-254. doi: <https://doi.org/10.20491/isarder.2016.177>

Aksakal, E. & Dağdeviren, M. (2010). ANP ve DEMATEL yöntemleri ile personel seçimi problemine bütünlük bir yaklaşım. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(4), 905-913. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/gazimmfd/issue/6686/88614>

Ayçin, E. (2020). Personel Seçim Sürecinde CRITIC ve MAIRCA Yöntemlerinin Kullanılması. *İşletme*, 1(1), 1-12. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/isletme/issue/52222/716692>

Bedir, N. & Eren, T. (2015) AHP-PROMETHEE yöntemleri entegrasyonu ile personel seçim problemi: perakende sektöründe bir uygulama. *Sosyal Bilimler Araştırma Dergisi*, 4(4), 46-58. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/ssrj/issue/22475/240405>

Brans, J. P. & Vincke, P. (1985). A Preference Ranking Organisation Method: (The PROMETHEE Method for Multiple Criteria Decision-Making). *Management science*, 31(6), 647-656. doi: <https://doi.org/10.1287/mnsc.31.6.647>

Çelikkilek, Y. (2018). Personel Seçimi için Bütünlük Gri AHP-MOORA Yaklaşımının Kullanılması: Sağlık Sektöründe Yönetici Seçimi Üzerine Bir Uygulama. *Alphanumeric Journal*, 6(1), 69-82. doi: <https://doi.org/10.17093/alphanumeric.378904>

Ecer, F. & Dündar, S. (2009). Analitik ağ süreci yöntemleriyle cep telefonu seçimi. *İşletme Fakültesi Dergisi*, 10(2), 153-170. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/ifede/issue/25423/268220>

Efe, Ö.F. (2019). Hibrid Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi Temelinde İş Güvenliği Uzmanı Seçimi. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(2), 639-649. doi: <https://doi.org/10.18185/erzifbed.468763>

Ekin, E. (2021). İnsan Kaynaklarında Personel Seçim Problemlerine PROMETHEE Yöntemi ile Çözüm Yaklaşımı. *Sosyal Bilimler Araştırma Dergisi*, 10(3), 738-746. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/ssrj/issue/64793/997339>

Erenel, F. (2012). Personel Temin ve Seçim Sürecinde Adaylarda Oluşan Adalet Algısının Örgüte Etkilerinin Analizi. *Maliye ve Finans Yazıları*, 1(95), 9-21. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/mfy/issue/16285/170785>

Eroğlu, E., Yıldırım, B. F. & Özdemir, M. (2014). Çok Kriterli Karar Vermede ORESTE Yöntemi ve Personel Seçiminde Uygulanması. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme İktisadi Enstitüsü Yönetim Dergisi*, 25(76), Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/iuiieyd/issue/9207/115597>

Ersoy, Y. (2021). AHP ve TOPSIS Yöntemleri Kullanılarak Tekstil Sektöründe Personel Seçimi. *Kafdağı*, 6(1), 60-78. doi: <https://doi.org/10.51469/kafdagi.948358>

- Hwang, C. L. & Yoon, K. (1981). Methods for multiple attribute decision making. *Multiple attribute decision making*, 58-191. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9_3
- Ilgaz, A. (2018). Lojistik Sektöründe Personel Seçim Kriterlerinin AHP ve TOPSIS Yöntemleri ile Değerlendirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 1(32), 586-605. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/sbe/issue/41366/497593>
- İçigen, E. T. & Çetin, E. İ. (2017). AHP Temelli TOPSIS Yöntemi ile Konaklama İşletmelerinde Personel Seçimi. *Balkan Sosyal Bilimler Dergisi*, 7(13), 179-187. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/bsbd/issue/34559/337848>
- Kamble, P. N., & Parveen, N. (2018). An Application of İntegrated Fuzzy AHP And Fuzzy TOPSIS Method for Staff Selection. *J. Comput. Math. Sci*, 9(9), 1161-1169, Erişim adresi: https://www.researchgate.net/profile/Parveen-3/publication/328734814_An_Application_of_Integrated_Fuzzy_AHP_and_Fuzzy_TOPSIS_Method_for_Staff_Selection/links/62493a308068956f3c6539dd/An-Application-of-Integrated-Fuzzy-AHP-and-Fuzzy-TOPSIS-Method-for-Staff-Selection.pdf
- Kenger, M. D. & Organ, A. (2017). Banka Personel Seçiminin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden Entropi Temelli Aras Yöntemi ile Değerlendirilmesi. *Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 4(4), 152-170. doi: <https://doi.org/10.30803/adusobed.336215>
- Kuşakçı, A. O., Ayvaz, B., Öztürk, F. & Sofu, F. (2019). Bulanık Multimoora İle Personel Seçimi: Havacılık Sektöründe Bir Uygulama. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(1), 96-110. doi: <https://doi.org/10.28948/ngumuh.516835>
- Luo, S. Z., & Xing, L. N. (2019). A Hybrid Decision Making Framework for Personnel Selection Using BMW, MABAC and PROMETHEE. *International Journal of Fuzzy Systems*, 21(8), 2421-2434, doi: <https://doi.org/10.1007/s40815-019-00745-4>
- Nabeeh, N. A., Smarandache, F., Abdel-Basset, M., El-Ghareeb, H. A., & Aboelfetouh, A. (2019). An İntegrated Neutrosophic-Topsis Approach and Its Application to Personnel Selection: A New Trend in Brain Processing and Analysis. *IEEE Access*, 7, 29734-29744. doi: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2899841>
- Nişancı, Z. N. & Akpınar, H. (2019). Beş Faktör Kişilik Modeli Kapsamında Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri Aracılığıyla Personel Sınıflandırma. *International Journal Of Management And Administration*, 3(6), 185-204. doi: <https://doi.org/10.29064/ijma.526899>
- Özbek, A. (2014). Yöneticilerin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi ile Belirlenmesi. *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 12(24), 209-225. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/yead/issue/21807/234400>
- Özcan, İ., İnan, U. H. & Korkusuz, A. Y. (2020). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Metro Sürücüsü Seçimi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 15(3), 1185-1202. doi: <https://doi.org/10.17153/oguiibf.573735>
- Öztürk, F. & Kaya G. K. (2020). Bulanık VIKOR ile Personel Seçimi: Otomotiv Yan Sanayinde Uygulama. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 8(1), 94-108. doi: <https://doi.org/10.29109/gujsc.595288>
- Sarımeahmet, B., Hamurcu, M. & Eren, T. (2020). Çok Kriterli Karar Verme: Kırıkkale YHT İstasyonu-Şehir Bağlantısının Sağlanması. *Demiryolu Mühendisliği*, (11), 26-40. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/demiryolu/issue/50417/635029#article-authors-list>
- Soba, M., Şimşek, A., Erdin, E. & Can, A. (2016). AHP Temelli VIKOR Yöntemi ile Doktora Öğrenci Seçimi. *Sosyal Bilimler Dergisi*, 50, 113-125. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/dpusbe/issue/26797/282643>
- Supçiller, A. A. & Deligöz, K. (2018). Tedarikçi Seçimi Probleminin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Uzlaşık Çözümü. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 18, 355-368. doi: <https://doi.org/10.18092/ulikidince.352742>

- Taş, A. & Karataş, P. Ç. (2021). Yazılım Sektöründe Nitelikli Personel Seçiminin Nötrosifik AHP ve TOPSİS Yöntemleri İle İncelenmesi. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 13(1), 969-979. Erişim adresi: <https://isarder.org/index.php/isarder/article/view/1357>
- Tuan, N. A. (2018). Developing A Generalized Fuzzy Multi-Criteria Decision Making for Personnel Selection. *Fuzzy economic review*, 23(2), Erişim adresi: <https://web.p.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=0&sid=3eee8790-3d35-425f-bc62-a0fd5c20ccc7%40redis>
- Ulutaş, A., Özkan, A. M. & Tağraf, H. (2018). Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci ve Bulanık Gri İlişkisel Analizi Yöntemleri Kullanılarak Personel Seçimi Yapılması. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 17(65), 223-232. doi: <https://doi.org/10.17755/esosder.317209>
- Urfaloğlu, F. & Genç, T. (2013). Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ile Türkiye'nin Ekonomik Performansının Avrupa Birliği Üye Ülkeleri ile Karşılaştırılması. *Marmara Üniversitesi İ.İ.B. Dergisi*, 35(2), 329-360. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/muiibd/issue/494/4376>
- Vural, D., Köse, E. & Bayam, B. (2020). AHP ve VIKOR Yöntemleri ile Personel Seçimi. *Yalova Sosyal Bilimler Dergisi*, 10(21), 70-89. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/yalovasosbil/issue/57136/748734>
- Widianta, M. M. D., Rizaldi, T., Setyohadi, D. P. S., & Riskiawan, H. Y. (2018). Comparison of Multi-Criteria Decision Support Methods (AHP, TOPSIS, SAW & PROMENTHEE) for Employee Placement. *Journal of Physics: Conference Series*, 953, doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/953/1/012116>
- Yazgan, A. E. & Agamyradova, H. (2021). SWARA Ve MAIRCA Yöntemleri ile Bankacılık Sektöründe Personel Seçimi. *Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 16(2), 281-290. doi: <https://doi.org/10.48145/gopsbad.999847>
- Yıldırım, B. I., Uysal, F. & Ilgaz, A. (2019). Havayolu İşletmelerinde Personel Seçimi: Aras Yöntemi ile Bir Uygulama. *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 2(33), 219-231. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/sbe/issue/41368/559124>
- Yıldız, A. & Deveci, M. (2013). Bulanık VIKOR Yöntemine Dayalı Personel Seçim Süreci. *Ege Akademik Bakış*, 13(4), 427-436. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/eab/issue/39921/474186>



Journal of Turkish Operations Management

Investigation the ergodic distribution of a semi-Markovian inventory model of type (s,S) with intuitive approximation approach

Aslı Bektaş Kamışlık¹, Büşra Alakoç², Tülay Kesemen³, Tahir Khaniyev^{4,5*}

¹Department of Mathematics, Recep Tayyip Erdoğan University, Rize, Turkey

e-mail: asli.bektas@erdogan.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-9776-2145>

²Department of Mathematics, Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey

e-mail: busraalakoc@gmail.com, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0001-8975-5968>

³Department of Mathematics, Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey

e-mail: tkesemen@ktu.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-8807-5677>

⁴Department of Industrial Engineering, TOBB University of Economics and Technology, Ankara, Turkey

⁵The Center of Digital Economics, Azerbaijan State University of Economics, Baku, Azerbaijan.

e-mail: tahirkhaniyev@etu.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0003-1974-0140>

*Corresponding author: Tahir Khaniyev

Article Info

Article History:

Received: 29.12.2022

Revised: 01.02.2023

Accepted: 08.02.2023

Keywords:

Intuitive approximation,
Inventory model of type (s, S) ,
Renewal reward process,
Ergodic distribution,
 $\Gamma(g)$ class of distributions

Abstract

This paper concerns a stochastic process $X(t)$ expressing (s, S) type inventory system with intuitive approximation approach. The ergodic distributions of the process $X(t)$ can be analyzed with the help of the renewal function. Obtaining an explicit formula for renewal function $U(x)$ is difficult from a practical standpoint. Mitov and Omey recently present some intuitive approximations in literature for renewal function which cover a large number of existing results. Using their approach we were able to establish asymptotic approximations for ergodic distribution of a stochastic process $X(t)$. Obtained results can be used in many situations where demand random variables have different distributions from different classes such as the $\Gamma(g)$ class.

1. Introduction

In areas like stock control, queuing, stochastic finance, and reliability, semi-Markov processes have been applied, along with renewal theory. Through the use of these processes, many important stock control problems are also expressed (see, Smith, 1959; Brown and Solomon, 1975; Gikhman and Skorohod, 1975; Borovkov, 1984; Chen and Zheng, 1997; Csenki, 2000; Asmussen, 2000). For instance, it is typical to assume that the demand sequences creates a renewal process when analyzing inventory processes. Also, common inventory systems use renewal sequences to express stock replenishment times. The stochastic control model of type (s, S) is one of the inventory models where in the formula of the ergodic distribution the renewal function is encountered. There has been a substantial amount of research in the literature on the stationary characteristics of (s, S) type inventory models with different modifications. These modifications are mostly given with some kinds of discrete interference of chances or by using different distributions for inter-arrival times (see, Khaniyev et. al., 2011; Khaniyev et. al., 2013; Kesemen et. al., 2016; Hanalioglu and Khaniyev, 2019). In recent years, these studies have moved towards examining (s, S) type inventory models with heavy-tailed distributions and the literature on this subject has been enriched considerably (see, Aliyev, 2017; Bektaş et. al., 2018; Bektaş et. al., 2019). But some important distributions for example the gamma distribution and the exponential distribution are excluded from the heavy-tailed situation. The $\Gamma(g)$ class is encountered in many applications, especially in extreme value theory. For more

detail and representation theorems for the class of the $\Gamma(g)$ we refer to Geluk and de Haan (1981). Recently Mitov and Omev (2014) studied asymptotic behavior of renewal function generated by the $\Gamma(g)$ distributed random variables and provided intuitive approximations. We will provide a summary in preliminaries.

The stochastic control model of type (s, S) was previously investigated in the study by Bektaş et. al. (2020) with the $\Gamma(g)$ class of distributions. In the study by Bektaş et. al. (2020) demand random variables were assumed to have logistic distribution from the $\Gamma(g)$ class. But the findings of their study can be only used when demand random variables have a logistic distribution specifically. However, in order to analyze the stationary characteristics of such systems, it is more appropriate to use general formulas that cover as many distributions as possible. Differently from previous literature, in this research it is assumed that random variables expressing the demands could have any distribution from the $\Gamma(g)$ class and the process was examined under this assumption. Growth models and a particular kind of regression known as the logistic regression have both employed the logistic distribution. This distribution has numerous other applications, including in inventory management, geological sciences, survival analysis, and population modeling. The logistic distribution is primarily employed across a variety of disciplines since it closely resembles the normal distribution and has a straightforward cumulative distribution formula. The normal distribution can be approximated by a wide variety of functions, however these functions frequently have quite difficult mathematical formulations. Comparatively, the cumulative distribution formula for the logistic distribution is substantially more straightforward.

In this study previous results were expanded here to include all random variables from the $\Gamma(g)$ class. First we provided approximations for ergodic distribution of the model. As a result the formulas obtained for the general case are applied to the special cases such as generalized extreme value distribution and generalized gamma distribution. This approximation can be used in practice with ease, especially for large values of t .

2. Preliminaries

Before examining the primary problem, we offer the key notations and mathematical description of the considered model.

Definition 2.1: A positive and measurable function h belongs to the class of $\Gamma(g)$ with auxiliary function g if and only if every fixed $y \in \mathbb{R}$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} h(x + yg(x))/h(x) = e^{-y}. \quad (1)$$

Here the function g in (1) ought to satisfy $g(x) = o(x)$, $x \rightarrow \infty$, where $f(x) = o(g(x))$ means:

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{f(x)}{g(x)} = 0.$$

For more detailed information about the $\Gamma(g)$ class and its asymptotic properties, see Mitov and Omev (2014). In this study, we will consider the renewal function produced by the $\Gamma(g)$ class of distributions. Consider the renewal process $N(t)$; $t \geq 0$. The renewal function is defined as

$$E[N(t)] = U(t) = \sum_{n=0}^{\infty} F^{*n}(t); \quad t \geq 0.$$

where $F^{*n}(t)$ is n -fold convolution of $F(\cdot)$ with $F^{*1} = F(t)$. The intuitive approximation for renewal function $U(x)$ is denoted by $\hat{U}(x)$. Mitov and Omev (2014) suggested the following intuitive approximation for the renewal function where $\bar{F}(x) = \mathbb{P}\{\eta_1 > x\} \in \Gamma(g)$:

$$\widehat{U}(x) = \frac{x}{\mu_1} + \frac{\mu_e}{\mu_1} - \frac{1}{\mu_1^2} g^2(x) \bar{F}(x). \quad (2)$$

Here $\mu_1 = E(\eta_1)$. When $\mu_1 < \infty$, $\mu_e = \int_0^\infty (1 - F_e(x)) dx$. The definition of equilibrium distribution F_e is given as follows:

$$F_e(x) = \frac{1}{\mu_1} \int_0^x \bar{F}(y) dy.$$

For $\mu_2 < \infty$, then $\mu_e < \infty$ and the statement (2) can also be expressed as:

$$\widehat{U}(x) = \frac{x}{\mu_1} + \frac{\mu_2}{2\mu_1^2} - \frac{1}{\mu_1^2} g^2(x) \bar{F}(x). \quad (3)$$

2.1. Model Formulation

Consider a stochastic process $X(t)$ with an initial stock level S . Suppose the demands with random amount arrive on the system at random times T_1, T_2, \dots, T_n . The system must respond to demands promptly. Therefore, we do not want the system's stock level to drop below a certain control level. On the other hand overstocking might be costly so we also do not want the stock amount in the system to exceed a present stock level S . The stock level decreases continuously in time starting from maximum stock level until it falls below a certain control level. Demand random variables are independent and identically distributed (i.i.d.). Time intervals between two successive demands are likewise considered to be i.i.d.. When the stock level falls below a predetermined control level, the system is intervened and refilled with stock up to its maximum capacity. Here the system completes its first period, starts its second period with an initial stock level S and proceeds similarly to the first period. Hence stock level varies between S and s .

Notations:

$X(t)$: Stock level in the system at a random time t .
S	: Maximum stock level.
$\{\eta_n\}_{n \geq 1}$: Demand random variables.
$\{T_n\}_{n \geq 1}$: Random times when demands arrive in the system.
$F(x)$: The distribution function corresponding to η_1 .
$\{\xi_n\}_{n \geq 1}$: Random variables that express time between two consecutive demands.
$\phi(t)$: The distribution function corresponding to ξ_1 .
s	: Stock control level.
τ_n	: The time when the stock level falls below s for the n^{th} time.
$U(t)$: Renewal function of demand random variable.
μ_n	: First three raw moments of η_1 , for $n=1,2,3$.

By assuming that $\{\xi_n, \eta_n\}, n \geq 1$ be a vector of i.i.d. random variables defined on (Ω, F, \mathbb{P}) their distribution functions are defined as follows:

$$\Phi(t) = \mathbb{P}\{\xi_1 \leq t\}, \quad F(x) = \mathbb{P}\{\eta_1 \leq x\}, \quad t \geq 0, \quad x \geq 0.$$

Renewal sequences T_n, S_n defined as follows:

$$T_n = \sum_{i=1}^n \xi_i, \quad Y_n = \sum_{i=1}^n \eta_i. \quad (4)$$

Since $X(t)$ decreases by $\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n$ the variation in stock level should be expressed as follows:

$$X(T_1) \equiv X_1 = S - \eta_1, X(T_2) \equiv X_2 = S - (\eta_1 + \eta_2), \dots, X(T_n) \equiv X_n = S - \sum_{i=1}^n \eta_i.$$

Defining a sequence of integer valued random variables $\{N_n\}$, $n \geq 0$ as:

$$N_0 = 0, N_{n+1} = \inf\{k \geq N_n + 1 : S - (Y_k - Y_{N_n}) < s\}, n \geq 0,$$

and letting

$$\tau_0 = 0, \tau_n = T_{N_n} = \sum_{i=1}^{N_n} \xi_i, n \geq 1, \nu(t) = \max\{n \geq 0 : T_n \leq t\}, t \geq 0,$$

then for $t \in [\tau_n, \tau_{n+1})$ the construction of the stochastic process $X(t)$ will be as follows:

$$X(t) = S - (\eta_{N_n+1} + \dots + \eta_{\nu(t)}) = S - (Y_{\nu(t)} - Y_{N_n}), n = 0, 1, 2, \dots \tag{5}$$

A sample trajectory of the process $X(t)$ is given with Figure 1.

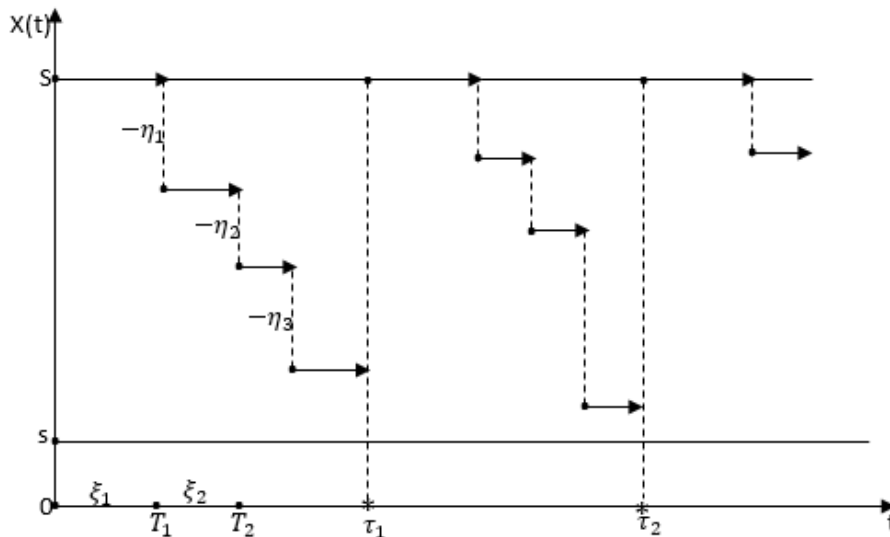


Figure 1. A sample trajectory of the process $X(t)$

The primary goal of this study is to provide general approximation results for the ergodic distribution of the stochastic process whose mathematical model was given above. We presume that $\bar{F}(x) = \mathbb{P}(\eta_1 > x) \in \Gamma(g)$. General definition of the $\Gamma(g)$ class is given with Definition 2.1. and this class covers many of the distribution classes used in practice.

2.2. Ergodicity of the Process $X(t)$ and Exact Formulas for Ergodic Distribution

Ergodicity of the process $X(t)$ and exact formula for ergodic distribution is given in publication Nasirova et. al. (1998) with the following proposition.

Proposition 2.1: Let the initial sequences $\{\xi_n\}$ and $\{\eta_n\}, n \geq 1$ satisfy the following conditions:

- 1) $E(\xi_1) < \infty$, 2) $0 < E(\eta_1^2) < \infty$, 3) η_1 is non-arithmetic random variable,

then, the process $X(t)$ is ergodic and the ergodic distribution function of the process $X(t)$ has the following explicit form:

$$Q_X(x) \equiv \lim_{t \rightarrow \infty} \mathbb{P}\{X(t) \leq x\} = 1 - \frac{U(S-x)}{U(S-s)}, \quad s \leq x \leq S, \tag{6}$$

where $U(x) = \sum_{n=0}^{\infty} F^{*n}(x)$ and $F(x) = \mathbb{P}(\eta_1 \leq x)$. ■

Let define the standardized process $W_\beta(x) \equiv \frac{1}{\beta}(X(t) - s)$. Here $\beta = S - s$. Then the ergodic distribution function of the process $W_\beta(x)$ will be obtained as follows by using (6).

$$Q_{W_\beta}(x) = 1 - \frac{U(\beta(1-x))}{U(\beta)}, \quad x \in (0,1). \tag{7}$$

As can be clearly seen by (7), an approximation of $U(x)$ is essential to obtain an approximate expression for the ergodic distribution of the process $X(t)$. The asymptotic behavior of $U(x)$ from various forms are the subject of numerous research in the literature (we refer the reader to, Asmussen, 2000; Brown and Solomon, 1975; Chen and Zheng, 1997; Csenki, 2000; Embrechts et. al., 1997; Feller, 1971; Geluk, 1997 and Levy and Taquq, 2000). In paper by Mitov and Omev (2014) they proposed a simple and intuitive approach to approximate $U(x)$ which is given with (2). They first discussed the case of regularly varying case in their work. But as they indicated classes of distributions like the exponential or gamma distribution are not included in the regularly varying situation. For this reason, they proposed an approximation method for the renewal function produced by the distributions from the $\Gamma(g)$ class, which is a larger class and is frequently encountered in extreme value theory. Using the approximation method proposed by Mitov and Omev (2014), we were able to approximate $Q_{W_\beta}(x)$. By using (2) firstly asymptotic expansions for $Q_{W_\beta}(x)$ will be provided while demand random variables have $\Gamma(g)$ distribution in the general case. We then consider the process $X(t)$ with generalized extreme value distributed and generalized gamma distributed (which are two important distributions from the $\Gamma(g)$ class) demand random variables respectively.

3. Approximate Expressions for the Ergodic Distribution of the Standardized Process

To get approximate expressions for $Q_{W_\beta}(x)$, we will employ the approximate expression for $U(x)$ given with (3). First of all, we will need the Lemma 3.1 whose statement and proof are given below.

Lemma 3.1: Let the conditions of Proposition 2.1 be satisfied. Furthermore, let $\{\eta_n\}, n \geq 1$; be a sequence of i.i.d. random variables and $\bar{F}(x) = \mathbb{P}(\eta_1 > x) \in \Gamma(g)$. Here $g^2(x)$ is a constant or non-increasing function. In this case for $E(\eta_1^n) = \mu_n, n = 1,2$ and each $x \in (0,1)$ the following approximation is true, as $\beta \equiv S - s \rightarrow \infty$:

$$\bar{U}(\beta(1-x)) = \frac{1}{\mu_1} \beta(1-x) + \frac{\mu_e}{\mu_1} - \frac{1}{\mu_1^2} g^2(\beta(1-x)) \bar{F}(\beta(1-x)), \quad x \in [0,1), \tag{8}$$

$$\left(\bar{U}(\beta)\right)^{-1} = \frac{\mu_1}{\beta + \mu_e} \left(1 + \frac{1}{\beta + \mu_e} \frac{1}{\mu_1} g^2(\beta) \bar{F}(\beta)\right). \tag{9}$$

Proof: By substituting β and $\beta(1 - x)$ for each $x \in [0,1)$ in expression (3), expressions (8) and (9) are easily obtained.

Using Proposition 2.1 and Lemma 3.1, the following main result was reached.

Theorem 3.1: Let the conditions of Lemma 3.1. be satisfied. In this case for each $x \in (0,1)$ we propose following approximation for $Q_{W_\beta}(x)$ as $\beta \equiv S - s \rightarrow \infty$:

$$\hat{Q}_{W_\beta}(x) = \frac{\beta x}{\beta + \mu_e} + \frac{1}{\mu_1(\beta + \mu_e)} g^2(\beta(1 - x)) \bar{F}(\beta(1 - x)) - \frac{\beta(1 - x)}{\mu_1(\beta + \mu_e)^2} g^2(\beta) \bar{F}(\beta). \tag{10}$$

Here $\hat{Q}_{W_\beta}(x)$ presents the approximation for ergodic distribution of the standardized process $W_\beta(t)$, as $\beta \equiv S - s \rightarrow \infty$.

Proof: For each $x \in (0,1)$ we have

$$\begin{aligned} \frac{\hat{U}(\beta(1 - x))}{\hat{U}(\beta)} &= \left[\frac{\beta(1 - x)}{\mu_1} + \frac{\mu_2}{2\mu_1^2} - \frac{1}{\mu_1^2} g^2(\beta(1 - x)) \bar{F}(\beta(1 - x)) \right] \\ &\times \left\{ \left(\frac{\mu_1}{\beta + \mu_e} \right) \left[1 + \frac{1}{\mu_1(\beta \mu_e)} + o\left(\frac{1}{\beta} g^2(\beta) \bar{F}(\beta) \right) \right] \right\} \\ &= \left[\frac{\beta(1 - x)}{\mu_1} + \frac{\mu_e}{\mu_1} - \frac{1}{\mu_1^2} g^2(\beta(1 - x)) \bar{F}(\beta(1 - x)) \right] \\ &\times \left[\frac{\mu_1}{\beta + \mu_e} + \frac{1}{(\beta + \mu_e)^2} g^2(\beta) \bar{F}(\beta) + o\left(\frac{1}{\beta^2} g^2(\beta) \bar{F}(\beta) \right) \right]. \end{aligned} \tag{11}$$

Taking into account that

$$Q_{W_\beta}(x) = 1 - \frac{U(\beta(1 - x))}{U(\beta)}$$

for each $x \in (0,1)$ we obtain following asymptotic expansion for $Q_{W_\beta}(x)$, as $\beta \equiv S - s \rightarrow \infty$:

$$\begin{aligned} Q_{W_\beta}(x) &= 1 - \frac{U(\beta(1 - x))}{U(\beta)} \\ &= \frac{\beta x}{\beta + \mu_e} + \frac{1}{\mu_1(\beta + \mu_e)} g^2(\beta(1 - x)) \bar{F}(\beta(1 - x)) \\ &\quad - \frac{\beta(1 - x)}{\mu_1(\beta + \mu_e)^2} g^2(\beta) \bar{F}(\beta) + o\left(\frac{1}{\beta^2} g^2(\beta(1 - x)) \bar{F}(\beta(1 - x)) \right). \end{aligned} \tag{12}$$

On the other hand since $\beta > 0$ for $0 < x < 1$, $\beta(1 - x) < \beta$. From the definition of the class of $\Gamma(g)$ we know that $g^2(x)$ is constant or nonincreasing function and any $\bar{F} \in \Gamma(g)$ is monotone decreasing function hence; $g^2(\beta(1 - x)) \bar{F}(\beta(1 - x)) > g^2(\beta) \bar{F}(\beta)$. Hence desired approximation given with (10) is obtained from (12).

Remark: Theorem 3.1 concludes that $W_\beta(t) = \frac{1}{\beta}(X(t) - s)$ converges weakly to uniform distribution defined in $[0,1]$, as $\beta \equiv S - s \rightarrow \infty$. This result provides consistency with previous studies on this subject.

3.1. Applications of Obtained Approximation for Special Distributions from $\Gamma(g)$ Class

In the previous section we examined the general form of an approximation for $Q_{W_\beta}(x)$, when the demand quantities have any distribution from the $\Gamma(g)$ class. In this section, we will consider at the scenario where two special distributions from the $\Gamma(g)$ class are present for demand random variables. Thus, we will exemplify the results we have obtained before.

3.1.1. Generalized Extreme Value Distribution of Type-I

In this section we suppose that η_1 have a generalized extreme value distribution from the $\Gamma(g)$ class. In this case we propose an approximation for $Q_{W_\beta}(x)$ with following corollary:

Corollary 3.1: Let the conditions of Theorem 3.1 be satisfied. Moreover suppose that η_1 have a generalized extreme value distribution of type-I from the $\Gamma(g)$ class. In this case as $\beta \rightarrow \infty$ and for each $x \in (0,1)$ we propose following approximation for ergodic distribution of the process $W_\beta(t)$:

$$\begin{aligned} \hat{Q}_{W_\beta}(x) &= \frac{\beta x}{\beta + \mu_e} + \frac{1}{\mu_1(\beta + \mu_e)} \left(1 - \exp(-\exp(-\beta(1-x)))\right) \\ &\quad - \frac{\beta(1-x)}{\mu_1(\beta + \mu_e)^2} \left(1 - \exp(-\exp(-\beta))\right). \end{aligned} \quad (13)$$

Proof: In the general case, the approximate expression of the renewal function produced by random variables from the $\Gamma(g)$ class is given in (3). The cumulative distribution functions of random variables from this class are given by $F(x) = \exp(-e^{-x})$, $x \in \mathbb{R}$. Since $f(x) = e^{-x} \exp(-e^{-x})$, $x \in \mathbb{R}$, then according to the definition of the $\Gamma(g)$ class $\bar{F}(x) \in \Gamma(1)$. In this case for $E(\eta_1^n) = \mu_n$; $n = 1, 2$ we propose following approximation for $U(x)$:

$$\hat{U}(x) = \frac{x}{\mu_1} + \frac{\mu_e}{\mu_1} - \frac{1}{\mu_1^2} \left(1 - \exp(-\exp(-x))\right). \quad (14)$$

In this case for each $x \in (0,1)$ we have the following result as $\beta \rightarrow \infty$:

$$\hat{U}(\beta) = \frac{\beta}{\mu_1} + \frac{\mu_e}{\mu_1} - \frac{1}{\mu_1^2} \left(1 - \exp(-\exp(-\beta))\right) \quad (15)$$

and

$$\hat{U}(\beta(1-x)) = \frac{\beta(1-x)}{\mu_1} + \frac{\mu_e}{\mu_1} - \frac{1}{\mu_1^2} \left(1 - \exp(-\exp(-\beta(1-x)))\right), \quad x \in (0,1). \quad (16)$$

Using (15) and (16) in (7) we have the following asymptotic expansion:

$$\begin{aligned} Q_{W_\beta}(x) &= 1 - \frac{U(\beta(1-x))}{U(\beta)} \\ &= \frac{\beta x}{\beta + \mu_e} + \frac{1}{\mu_1(\beta + \mu_e)} \left(1 - \exp(-\exp(-\beta(1-x)))\right) \end{aligned}$$

$$-\frac{\beta(1-x)}{\mu_1(\beta + \mu_e)^2} \left(1 - \exp(-e^{-\beta})\right) + o\left(\frac{1}{\beta^2} \left(1 - \exp(-\exp(-\beta(1-x)))\right)\right). \quad (17)$$

From here desired result holds.

3.1.2. Gamma Distribution of Type-1

Similarly, now we will consider the demand random variable η_1 have gamma distribution of type 1 from the $\Gamma(g)$ class,

$$\mathbb{P}(\eta_1 \leq x) = F(x) = \frac{\gamma(\alpha, x)}{\Gamma(\alpha)}, x \in [0, \infty).$$

It can easily be seen that this distribution belongs to the $\Gamma(1)$ class, by definition of the $\Gamma(g)$ class. In order to examine asymptotic behavior of $Q_{W_\beta}(x)$ first we need to give definitions of some well known functions.

Definition 3.1: The following functions are defined as classical gamma function, lower incomplete gamma function and upper incomplete gamma function respectively:

$$\Gamma(x) = \int_0^\infty t^{x-1} e^{-t} dt, \operatorname{Re}(x) > 0, \quad \gamma(x) = \int_0^x t^{s-1} e^{-t} dt, \operatorname{Re}(s) > 0, \quad \bar{\Gamma}(s, x) = \int_x^\infty t^{s-1} e^{-t} dt, \operatorname{Re}(s) > 0.$$

Following corollary proposes an approximation for ergodic distribution of the process $W_\beta(t)$ under the condition that η_1 have a generalized gamma distribution from the $\Gamma(g)$ class using intuitive approximation approach.

Corollary 3.2: Let the conditions of Theorem 3.1. be satisfied. Moreover suppose the demand random variable η_1 , have a generalized gamma distribution from the $\Gamma(g)$ class. In this case as $\beta \rightarrow \infty$ and $x \in (0,1)$ we obtain following approximation for $Q_{W_\beta}(x)$ as follows:

$$\hat{Q}_{W_\beta}(x) = \frac{\beta x}{\beta + \mu_e} + \frac{1}{\mu_1(\beta + \mu_e)} \left(\frac{\Gamma(\alpha, \beta(1-x))}{\Gamma(\alpha)} \right) - \frac{\beta(1-x)}{\mu_1(\beta + \mu_e)^2} \frac{\Gamma(\alpha, \beta)}{\Gamma(\alpha)}. \quad (18)$$

Proof: For $F(x) = \gamma(\alpha, x)/\Gamma(\alpha)$, $\bar{F}(x) = \Gamma(\alpha, x)/\Gamma(\alpha)$. In this case for each $x \in (0,1)$ an approximation for the renewal function generated from generalized gamma distributions becomes:

$$\hat{U}(x) = \frac{x}{\mu_1} + \frac{\mu_e}{\mu_1} - \frac{1}{\mu_1^2} \frac{\Gamma(\alpha, x)}{\Gamma(\alpha)}. \quad (19)$$

From here we get

$$\hat{U}(\beta) = \frac{\beta}{\mu_1} + \frac{\mu_e}{\mu_1} - \frac{1}{\mu_1^2} \frac{\Gamma(\alpha, \beta)}{\Gamma(\alpha)}, \quad (20)$$

$$\hat{U}(\beta(1-x)) = \frac{\beta(1-x)}{\mu_1} + \frac{\mu_e}{\mu_1} - \frac{1}{\mu_1^2} \frac{\Gamma(\alpha, \beta(1-x))}{\Gamma(\alpha)}. \quad (21)$$

Taking into account that

$$Q_{W_\beta}(x) = 1 - \frac{U(\beta(1-x))}{U(\beta)}$$

we propose asymptotic expansion for $Q_{W_\beta}(x)$ using intuitive approximation approach as follows:

$$Q_{W_\beta}(x) = \frac{\beta x}{\beta + \mu_e} + \frac{1}{\mu_1(\beta + \mu_e)} \left(\frac{\Gamma(\alpha, \beta(1-x))}{\Gamma(\alpha)} \right) - \frac{\beta(1-x)}{\mu_1(\beta + \mu_e)^2} \frac{\Gamma(\alpha, \beta)}{\Gamma(\alpha)} + o \left(\frac{\Gamma(\alpha, \beta(1-x))}{\beta \Gamma(\alpha)} \right). \quad (22)$$

Desired result holds form (22).

4. Conclusion

In this study, intuitive approximations are suggested for ergodic distribution of a specific stochastic process which characterize a stochastic control model of type (s, S) . For demands belong to a broad class of distributions satisfying the condition $\mu_e < \infty$ asymptotic results are obtained for ergodic distribution of the process $X(t)$. Then the approximate formula for the ergodic distribution of the process is obtained when the demand random variables have a generalized extreme value distribution and gamma distribution of type-1, respectively. Many real-world problems have lately been captured using heavy tailed distributions and the class of $\Gamma(g)$. Renewal functions produced by these distributions and the use of these functions in different variations of the inventory models have become a popular field of study (see for example, Geluk, 1997; Gaffeo et. al, 2008; Foss et. al., 2011; Embrechts et. al., 1975). In literature the process $X(t)$ has been specifically examined with logistic distributed demands from the $\Gamma(g)$ class. In this study, however, the results obtained previously using a specific distribution were generalized to cover all distributions from the $\Gamma(g)$ class. Therefore, the results obtained in this study are more general results.

We believe that our approximation results from using these distributions in inventory models will serve as a useful guide for further research. Similar outcomes can be attained in the scenario where $\mu_e = \infty$. Moreover, the semi-Markovian random walk process can be studied in the future using similar approximation techniques. In addition, examining similar processes using only moment-based approaches can be another suggestion for future studies.

Contribution of Authors

Authors contributed equally to each part.

Conflicts of Interest

The authors declared that there is no conflict of interest.

References

- Aliyev, R.T. (2017). On a stochastic process with a heavy tailed distributed component describing inventory model of type (s, S) . *Communications in Statistics-Theory and Methods*, 46(5), 2571-2579. DOI: <https://doi.org/10.1080/03610926.2014.1002932>
- Asmussen, S. (2000). *Ruin probabilities*, World Scientific Publishing. Singapore.
- Bektaş, K.A., Alakoç, B., Kesemen T. and Khaniyev T. (2020). A semi-Markovian renewal reward process with $\Gamma(g)$ distributed demand. *Turkish Journal of Mathematics*, 44, 1250-1262. DOI: <https://doi.org/10.3906/mat-2002-72>
- Bektaş K.A., Kesemen T. and Khaniyev T. (2019). Inventory model of type (s, S) under heavy tailed demand with infinite variance. *Brazilian Journal of Probability and Statistics*, 33 (1), 39-56. DOI: <https://doi.org/10.1214/17-BJPS376>
- Bektaş, K.A., Kesemen, T. and Khaniyev, T. (2018). On the moments for ergodic distribution of an inventory model of type (s, S) with regularly varying demands having infinite variance. *TWMS Journal of Applied and Engineering Mathematics*, 8 (1a), 318-329. Available at: <http://jaem.isikun.edu.tr/web/index.php/archive/98-vol8no1a/349>

- Borovkov, A.A.,(1984) Asymptotic Methods in Queuing Theory, John Wiley, New York.
- Brown, M. and Solomon, H.A. (1975). Second order approximation for the variance of a renewal reward process and their applications. *Stochastic Processes and their Applications* 3, 301-314.
DOI: [https://doi.org/10.1016/03044149\(75\)90029-0](https://doi.org/10.1016/03044149(75)90029-0)
- Chen, F. and Zheng, Y.S. (1997). Sensitivity analysis of an (s,S) inventory model. *Operation Research and Letters*, 21, 19-23. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0167-6377\(97\)00019-9](https://doi.org/10.1016/S0167-6377(97)00019-9)
- Csenki, A. (2000). Asymptotics for renewal-reward processes with retrospective reward structure. *Operation Research and Letters*, 26, 201-209. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0167-6377\(00\)00035-3](https://doi.org/10.1016/S0167-6377(00)00035-3)
- Feller, W. (1971). Introduction to probability theory and its applications II, John Wiley, New York.
- Geluk, J. L., de Haan, L. (1981). Regular variation, extensions and Tauberian theorems, CWI Track 40 Amsterdam.
- Geluk, J.L. (1997). A Renewal Theorem in the finite-mean case. *Proceedings of the American Mathematical Society*, 125(11), 3407-3413. DOI: <http://www.jstor.org/stable/2162415>.
- Gikhman, I. I. and Skorohod, A. V. (1975). Theory of Stochastic Processes II. Berlin: Springer.
- Hanalioglu, Z., Khaniyev, T. (2019). Limit theorem for a semi - Markovian stochastic model of type (s,S). *Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics*, 48(2), 605-615. DOI: <https://doi.org/10.15672/HJMS.2018.622>
- Kesemen, T., Bektaş K.A., Küçük, Z. and Şenol E. (2016). Inventory model of type (s,S) with sub-exponential Weibull distributed demand. *Journal of the Turkish Statistical Association*, 9(3), 81-92.
DOI: <https://dergipark.org.tr/en/pub/ijtsa/issue/40955/494648>
- Khaniyev, T. and Aksop, C. (2011). Asymptotic results for an inventory model of type (s,S) with generalized beta interference of chance. *TWMS J.App.Eng.Math.*, 2, 223-236. Available at: https://dergipark.org.tr/en/pub/twmsjaem/issue/55716/761800#article_cite
- Khaniyev, T., Kokangul, A. and Aliyev, R. (2013). An asymptotic approach for a semi-Markovian inventory model of type (s,S). *Applied Stochastic Models in Business and Industry*, 29:5, 439-453.
<https://doi.org/10.1002/asmb.1918>
- Levy, J.B. and Taquq, M.S. (2000). Renewal reward processes with heavy-tailed inter-renewal times and heavy tailed rewards. *Bernoulli*, 6, 23-44. <https://doi.org/10.2307/3318631>.
- Mitov K.V. and Omev E. (2014). Intuitive approximations for the renewal function. *Statistics and Probability Letters*, 84, 72-80. <https://doi.org/10.1016/j.spl.2013.09.030>
- Nasirova, T. I., Yapar, C., & Khaniyev, T. A. (1998). On the probability characteristics of the stock level in the model of type (s, S). *Cybernetics and System Analysis*, 5, 69-76.
- Smith, W. L. (1959). On the cumulants of renewal process, *Biometrika*, 46, 1–29. <https://doi.org/10.2307/2332804>



Journal of Turkish Operations Management

Geliştirilmiş bulanık SWARA ve bulanık CODAS yöntemleriyle tesis yeri seçimi: İmalat sektöründe bir uygulama

Bilge Nur Peker ^{1*}, Ali Görener ²

¹Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
e-mail: bilgenurpeker@gmail.com, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-5364-3953>

²İşletme Fakültesi, İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
e-mail: agorener@ticaret.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0001-6000-5143>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 07.12.2022
Revize: 19.01.2023
Kabul: 21.03.2023

Anahtar Kelimeler:

İmalat sektörü,
Tesis yeri seçimi,
Geliştirilmiş bulanık SWARA,
Bulanık CODAS

Özet

Fabrika, depo gibi tesisler kuruldukları andan itibaren işletmeyi artık o bölgenin tüm koşullarına bağlı kılmaktadırlar. Yanlış bir karar, uzun yıllar sürecek problemleri beraberinde getirebilmektedir. Bu nedenle, birçok kriteri içerisinde barındıran yer seçimi süreci oldukça önemlidir. Makalemizde, kompozit pervane imalatı gerçekleştiren bir işletmenin, yeni tesis yerinin belirlenebilmesi için bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Kriter ağırlıklarının belirlenmesinde Geliştirilmiş Bulanık Adım Adım Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi (GB-SWARA), alternatiflerin değerlendirilmesinde ise Bulanık Birleştirilebilir Uzaklık Tabanlı Değerlendirme Yöntemi (B-CODAS) yöntemleri kullanılmıştır.

Facility location selection with improved fuzzy SWARA and fuzzy CODAS methods: An application in the manufacturing industry

Article Info

Article History:

Received: 07.12.2022
Revised: 19.01.2023
Accepted: 21.03.2023

Keywords:

Manufacturing industry,
Facility location selection,
Improved Fuzzy SWARA,
Fuzzy CODAS

Abstract

Facilities such as factories and warehouses are now dependent on all the conditions of that region as soon as they are established. A wrong decision can cause problems that last for years. As a result, this selection process, which includes numerous criteria, is critical. In our paper, we demonstrate a study that was conducted to determine the new facility location of a company that manufactures composite rotor blades. To determine criterion weights, an Improved Fuzzy Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis (IMF-SWARA) method was used, and Fuzzy Combinative Distance-based Assessment (F-CODAS) methods were utilized to evaluate alternative locations.

1. Giriş

Tesis yeri; işletmenin uzun dönemde amaçlarını gerçekleştirebileceği, en düşük maliyet ve en yüksek kârı sağlayabileceği alan olarak ifade edilmektedir (Ar, Baki ve Özdemir, 2014). Tesis yeri seçimi, bir firmanın operasyonları gerçekleştirebilmesi için belirli kriterler dikkate alınarak, gerekli coğrafi alanın belirlenmesidir (Nacar ve Erdebili, 2021). Tesis yeri seçimi problemi, işletmeler için oldukça önemli olan ve literatürde en fazla karşılaşılan problemlerden birisidir (Pourrezaie-Khaligh, Bozorgi-Amiri, Yousefi-Babadi ve Moon, 2022). Yer seçimi sadece ilk defa kurulan işletmeler için değil, yeni tesis kurmak kararı veren firmalar içinde önemli bir gündem maddesidir (Chithambaranathan, Rajkumar, Prithiviraj ve Palpandi, 2022). Tesis yeri bir kez seçildiğinde

ve tedarik zinciri kurgulandığında müşteri hizmet seviyesini, kaliteyi, verimliliği ve maliyeti doğrudan etkilemektedir. Tesisin uygun olmayan şekilde seçilmesinin telafi edilmesi zor olan sonuçları bulunmaktadır. Tesis yeri olarak seçilecek alternatiflerin, uygun yöntemlerle dikkatlice incelenmesi, büyük ekonomik ve sosyal öneme sahiptir (Liu, Huang ve Shao, 2022).

Çok kriterli karar verme (ÇKKV), bir karar sürecine yardım etmek için, çok sayıda nicel ve nitel kriterlerin belirlenmesini sağlayarak farklı ağırlıklardaki kriterlere göre, farklı özelliklere sahip alternatiflerden bir ya daha fazla seçeneği değerlendirmek, sıralamak ya da sınıflandırmak için gerekli metotlar topluluğudur (Özbek, 2019; Yenilmez ve Ertuğrul, 2022). ÇKKV yöntemleri; yöneticilere destek olabilecek ve seçenekleri değerlendirme sürecini kolaylaştırabilecek güvenilir ve birden fazla boyutu hesaba katabilen karar verme araçlarıdır. ÇKKV yaklaşımları, dikkate alınacak kriterlerin önem derecelerinin belirlenmesi ve potansiyel alternatiflerin öncelik sıralanması olmak üzere, genellikle iki kısımda karar verme sürecini kolaylaştırmaktadır (Torkayesh ve Simic, 2022).

Net rakamlarla ifade edilmesi zor ve sübjektif özellikli kriterlerin var olduğu tesis yeri seçimi problemlerinin çözümlenmesinde çoğunlukla dilsel terimlerle değerlendirmeye başvurulmaktadır (Chithambaranathan ve diğ., 2022). Bu çalışmada tesis yeri seçim probleminde dikkate alınacak kriterlerin ağırlıkları Geliştirilmiş Bulanık SWARA (GB-SWARA) yöntemiyle tespit edilmiştir. GB-SWARA; klasik SWARA yönteminin bulanık mantık ile bütünleştirilerek, eksiklerinin giderildiği ve belirsizlik içeren karar problemlerinde kullanılacak bir hale getirilmiş versiyonudur. Yöntem, karar vericilerin kriter değerlendirme sürecinde kendi önceliklerini belirlemelerine olanak tanımaktadır (Akpınar, 2022). Göreceli yeni bir yöntem olarak, daha az hesaplama işlemi içerdiği ve maksimum düzeyde tutarlı olduğundan, ek bir tutarlılık analizi gerektirmemektedir (Görçün, Zolfani ve Çanakçıoğlu, 2022). Alternatif lokasyonların değerlendirilmesinde ise Bulanık CODAS (B-CODAS) metodu kullanılmıştır. CODAS metodu uzaklık bazlı bir hesaplama sistematigi ile etkili bir analize imkân verebilmektedir (Aro, Selerio, Evangelista, Maturan, Atibing ve Ocampo, 2022). CODAS yönteminin bulanık uzantısı, belirsiz bir ortamda çok kriterli karar verme problemleriyle başa çıkmak için ilk olarak Ghorabae, Amiri, Zavadskas, Hooshmand ve Antuchevičienė (2017) tarafından geliştirilmiştir. Bulanık CODAS yöntemi ile alternatifler değerlendirilirken, kesin uzaklıklar yerine bulanık ağırlıklı Hamming uzaklığı ve bulanık ağırlıklı Öklid uzaklığı dikkate alınmaktadır (Katrancı ve Kundakcı, 2020). Literatürde her iki metodun birlikte olduğu çalışma sayısının sınırlı olmasının (Maghsoodi, Maghsoodi, Poursoltan, Antucheviciene ve Turskis; Ulutaş, 2020) yanı sıra, metotların bulanık mantık uzantılarının birlikte kullanıldığı çok az sayıda çalışmaya (Gorcun, Senthil ve Küçükönder, 2021; Keleş, Özdağoğlu ve Işıldak, 2021) rastlanılmıştır. Bu çalışma kapsamında gerçek dünyadan bir tesis yeri seçimi problemini ele alınarak, hem benzer problemleri olan işletmelere yol göstermek hem de literatüre katkı sunmak amaçlanmıştır.

2. Tesis Yeri Seçimi

Tesis yeri seçimi, bir işletmenin faaliyetleri için kullanmayı hedeflediği coğrafi alanı belirleme sürecidir (Krajewski, Ritzman ve Malhotra, 2010). Endüstri firmaları için tesis yeri; tedarik, üretim, depolama, dağıtım gibi fonksiyonları ve bunlara bağlı ekonomik amaçlarını gerçekleştirebilecekleri en uygun yer olarak tanımlanmaktadır (Güneş, 2019). Tesis yeri seçimi; sık tekrarlanmayan, fonksiyonlar arası bir karar verme problemidir (Kumar ve Kumanan, 2011). Aynı zamanda firmanın operasyonları için bir coğrafi alanın belirlenmesidir (Ertuğrul ve Karakaşoğlu, 2008). Alternatif yerler arasından, en uygun olanının seçilmesi olarak da tanımlanmaktadır (Soyşekerci ve Erturgut, 2011). Tesis yeri seçimi, firmaların uzun vadeli stratejik kararlarından biridir ve pazar rekabetinde firmaların başarısı üzerinde derin bir etkiye sahiptir. Bu nedenle tesis yeri seçimi, çoklu kriterlerin karşılanmasını gerektiren kritik ve karmaşık bir stratejik karardır (Karande ve Chatterjee, 2018). Kötü bir tesis yeri seçimi; aşırı nakliye maliyetlerine, nitelikli iş gücü sıkıntısına, rekabet avantajının kaybolmasına, yetersiz hammadde tedarikine veya operasyonlara zarar verebilecek koşullara neden olabilmektedir (Gao, Yoshimoto ve Ohmori, 2010). Bu durum firmaların maliyet giderlerinin yüksekliği sebebiyle diğer firmalarla rekabet edemez duruma gelmesine neden olmaktadır (Mucuk, 2018). Tesis yeri seçimi, niceliksel ve niteliksel kriterleri içeren ÇKKV problemidir (Chakraborty, Kumar ve Athawale, 2010). Seçim süreci tipik olarak dört ana aşamayı içermektedir. Birinci aşamada, yer alternatiflerini değerlendirmek için kullanılacak kriterlere karar verilir (Gao vd., 2010). İkinci aşamada, en uygun yeri bulmak için alternatiflerin ayrıntılı bir incelemesi sunulur ve önemli olan kriterler belirlenir (Chang, Parvathinathan ve Breeden, 2008). Üçüncü aşamada; kriterlerin, sayısal temele göre karşılaştırılması ve sayısal olmayan temele göre değerlendirilmesi gerekir (Güneş, 2019). Dördüncü ve son aşamada ise alternatifler değerlendirilip, bir seçim yapılır (Ertuğrul ve Karakaşoğlu, 2008). Tablo 1'de literatürde yer alan tesis yeri seçimiyle ilgili çalışmalar özetlenmiştir.

Tablo 1. Tesis yeri seçiminde ÇKKV yöntemleri kapsamında literatür özeti

Sıra	Yazarlar	Kullanılan Yöntemler	Araştırma Konusu
1	Aydınöglü ve diğ. (2005)	Sezgisel ağ tabanlı konum tahsis analiz algoritmaları	İtfaiye tesisleri yer seçimi
2	Yong (2006)	Bulanık TOPSIS	İmalat sektöründe tesis yeri seçimi
3	Chou ve diğ. (2008)	Bulanık AHP	Uluslararası turistik otel yeri seçimi
4	Tuzkaya ve diğ. (2008)	ANP	Atık tesisi için yer seçimi
5	Ertuğrul ve Karakaşoğlu (2008)	Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS	Tekstil sektörü için fabrika yeri seçimi
6	Kuo ve Liang (2011)	Bulanık ANP	Dağıtım merkezi yeri seçimi
7	Dağ ve Önder (2013)	AHP ve VIKOR	Etiket üreticisi bir firmanın tesis yeri seçimi
8	Ar ve diğ. (2014)	Bulanık AHP ve Bulanık VIKOR	Otel yeri seçimi
9	Dey ve diğ. (2016)	Bulanık TOPSIS, Bulanık SAW Bulanık MOORA	Depo yeri seçimi
10	Yaşlıoğlu ve Önder (2016)	AHP ve TOPSIS	Plastik eşya üreticisi bir firmanın fabrika yeri seçimi
11	Hanine ve diğ. (2016)	Bulanık TODIM ve Bulanık AHP	Depolama alanı yer seçimi
12	Sennaroglu ve Celebi (2018)	AHP, PROMETHEE ve VIKOR	Askeri havaalanı yer seçimi
13	Cedolin ve diğ. (2018)	Bulanık Veri Zarflama ve Bulanık Hedef Programlama	Plastik enjeksiyon fabrikası yer seçimi
14	Aytekin (2018)	İkili Ölçekleme ve AHP	Kereste fabrikası yer seçimi
15	Wang ve diğ. (2018)	Bulanık AHP – TOPSIS	Rüzgâr santrali yer seçimi
16	Rahman ve diğ. (2018)	AHP	Plastik imalat firmasının tesis yeri seçimi
17	Yeşilkaya (2018)	AHP, TOPSIS ve PROMETHEE	Kâğıt fabrikası yer seçimi
18	Yücenur ve diğ. (2019)	SWARA ve COPRAS	Biyogaz üretim tesisi yer seçimi
19	Karagoz ve diğ. (2020)	Sezgisel Bulanık CODAS, WASPAS ve TOPSIS	Ömrünü tamamlamış araçlar için sökülme merkezi yer seçimi
20	Kaul ve diğ. (2020)	Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS	İmalat firmasının tesis yeri seçimi
21	Seker ve Aydın (2020)	Aralık Değerli Pisagor Bulanık Entropi ve TOPSIS	Hidrojen enerjisi üretim tesisi yer seçimi
22	Karaşan ve diğ. (2020)	Sezgisel Bulanık DEMATEL, Sezgisel Bulanık AHP ve Sezgisel Bulanık TOPSIS	Elektrikli araç şarj istasyonu yer seçimi
23	Kannan ve diğ. (2020)	BWM, Gri İlişkisel Analiz, VIKOR ve Monte Carlo Simülasyonu	Güneş enerjisi sitesi yer seçimi
24	Türk ve Özkök (2020)	Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS	Tersane yeri seçimi
25	Nacar ve Erdebilli (2021)	Katmanlı ÇKKV ve TOPSIS	Savunma sanayi firması yer seçimi
26	Karagöz ve diğ. (2021)	Aralıklı Tip-2 Bulanık ARAS	Ömrünü tamamlamış araçlar için geri dönüşüm tesisi yer seçimi
27	Simic ve diğ. (2021)	Bulanık (Picture) CODAS	Araç parçalama tesisi yer seçimi
28	Kieu ve diğ. (2021)	Küresel Bulanık AHP ve CoCoSo	Dağıtım merkezi yer seçimi
29	Durak ve diğ. (2021)	AHP ve TOPSIS	Teknopark tesisi yer seçimi
30	Tripathi ve diğ. (2021)	CBS Tabanlı AHP ve Bulanık AHP	Hastane yeri seçimi
31	Suman ve diğ. (2021)	AHP ve Bulanık AHP	Mobilya endüstrisi tesis yeri seçimi
32	Deveci ve diğ. (2021)	Hiyerarşik BWM ve Tip-2 Nötrosofik CODAS	Lityum iyon pili yeniden üretim tesisi yer seçimi
33	Kabadayı ve Esen (2021)	Gri TOPSIS	Depo yeri seçimi
34	Nong (2021)	ANP ve TOPSIS	Dağıtım merkezi yer seçimi
35	Feng ve diğ. (2021).	DEMATEL, Entropi ve WASPAS	Geri dönüştürülebilir atık taşıma aracı park merkezleri yer seçimi
36	Miç ve Antmen (2021)	TOPSIS, WASPAS ve MOORA	Üniversite yeri seçimi
37	Torkayesh ve Simic (2022)	Hiyerarşik BWM, CoCoSo ve WASPAS	Sağlık merkezlerinin plastik atıklarının geri dönüşüm tesisi yer seçimi
38	Xuan ve diğ. (2022)	SWARA, WASPAS, COPRAS, EDAS ve WSM	Güneş enerjili hidrojen üretimi tesis yeri seçimi
39	Effatpanah ve diğ. (2022)	SAW, TOPSIS, ELECTRE, VIKOR ve COPRAS	Temiz enerji tesisi yer seçimi
40	Terme ve diğ. (2022)	Bulanık AHP ve Bulanık VIKOR	İmalat firmasının tesis yeri seçimi
41	Asori ve diğ. (2022)	CBS tabanlı WLC ve AHP	Depolama alanlarına ilişkin yer seçimi

3. Kullanılan Yöntemler

3.1. Geliştirilmiş Bulanık SWARA

SWARA metodu, kriterlerin veya alternatiflerin tercih sırasına dizilerek, arda arda gelen seçenekler arasındaki ilişkinin göreceli önem değerlerinin belirlenmesine dayanmaktadır (Keršuliene, Zavadskas ve Turskis, 2010). Uzman görüşleri kapsamında değerlendirmeler çerçevesinde her bir kriterin önem ağırlıklarının tutarlı bir şekilde elde edilebilmesi söz konusudur (Moniri, Tabriz, Ayough ve Zandieh, 2021). Klasik SWARA metodu kullanılarak kesin olmayan bilgileri içeren karar problemlerini çözmek mümkün olmadığından, Bulanık SWARA metodu kullanılabilir (Mavi, Goh ve ZARBakhshnia, 2017; Ghasemian Sahebi, Arab ve Toufighi, 2020).

Bulanık SWARA yöntemi, basit ve anlaşılması kolay bir yöntemdir. Ayrıca AHP, ANP ve BWM yöntemlerine kıyasla daha az ikili karşılaştırmaya sahip olduğu bilinmektedir (Alvand, Mirhosseini, Ehsanifar, Zeighami ve Mohammadi, 2021). Bulanık SWARA yönteminin mevcut haliyle, karar vericilerin bazı kriterlere eşit önem vermesi mümkün olamamaktadır. Ancak Vrtagić, Softić, Subotić, Stević, Dorđević ve Ponjavic (2021) tarafından önerilen, Geliştirilmiş Bulanık SWARA (GB-SWARA) ile değerlendirme ölçeği sorunu çözülmüş ve daha gerçekçi sonuçlar elde edilebilmiştir. Uzman görüşlerinin daha doğru yansıtılmasını sağlayan geliştirilmiş yöntem henüz az sayıda çalışmada kullanılmıştır (Singh, Upadhyay ve Powar, 2022; Vojinović, Stević ve Tanackov, 2022). GB-SWARA kullanarak kriterlerin göreceli ağırlıklarını hesaplama adımlar şu şekilde ifade edilebilir (Vrtagić ve diğ., 2021):

Adım 1-Kriterleri beklenen önemlerine göre azalan düzende sıralama: Karar vericilerin dikkate aldığı değerlendirme kriterleri, önem derecelerine göre sıralanmakta ve en önemli kriter ilk sıraya, en az önemli kriter ise son sıraya atanmaktadır.

Adım 2-Her bir kriterin göreceli önem oranının belirlenmesi: İkinci ölçütten son ölçüte kadar Tablo 2'de gösterilen dilsel terimler kullanılarak, önceki ölçüt (S_j) ile ilgili j ölçütü için göreceli önem oranı (S_j) belirlenmektedir. Tüm karar vericilerden " S_j " değerleri toplandıktan sonra, aritmetik ortalama kullanılarak göreceli önem oranının (S_j) toplanması ile elde edilmektedir. Burada $S_j = (\tilde{S}_j^l, \tilde{S}_j^m, \tilde{S}_j^r)$ olarak ifade edilmektedir

Tablo 2. GB-SWARA için dilsel ifadelerin üyelik fonksiyon değerleri (Vrtagić ve diğ., 2021)

Dilsel İfadeler	Bulanık Sayı Değerleri
Kesinlikle daha az önemli (ALS)	(1,1,1)
Ağırlıklı olarak daha az önemli (DLS)	(1/2,2/3,1)
Çok daha az önemli (MLS)	(2/5,1/2,2/3)
Gerçekten daha az önemli (RLS)	(1/3,2/5,1/2)
Daha az önemli (LS)	(2/7,1/3,2/5)
Orta derecede daha az önemli (MDLS)	(1/4,2/7,1/3)
Zayıf derecede daha az önemli (WLS)	(2/9,1/4,2/7)
Eşit derecede önemli (ES)	(0,0,0)

Adım 3-Katsayının elde edilmesi: (1) numaralı denklem kullanılarak her bir kriter için karşılaştırmalı önem katsayısı (\tilde{k}_j) hesaplanmaktadır.

$$\tilde{k}_j = \begin{cases} \tilde{1} & j = 1 \\ \tilde{s} + \tilde{1} & j > 1 \end{cases} \quad (1)$$

Adım 4-Bulanık yeniden hesaplanmış ağırlıkların elde edilmesi: (2) numaralı denklem kullanılarak, yeniden hesaplanan ağırlık faktörleri olan " \tilde{q}_j " değeri bulunur.

$$\tilde{q}_j = \begin{cases} \tilde{1} & j = 1 \\ \frac{\tilde{q}_{j-1}}{\tilde{k}_j} & j > 1 \end{cases} \quad (2)$$

Adım 5-Her j kriterinin nihai görelî bulanık ağırlığının hesaplanması: Kriterlerin görelî önem ağırlıkları, (3) numaralı denklem kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\tilde{w}_j = \frac{\tilde{q}_j}{\sum_{k=1}^n \tilde{q}_k} \quad (3)$$

Kriterlerin görelî ağırlıklarını “ \tilde{w}_j ” sembolü temsil etmektedir. Kriter numarası ise “n” sembolüyle gösterilmektedir.

Adım 6-Bulanık göreceli önem ağırlıklarını durulaştırma: Alan merkezi yöntemi kullanılarak; bulanık göreceli önem ağırlıkları (w_j), (4) numaralı denklemde gösterildiği şekilde bulanık olmayan değere (net değer) dönüştürülebilmektedir (Ansari, Kant, Shankar vd., 2020).

$$w_j = \frac{1}{3} \tilde{w}_j = \frac{1}{3} (\tilde{w}_j^l + \tilde{w}_j^m + \tilde{w}_j^r) \quad (4)$$

Burada w_j, j kriterinin durulaştırılmış görelî bulanık ağırlıklarını göstermektedir.

3.2. Bulanık CODAS

CODAS yöntemi 2016 yılında Ghorabae, Zavadskas, Turskis ve Antucheviciene tarafından geliştirilmiştir. Yöntemde bir alternatifin performans skoru, negatif ideal çözüme olan Öklid ve Taxicab uzaklıkları kullanılarak tespit edilmektedir. Hassas sonuçlar elde edilebilmesini sağlayan güçlü bir yöntemdir (Ecer, 2020). Bulanık CODAS (B-CODAS) yönteminde CODAS yönteminden farklı olarak, bulanık tabanlı Öklid ve bulanık tabanlı Hamming mesafeleri kullanılmaktadır (Yalçın ve Pehlivan, 2019). Ghorabae ve diğ. (2017) net mesafeler yerine bulanık tabanlı Öklid ve bulanık tabanlı Hamming mesafelerini kullanarak B-CODAS yöntemini geliştirmişlerdir. Tablo 3’te B-CODAS yönteminde kullanılan dilsel ifadeler ve üçgensel bulanık sayı değerleri görülmektedir.

Tablo 3. Bulanık CODAS yönteminde dilsel ifadelerin üyelik fonksiyon değerleri (Chen, 2000)

Dilsel İfadeler	Bulanık Sayı Değerleri
Çok zayıf (VP)	(0,0,1)
Zayıf (P)	(0,1,3)
Orta zayıf (MP)	(1,3,5)
Orta (F)	(3,5,7)
Orta iyi (MG)	(5,7,9)
İyi (G)	(7,9,10)
Çok iyi (VG)	(9,10,10)

Alternatiflerin “n”, kriterlerin “m” ve karar vericilerin “q” olduğunu ifade ettiğimizde, B-CODAS yöntemi aşağıda verilen dokuz adımda açıklanmaktadır.

Adım 1: Her bir karar vericinin bulanık karar matrisi (\tilde{X}_l), (5) numaralı denklemde gösterildiği şekilde oluşturulur ve ortalama bulanık karar matrisi (\tilde{X}) (6) numaralı denklemde gösterildiği şekilde hesaplanır (Ghorabae ve diğ., 2017).

$$\tilde{X}_l = [\tilde{x}_{ijl}]_{n \times m} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11l} & \tilde{x}_{12l} & \cdots & \tilde{x}_{1ml} \\ \tilde{x}_{21l} & \tilde{x}_{22l} & \cdots & \tilde{x}_{2ml} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{x}_{n1l} & \tilde{x}_{n2l} & \cdots & \tilde{x}_{nml} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\tilde{X} = [\tilde{x}_{ij}]_{n \times m} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \cdots & \tilde{x}_{1m} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \cdots & \tilde{x}_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{x}_{n1} & \tilde{x}_{n2} & \cdots & \tilde{x}_{nm} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\tilde{x}_{ij} = \bigoplus_{l=1}^q \tilde{x}_{ijl} \quad (7)$$

(7) numaralı denklemde \tilde{x}_{ijl} , i . alternatifin ($i \in \{1, 2, \dots, n\}$) j . kriter ($j \in \{1, 2, \dots, m\}$) ve l . ($l \in \{1, 2, \dots, q\}$) karar vericisine göre bulanık performans değerini, \tilde{x}_{ij} ise j . kritere göre i . alternatifin ortalama bulanık performans değerini göstermektedir (Yalçın ve Pehlivan, 2019).

Adım 2: Her bir karar vericiden her bir kriterin bulanık ağırlıkları alınır ve ortalama bulanık ağırlıklar (8) numaralı denklemde gösterildiği şekilde hesaplanır (Ghorabae ve diğ., 2017).

$$\tilde{W}_l = [\tilde{w}_{jl}]_{1 \times m} \quad (8)$$

$$\tilde{W} = [\tilde{w}_j]_{1 \times m} \quad (9)$$

$$\tilde{w}_j = \bigoplus_{l=1}^q \tilde{w}_{jl} \quad (10)$$

Denklemlerde \tilde{w}_{jl} , j . kriter'in l . karar vericiye göre bulanık ağırlığını göstermekte ve \tilde{w}_j ise j . kriterin ortalama bulanık ağırlığını belirtmektedir (Yalçın ve Pehlivan, 2019).

Adım 3: (11) numaralı denklem kullanılarak her bir kriterin tipine göre, bulanık normalleştirilmiş karar matrisi belirlenir (Ghorabae ve diğ., 2017).

$$\tilde{N} = [\tilde{n}_{ij}]_{n \times m} \quad (11)$$

$$\tilde{n}_{ij} = \begin{cases} \tilde{x}_{ij} / \max_i D(\tilde{x}_{ij}) & j \in B \\ 1 - (\tilde{x}_{ij} / \max_i D(\tilde{x}_{ij})) & j \in C \end{cases} \quad (12)$$

(12) numaralı denklemde B ve C , sırasıyla fayda ve maliyet kriterleri kümelerini temsil etmekte ve \tilde{n}_{ij} normalleştirilmiş bulanık performans değerlerini belirtmektedir (Yalçın ve Pehlivan, 2019).

Adım 4: Bu adımda bulanık ağırlıklı normalleştirilmiş karar matrisi hesaplanmaktadır. Bulanık ağırlıklı normalleştirilmiş performans değerleri (\tilde{r}_{ij}), (13) numaralı denklemde gösterildiği şekilde elde edilebilmektedir (Ghorabae ve diğ., 2017).

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{n \times m} \quad (13)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \tilde{w}_j \otimes \tilde{n}_{ij} \quad (14)$$

(14) numaralı denklemde \tilde{w}_j , j . kriterin bulanık ağırlığını ve $0 < D(\tilde{w}_j) < 1$ 'i göstermektedir.

Adım 5: Bulanık negatif ideal çözümü, (15) numaralı denklemde gösterildiği şekilde oluşturulmaktadır.

$$\tilde{N}\tilde{S} = [\tilde{n}\tilde{S}_j]_{1 \times m} \quad (15)$$

$$\widetilde{nS}_j = \min_i \widetilde{r}_{ij} \quad (16)$$

(16) numaralı denklemde $\min_i \widetilde{r}_{ij} = \{\widetilde{r}_{kj} \mid D(\widetilde{r}_{kj}) = \min_i (D(\widetilde{r}_{ij}))\}$, $k \in \{1, 2, \dots, n\}$ olarak ifade edilmektedir (Ghorabae ve diğ., 2017).

Adım 6. Bu adımda bulanık negatif ideal çözüm kullanılarak alternatiflerin bulanık ağırlıklı Öklid (ED_i) ve bulanık ağırlıklı Hamming (HD_i) uzaklıkları hesaplanır. Bu değerlerin hesaplanması için (17) ve (18) numaralı denklemler kullanılmıştır (Yalçın ve Pehlivan, 2019).

$$ED_i = \sum_{j=1}^m d_E(\widetilde{r}_{ij}, \widetilde{nS}_j) \quad (17)$$

$$HD_i = \sum_{j=1}^m d_H(\widetilde{r}_{ij}, \widetilde{nS}_j) \quad (18)$$

Adım 7. (19) ve (20) numaralı denklemler kullanılarak bağıl değerlendirme matrisi (RA) belirlenir (Ghorabae ve diğ., 2017).

$$RA = [p_{ik}]_{n \times n} \quad (19)$$

$$p_{ik} = (ED_i - ED_k) + (t(ED_i - ED_k) \times (HD_i - HD_k)) \quad (20)$$

Burada $k \in \{1, 2, \dots, n\}$ ve t değeri eşik değer olup (21) numaralı denklem yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$t(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } |x| \geq \theta \\ 0 & \text{if } |x| < \theta \end{cases} \quad (21)$$

Bu fonksiyonun eşik değeri (θ) karar verici tarafından atanabilmektedir. Bu çalışmada literatür baz alınarak $\theta=0,02$ olarak hesaplanmıştır.

Adım 8. (22) numaralı denklem kullanılarak her bir alternatifin değerlendirme puanı (AS_i) hesaplanır (Yalçın ve Pehlivan, 2019).

$$AS_i = \sum_{k=1}^n p_{ik} \quad (22)$$

Adım 9. En yüksek değerlendirme puanına sahip alternatif, problemin çözümü kapsamındaki en uygun seçenek olarak ifade edilmektedir.

4. Uygulama

İmalat sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın fabrika yerinin seçilmesi, uygulamanın ana çerçevesini oluşturmaktadır. Firma, seri üretime geçmek ve üretim kapasitesini arttırmak istediğinden dolayı daha geniş bir alana ihtiyaç duymakta ve bu nedenle fabrika kurmak istemektedir. Firma 2018 yılında TÜBİTAK'ın teknoloji girişim sermaye desteği ile kompozit pervane alanında beş yıldan fazla bir süreden beri faaliyet gösteren ekibin bir araya gelmesiyle ticari hayatına İstanbul'da başlamıştır. Firma, genç ve hızlı büyüyen bir start-up şirkettir. Savunma sanayii, havacılık ve denizcilik sektöründe modern teknolojiler üretmek için kurulmuştur. Misyonu; yerli, milli ve yenilikçi tasarım içeren projeler yapmaktır. İşletme mevcut üretim tesislerinde; insansız hava araçları için karbon fiber, ahşap ve plastik malzemelerden üretilen pervaneler, havalandırma ve tekne pervaneleri, karbon levha ve boru, 250-1500 milimetre çap aralığında hava aracı pervanesi, 1-12 kW güçlerinde tekne pervanesi ürünlerinin üretimini yapmaktadır.

Çalışma kapsamında öncelikle, dokuz kişiden oluşan uzman karar verme grubu kurulmuştur. Grup üyeleri ile yüz yüze görüşmeler yapılmış ve literatürde yer alan kriterlerin açıklamaları detaylıca sunulmuştur. Çalışma için değerlendirilecek alternatifler ise firma yönetimi tarafından belirlenmiş olup İstanbul ve Kocaeli illerinde yer almaktadır. Alternatifler; A1 (Bayrampaşa), A2 (Esenyurt), A3 (Gebze), A4 (İkitelli), A5 (Teknopark İstanbul), A6 (Tuzla) ve A7 (YTÜ-Teknopark) olarak tanımlanmıştır.

Tablo 4'te karar verme grubu üyelerinin mesleği, deneyimi ve uzmanlık alanları detaylandırılmıştır.

Tablo 4. Karar vericilere ait bilgiler

Karar Verici	Deneyim (yıl)	Mesleği	Uzmanlık Alanı
KV ₁	8	İşletme Yöneticisi	İşletme Organizasyonu, Ürün Yaşam Döngüsü
KV ₂	8	İşletme Yöneticisi	Üretim Planlama, İş Geliştirme
KV ₃	13	İşletme Yöneticisi	Üretim Planlama, Kalite Kontrol, Ürün Yaşam Döngüsü
KV ₄	2	Mimar	Üretim Planlama, Tedarik Zincirleri
KV ₅	35	Endüstri Mühendisi	Personel Yönetimi, Kalite Yönetimi
KV ₆	2	Gemi Y. Mühendisi	Ürün Yaşam Döngüsü, Üretim Planlama
KV ₇	6	Gemi Y. Mühendisi	Pazarlama ve Satış, Personel Yönetimi
KV ₈	6	Mekatronik Y. Mühendisi	Tedarik Zincirleri, Personel Yönetimi, Üretim Planlama
KV ₉	7	Malzeme Y. Mühendisi	Ürün Yaşam Döngüsü, Kalite Yönetimi, Personel Yönetimi

Yer seçiminde kullanılacak kriterler ise literatür kapsamında tespit edilerek, karar verme grubunun da görüşleri doğrultusunda son halini almıştır. Coğrafi, çevre, ekonomik, sosyal ve teknik olmak üzere beş ana kriter kapsamında yirmi bir alt kriter mevcuttur. Tablo 5'te değerlendirme kriterleri ifade edilmiştir.

Tablo 5. Tesis yeri seçiminde kullanılan değerlendirme kriterleri

Kriter	Kısa Tanımı	Destekleyici Literatür	
C₁-Coğrafi			
C ₁₁	Enerji kaynaklarına yakınlık	Tesisin enerji kaynaklarına yakınlığını ve bu kapsamda enerjinin elde edilebilmesi için gerekli maliyeti ifade etmektedir.	Yaşhoğlu ve Önder (2016).
C ₁₂	Hammaddeye yakınlık	Hammadde tedarikçilerine yakınlık vurgulanmaktadır.	Yaşhoğlu ve Önder (2016), Cedolin ve diğ. (2018), Yücenur ve diğ., (2019).
C ₁₃	İklim	Tesisin çalışmasına etki edebilecek iklim şartlarını ifade etmektedir.	Kaul ve diğ., (2020), Seker ve Aydın (2020), Türk ve Özkök (2020).
C ₁₄	Müşterilere yakınlık	İşletmenin müşterilerine olan uzaklığı temsil etmektedir.	Yaşhoğlu ve Önder (2016), Suman ve diğ. (2021).
C ₁₅	Sanayi bölgelerine yakınlık	Tesisin endüstriyel bölgelere yakınlığını ifade etmektedir.	Dağ ve Önder (2013), Türk ve Özkök (2020).
C ₁₆	Ulaşım ağlarına yakınlık	Kara yolu, deniz yolu, hava yolu ve demir yolu ulaşımına yakınlığı kapsamaktadır.	Sennaroglu ve Celebi (2018), Durak ve diğ. (2021).
C₂-Çevre			
C ₂₁	Gürültü kirliliği	Bölgedeki gürültü kirliliğini ifade etmektedir.	Karagoz ve diğ. (2020, 2021); Simic ve diğ. (2021).
C ₂₂	Hava kirliliği	Bölgedeki hava kirliliğini ifade etmektedir.	Durak ve diğ. (2021), Deveci ve diğ., (2021).
C ₂₃	Karbon ayak izi	Karbon ayak izi bakımından avantajlı bir çevreye sahip olduğunu ifade etmektedir.	Torkayesh ve Simic (2022).
C₃-Ekonomik			
C ₃₁	Devlet teşvikleri	Devlet destek derecesi, sübvansiyonlar, arazi imtiyazları ve vergi teşvikleri.	Yaşhoğlu ve Önder (2016).
C ₃₂	İşletme ve bakım maliyetleri	İşletme maliyetleri ve bakım-onarıma harcanması gereken toplam maliyet.	Yaşhoğlu ve Önder (2016), Cedolin ve diğ. (2018), Yücenur ve diğ., (2019).
C ₃₃	Yatırım maliyeti	Projenin uygulanmasıyla ilgili maliyetler.	Yeşilkaya (2018), Kaul ve diğ., (2020), Türk ve Özkök (2020).
C₄-Sosyal			

C41	Çalışanlar için sosyal olanaklar	Sosyal yaşam alanlarının potansiyelini ifade edilmektedir.	Steyn ve Buys (2017), Aytekin (2018).
C42	İş gücü mevcudiyeti	Yeterli sayıda işçinin varlığını (mavi, beyaz yakalı vb.) ifade etmektedir.	Simic ve diğ. (2021).
C43	Topluluk yararı	Ortaya çıkabilecek iş sayısını ve kent için etkiyi ifade etmektedir.	Seker ve Aydın (2020).
C44	Toplumsal kabul	Toplumun işletmeye gösterdiği tutumdur.	Seker ve Aydın (2020), Kannan ve diğ. (2020), Karagöz ve diğ. (2021), Torkayesh ve Simic (2022).
C5-Teknik			
C51	Arazi genişleme potansiyeli	Tesisin genişleyebilme potansiyelini ifade etmektedir.	Sennaroglu ve Celebi (2018).
C52	Arazi gereksinimi	Lokasyonun ilk etapdaki arazi gereksinimini ne ölçüde karşıladığını belirtmektedir.	Torkayesh ve Simic (2022).
C53	Arazinin uygunluğu	Aday arazinin coğrafi uygunluğu olarak tanımlanmaktadır.	Karagoz ve diğ. (2020), Karagöz ve diğ. (2021).
C54	Ek depolama alanı	Firmanın; satış, üretim veya kullanım için ürün vb. depolayabileceği ek alan varlığını ifade etmektedir.	Karagoz ve diğ., 2020, Simic ve diğ., (2021).
C55	Trafik yoğunluğu	Bölgedeki trafik yoğunluğunu ifade etmektedir.	Yaşhoğlu ve Önder (2016), Sennaroglu ve Celebi (2018).

4.1. GB-SWARA Yöntemiyle Kriter Ağırlıklarının Tespiti

Öncelikle karar verme ekibinin kriterler kapsamındaki ayrı ayrı görüşleri alınmıştır. Tablo 6'da birinci karar vericinin ana kriterler ve alt kriterler kapsamındaki hesaplamaları sunulmuştur. Tüm karar vericiler için benzeri hesaplama sistemi uygulanmıştır.

Tablo 6. Birinci karar vericiye ait hesaplamalar

İfade	s_j	\tilde{k}_j	\tilde{q}_j	\tilde{w}_j	w_j
C3	0,000 0,000 0,000 1,000 1,000 1,000 1,000 1,000 1,000 1,000 1,000 0,297 0,310 0,327 0,312				
C5 WLS	0,222 0,250 0,286 1,222 1,250 1,286 0,778 0,800 0,818 0,231 0,248 0,268 0,249				
C1 MDLS	0,250 0,286 0,333 1,250 1,286 1,333 0,583 0,622 0,655 0,173 0,193 0,214 0,194				
C4 LS	0,286 0,333 0,400 1,286 1,333 1,400 0,417 0,467 0,509 0,124 0,145 0,167 0,145				
C2 RLS	0,333 0,400 0,500 1,333 1,400 1,500 0,278 0,333 0,382 0,083 0,103 0,125 0,104				
C13	0,000 0,000 0,000 1,000 1,000 1,000 1,000 1,000 1,000 1,000 1,000 0,267 0,280 0,296 0,281				
C11 WLS	0,222 0,250 0,286 1,222 1,250 1,286 0,778 0,800 0,818 0,207 0,224 0,242 0,224				
C14 WLS	0,222 0,250 0,286 1,222 1,250 1,286 0,605 0,640 0,669 0,161 0,179 0,198 0,179				
C16 MDLS	0,250 0,286 0,333 1,250 1,286 1,333 0,454 0,498 0,536 0,121 0,139 0,159 0,140				
C15 LS	0,286 0,333 0,400 1,286 1,333 1,400 0,324 0,373 0,417 0,086 0,104 0,123 0,105				
C12 RLS	0,333 0,400 0,500 1,333 1,400 1,500 0,216 0,267 0,312 0,058 0,075 0,093 0,075				
C23	0,000 0,000 0,000 1,000 1,000 1,000 1,000 1,000 1,000 1,000 1,000 0,404 0,413 0,424 0,414				
C21 WLS	0,222 0,250 0,286 1,222 1,250 1,286 0,778 0,800 0,818 0,315 0,330 0,347 0,330				
C22 MDLS	0,250 0,286 0,333 1,250 1,286 1,333 0,583 0,622 0,655 0,236 0,257 0,277 0,257				
C33	0,000 0,000 0,000 1,000 1,000 1,000 1,000 1,000 1,000 1,000 1,000 0,407 0,417 0,429 0,418				
C32 WLS	0,222 0,250 0,286 1,222 1,250 1,286 0,778 0,800 0,818 0,317 0,333 0,351 0,334				
C31 LS	0,286 0,333 0,400 1,286 1,333 1,400 0,556 0,600 0,636 0,226 0,250 0,273 0,250				

C ₄₂		0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,335	0,346	0,360	0,347
C ₄₁	WLS	0,222	0,250	0,286	1,222	1,250	1,286	0,778	0,800	0,818	0,261	0,277	0,295	0,277
C ₄₄	MDLS	0,250	0,286	0,333	1,250	1,286	1,333	0,583	0,622	0,655	0,196	0,215	0,236	0,216
C ₄₃	LS	0,286	0,333	0,400	1,286	1,333	1,400	0,417	0,467	0,509	0,140	0,162	0,183	0,162
C ₅₃		0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,297	0,310	0,327	0,312
C ₅₅	WLS	0,222	0,250	0,286	1,222	1,250	1,286	0,778	0,800	0,818	0,231	0,248	0,268	0,249
C ₅₁	MDLS	0,250	0,286	0,333	1,250	1,286	1,333	0,583	0,622	0,655	0,173	0,193	0,214	0,194
C ₅₂	LS	0,286	0,333	0,400	1,286	1,333	1,400	0,417	0,467	0,509	0,124	0,145	0,167	0,145
C ₅₄	RLS	0,333	0,400	0,500	1,333	1,400	1,500	0,278	0,333	0,382	0,083	0,103	0,125	0,104

Yapılan hesaplamalar sonucunda her karar verici için tüm ana ve alt kriterlerin önem dereceleri tespit edilmiştir. Karar vericilerin görüşlerini bütünleştirmek için, ortaya çıkan değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır (Ghorabae, Amiri, Zavadskas, Turskis ve Antuchevičienė, 2018; Alvand ve diğ., 2021). Elde edilen sonuçlar Tablo 7’de gösterilmiştir. Alt kriterlerin önem ağırlıkları, problemin bir sonraki aşamasında kullanılmak üzere üçgenel sayı olarak da ifade edilmiştir. Tesis yeri seçimindeki ana kriterlerin ortaya çıkan önem ağırlıkları incelendiğinde en fazla öneme sahip kriterin, ekonomik kriter olduğu ifade edilebilir. Alt kriterler bütünleşik olarak incelendiğinde ise en önemli beş kriterin; yatırım maliyeti, işletme ve bakım maliyetleri, devlet teşvikleri, karbon ayak izi ve arazi genişleme potansiyeli kriterleri olduğu görülmektedir.

Tablo 7. Kriterlerin Önem Ağırlıkları

Ana kriter	Ana kriter ağırlığı	Alt kriterler	Yerel ağırlık			Kriterin genel ağırlığı	Alt kriter sıralaması	
C ₁ -Coğrafi	0,221	C ₁₁	Enerji kaynaklarına yakınlık	0,032	0,039	0,047	0,039	12
		C ₁₂	Hammaddeye yakınlık	0,042	0,049	0,058	0,050	6
		C ₁₃	İklim	0,027	0,034	0,041	0,034	15
		C ₁₄	Müşterilere yakınlık	0,033	0,040	0,048	0,040	11
		C ₁₅	Sanayi bölgelerine yakınlık	0,021	0,027	0,034	0,028	21
		C ₁₆	Ulaşım ağlarına yakınlık	0,025	0,031	0,039	0,032	18
C ₂ -Çevre	0,149	C ₂₁	Gürültü kirliliği	0,037	0,045	0,055	0,046	9
		C ₂₂	Hava kirliliği	0,038	0,047	0,057	0,047	8
		C ₂₃	Karbon ayak izi	0,047	0,056	0,067	0,057	4
C ₃ -Ekonomik	0,292	C ₃₁	Devlet teşvikleri	0,071	0,081	0,092	0,082	3
		C ₃₂	İşletme ve bakım maliyetleri	0,093	0,102	0,114	0,103	2
		C ₃₃	Yatırım maliyeti	0,098	0,107	0,119	0,108	1
C ₄ -Sosyal	0,138	C ₄₁	Çalışanlar için sosyal olanaklar	0,026	0,033	0,041	0,033	16
		C ₄₂	İş gücü mevcudiyeti	0,036	0,044	0,054	0,044	10
		C ₄₃	Topluluk yararı	0,025	0,032	0,040	0,032	17
		C ₄₄	Toplumsal kabul	0,022	0,029	0,037	0,030	20
C ₅ -Teknik	0,204	C ₅₁	Arazi genişleme potansiyeli	0,045	0,052	0,062	0,053	5
		C ₅₂	Arazi gereksinimi	0,028	0,034	0,043	0,035	14
		C ₅₃	Arazinin uygunluğu	0,040	0,047	0,056	0,048	7
		C ₅₄	Ek depolama alanı	0,025	0,031	0,039	0,032	19
		C ₅₅	Trafik yoğunluğu	0,031	0,038	0,047	0,039	13

4.2. Bulanık CODAS Yöntemiyle Alternatiflerin Değerlendirilmesi

Çalışmanın bu kısmında yedi farklı alternatif lokasyonun uygunluğu analiz edilmiştir. Lokasyonlara ait veriler ışığında, mevcut karar verme grubu içerisinde alternatifler hakkında da ileri düzeyde bilgi sahibi olan altı kişilik bir alt grup, değerlendirmeler gerçekleştirmiştir. Karar vericiler tarafından oluşturulan sözel değerlendirmelerin üçgensel bulanık sayı karşılıkları (Tablo 3'te yer alan) kullanılarak ortalama bulanık karar matrisi oluşturulmuştur. Tablo 8'de aritmetik ortalama alınarak oluşturulmuş olan bulanık karar matrisi sunulmuştur.

Tablo 8. Ortalama Bulanık Karar Matrisi

Kriterler	Alternatifler																				
	A1			A2			A3			A4			A5			A6			A7		
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>
C ₁₁	3,7	5,7	7,5	3,3	5,3	7,3	6,0	7,8	9,0	6,0	7,7	8,7	4,7	6,5	8,0	5,7	7,7	9,0	5,2	6,7	8,0
C ₁₂	6,7	8,3	9,2	3,5	5,3	7,0	5,7	7,5	8,8	6,0	7,8	9,2	4,7	6,5	7,8	6,0	7,8	9,2	6,3	8,0	9,0
C ₁₃	3,7	5,7	7,5	2,7	4,7	6,7	2,7	4,7	6,7	2,8	4,7	6,7	3,2	5,0	6,8	2,5	4,2	5,8	3,7	5,7	7,3
C ₁₄	4,3	6,2	7,8	1,3	3,0	5,0	2,8	4,5	6,3	4,0	6,0	8,0	4,3	6,2	7,7	4,0	5,8	7,5	6,0	7,7	8,8
C ₁₅	4,0	5,5	6,8	2,8	4,5	6,2	4,2	6,0	7,7	6,7	8,3	9,2	3,0	5,0	7,0	4,5	6,3	7,8	3,8	5,3	6,7
C ₁₆	6,7	8,5	9,5	3,0	5,0	7,0	4,7	6,7	8,2	5,7	7,7	9,3	5,3	7,2	8,7	4,0	6,0	7,8	6,7	8,2	9,0
C ₂₁	2,5	4,2	5,8	3,3	5,2	6,8	6,7	8,3	9,2	4,3	6,2	7,8	7,3	8,7	9,2	6,3	7,8	8,8	6,7	8,0	8,7
C ₂₂	3,7	5,5	7,2	4,0	5,8	7,5	6,0	7,8	9,0	4,3	6,2	7,8	5,3	7,2	8,7	5,7	7,3	8,7	5,7	7,5	8,8
C ₂₃	4,7	6,7	8,5	4,0	6,0	7,7	4,3	6,3	8,0	4,0	6,0	7,7	6,7	8,5	9,7	5,3	7,0	8,2	5,7	7,7	9,2
C ₃₁	1,3	3,0	5,0	2,3	3,8	5,7	2,2	3,5	5,3	3,0	4,7	6,5	8,3	9,5	9,8	2,8	4,2	5,8	8,3	9,5	9,8
C ₃₂	5,7	7,7	9,2	6,0	7,8	9,0	6,7	8,5	9,7	7,0	8,7	9,5	6,7	8,2	9,2	7,3	8,8	9,7	6,3	8,0	9,2
C ₃₃	5,3	7,2	8,5	7,3	8,8	9,7	6,7	8,3	9,5	5,3	7,2	8,5	4,8	6,3	7,5	6,3	8,2	9,5	5,3	7,0	8,2
C ₄₁	3,2	5,0	6,8	1,0	2,2	4,0	2,3	4,3	6,3	3,2	5,0	7,0	7,0	8,7	9,7	3,2	4,8	6,5	6,7	8,5	9,7
C ₄₂	6,3	8,0	9,0	4,0	5,8	7,5	3,7	5,7	7,7	4,3	6,2	7,8	5,7	7,7	9,2	3,0	5,0	7,0	6,3	8,2	9,3
C ₄₃	1,8	3,7	5,7	1,8	3,3	5,2	3,8	5,3	6,7	3,0	5,0	6,8	5,7	7,5	8,8	6,0	7,7	8,8	5,8	7,3	8,3
C ₄₄	3,0	5,0	6,8	3,7	5,7	7,3	4,0	5,8	7,5	4,3	6,2	7,7	6,7	8,3	9,3	5,0	6,8	8,3	6,0	7,8	9,0
C ₅₁	2,0	3,3	5,0	4,8	6,5	8,0	5,3	7,3	8,8	2,8	4,5	6,2	2,0	3,5	5,3	5,7	7,5	8,8	1,5	2,7	4,3
C ₅₂	1,8	3,7	5,7	5,3	7,2	8,7	5,0	6,8	8,3	2,0	3,7	5,5	1,2	2,5	4,3	5,7	7,5	8,8	2,8	4,3	5,8
C ₅₃	4,5	6,3	7,8	5,0	7,0	8,5	6,3	8,2	9,3	4,3	6,3	8,0	6,7	8,3	9,5	7,0	8,5	9,3	6,0	7,8	9,2
C ₅₄	3,0	4,5	6,2	4,3	6,3	8,0	5,2	6,8	8,3	3,0	5,0	7,0	2,5	4,3	6,2	6,3	8,2	9,5	2,0	4,0	6,0
C ₅₅	2,7	4,3	6,2	3,2	5,0	6,8	5,3	7,3	9,0	3,7	5,5	7,2	6,3	8,2	9,3	5,3	7,2	8,7	5,7	7,5	9,0

Bulanık CODAS uygulaması kapsamında, çalışmamızdaki tüm kriterler fayda kriteri mantığında değerlendirildiğinden (Katrancı ve Kundakcı, 2020), eşitlik (10) kullanılarak normalize bulanık karar matrisi elde edilmiştir (Tablo 9).

Tablo 9. Normalize bulanık karar matrisi

Alternatifler		Kriterler											
		C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅	C ₁₆	C ₂₁	C ₂₂	C ₂₃	C ₃₁	C ₃₂	C ₃₃
A1	<i>l</i>	0,50	0,95	0,63	0,87	0,65	0,95	0,43	0,51	0,61	0,27	0,62	0,71
	<i>m</i>	0,77	1,19	0,97	1,23	0,89	1,21	0,71	0,77	0,87	0,60	0,84	0,96
	<i>u</i>	1,02	1,31	1,29	1,57	1,11	1,36	1,00	1,00	1,11	1,00	1,00	1,13
A2	<i>l</i>	0,45	0,50	0,46	0,27	0,46	0,43	0,57	0,56	0,52	0,47	0,65	0,98
	<i>m</i>	0,73	0,76	0,80	0,60	0,73	0,71	0,89	0,81	0,78	0,77	0,85	1,18
	<i>u</i>	1,00	1,00	1,14	1,00	1,00	1,00	1,17	1,05	1,00	1,13	0,98	1,29
A3	<i>l</i>	0,82	0,81	0,46	0,57	0,68	0,67	1,14	0,84	0,57	0,43	0,73	0,89
	<i>m</i>	1,07	1,07	0,80	0,90	0,97	0,95	1,43	1,09	0,83	0,70	0,93	1,11
	<i>u</i>	1,23	1,26	1,14	1,27	1,24	1,17	1,57	1,26	1,04	1,07	1,05	1,27
A4	<i>l</i>	0,82	0,86	0,49	0,80	1,08	0,81	0,74	0,60	0,52	0,60	0,76	0,71
	<i>m</i>	1,05	1,12	0,80	1,20	1,35	1,10	1,06	0,86	0,78	0,93	0,95	0,96

A5	<i>u</i>	1,18	1,31	1,14	1,60	1,49	1,33	1,34	1,09	1,00	1,30	1,04	1,13
	<i>l</i>	0,64	0,67	0,54	0,87	0,49	0,76	1,26	0,74	0,87	1,67	0,73	0,64
	<i>m</i>	0,89	0,93	0,86	1,23	0,81	1,02	1,49	1,00	1,11	1,90	0,89	0,84
A6	<i>u</i>	1,09	1,12	1,17	1,53	1,14	1,24	1,57	1,21	1,26	1,97	1,00	1,00
	<i>l</i>	0,77	0,86	0,43	0,80	0,73	0,57	1,09	0,79	0,70	0,57	0,80	0,84
	<i>m</i>	1,05	1,12	0,71	1,17	1,03	0,86	1,34	1,02	0,91	0,83	0,96	1,09
A7	<i>u</i>	1,23	1,31	1,00	1,50	1,27	1,12	1,51	1,21	1,07	1,17	1,05	1,27
	<i>l</i>	0,70	0,90	0,63	1,20	0,62	0,95	1,14	0,79	0,74	1,67	0,69	0,71
	<i>m</i>	0,91	1,14	0,97	1,53	0,86	1,17	1,37	1,05	1,00	1,90	0,87	0,93
	<i>u</i>	1,09	1,29	1,26	1,77	1,08	1,29	1,49	1,23	1,20	1,97	1,00	1,09

Tablo 9 (devamı). Normalize bulanık karar matrisi

Alternatifler		Kriterler							
		C ₄₂	C ₄₃	C ₄₄	C ₅₁	C ₅₂	C ₅₃	C ₅₄	C ₅₅
A1	<i>l</i>	0,90	0,35	0,44	0,46	0,42	0,57	0,50	0,43
	<i>m</i>	1,14	0,71	0,73	0,77	0,85	0,81	0,75	0,70
	<i>u</i>	1,29	1,10	1,00	1,15	1,31	1,00	1,03	1,00
A2	<i>l</i>	0,57	0,35	0,54	1,12	1,23	0,64	0,72	0,51
	<i>m</i>	0,83	0,65	0,83	1,50	1,65	0,89	1,06	0,81
	<i>u</i>	1,07	1,00	1,07	1,85	2,00	1,09	1,33	1,11
A3	<i>l</i>	0,52	0,74	0,59	1,23	1,15	0,81	0,86	0,86
	<i>m</i>	0,81	1,03	0,85	1,69	1,58	1,04	1,14	1,19
	<i>u</i>	1,10	1,29	1,10	2,04	1,92	1,19	1,39	1,46
A4	<i>l</i>	0,62	0,58	0,63	0,65	0,46	0,55	0,50	0,59
	<i>m</i>	0,88	0,97	0,90	1,04	0,85	0,81	0,83	0,89
	<i>u</i>	1,12	1,32	1,12	1,42	1,27	1,02	1,17	1,16
A5	<i>l</i>	0,81	1,10	0,98	0,46	0,27	0,85	0,42	1,03
	<i>m</i>	1,10	1,45	1,22	0,81	0,58	1,06	0,72	1,32
	<i>u</i>	1,31	1,71	1,37	1,23	1,00	1,21	1,03	1,51
A6	<i>l</i>	0,43	1,16	0,73	1,31	1,31	0,89	1,06	0,86
	<i>m</i>	0,71	1,48	1,00	1,73	1,73	1,09	1,36	1,16
	<i>u</i>	1,00	1,71	1,22	2,04	2,04	1,19	1,58	1,41
A7	<i>l</i>	0,90	1,13	0,88	0,35	0,65	0,77	0,33	0,92
	<i>m</i>	1,17	1,42	1,15	0,62	1,00	1,00	0,67	1,22
	<i>u</i>	1,33	1,61	1,32	1,00	1,35	1,17	1,00	1,46

Bir sonraki aşamada bulanık ağırlıklı normalleştirilmiş karar matrisi hesaplanmıştır. GB-SWARA hesaplaması sonucu elde edilen kriter ağırlıkları da bu aşamada kullanılmıştır. Bulanık ağırlıklı normalleştirilmiş karar matrisi Tablo 10’da sunulmuştur.

Tablo 10. Bulanık ağırlıklı normalleştirilmiş karar matrisi

	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅	C ₁₆	C ₂₁	C ₂₂	C ₂₃	C ₃₁	C ₃₂	C ₃₃	C ₄₁	C ₄₂	C ₄₃	C ₄₄	C ₅₁	C ₅₂	C ₅₃	C ₅₄	C ₅₅	
A1	<i>l</i>	0,02	0,04	0,02	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,06	0,07	0,02	0,03	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01
	<i>m</i>	0,03	0,06	0,03	0,05	0,02	0,04	0,03	0,04	0,05	0,05	0,09	0,10	0,04	0,05	0,02	0,02	0,04	0,03	0,04	0,02	0,03
	<i>u</i>	0,05	0,08	0,05	0,08	0,04	0,05	0,06	0,06	0,07	0,09	0,11	0,13	0,07	0,07	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,04	0,05
A2	<i>l</i>	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,06	0,10	0,01	0,02	0,01	0,01	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02
	<i>m</i>	0,03	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04	0,06	0,09	0,13	0,02	0,04	0,02	0,02	0,08	0,06	0,04	0,03	0,03	0,03
	<i>u</i>	0,05	0,06	0,05	0,05	0,03	0,04	0,06	0,06	0,07	0,10	0,11	0,15	0,04	0,06	0,04	0,04	0,11	0,09	0,06	0,05	0,05
A3	<i>l</i>	0,03	0,03	0,01	0,02	0,01	0,02	0,04	0,03	0,03	0,07	0,09	0,01	0,02	0,02	0,01	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03
	<i>m</i>	0,04	0,05	0,03	0,04	0,03	0,03	0,06	0,05	0,05	0,06	0,09	0,12	0,04	0,04	0,03	0,02	0,09	0,05	0,05	0,04	0,05
	<i>u</i>	0,06	0,07	0,05	0,06	0,04	0,05	0,09	0,07	0,07	0,10	0,12	0,15	0,07	0,06	0,05	0,04	0,13	0,08	0,07	0,05	0,07
A4	<i>l</i>	0,03	0,04	0,01	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,04	0,07	0,07	0,02	0,02	0,01	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02

<i>m</i>	0,04	0,06	0,03	0,05	0,04	0,03	0,05	0,04	0,04	0,08	0,10	0,10	0,04	0,04	0,03	0,03	0,05	0,03	0,04	0,03	0,03
<i>u</i>	0,06	0,08	0,05	0,08	0,05	0,05	0,07	0,06	0,07	0,12	0,12	0,13	0,07	0,06	0,05	0,04	0,09	0,05	0,06	0,05	0,05
<i>l</i>	0,02	0,03	0,01	0,03	0,01	0,02	0,05	0,03	0,04	0,12	0,07	0,06	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,03	0,01	0,03
A5 <i>m</i>	0,03	0,05	0,03	0,05	0,02	0,03	0,07	0,05	0,06	0,15	0,09	0,09	0,07	0,05	0,05	0,04	0,04	0,02	0,05	0,02	0,05
<i>u</i>	0,05	0,07	0,05	0,07	0,04	0,05	0,09	0,07	0,08	0,18	0,11	0,12	0,10	0,07	0,07	0,05	0,08	0,04	0,07	0,04	0,07
<i>l</i>	0,02	0,04	0,01	0,03	0,02	0,01	0,04	0,03	0,03	0,04	0,07	0,08	0,02	0,02	0,03	0,02	0,06	0,04	0,04	0,03	0,03
A6 <i>m</i>	0,04	0,06	0,02	0,05	0,03	0,03	0,06	0,05	0,05	0,07	0,10	0,12	0,04	0,03	0,05	0,03	0,09	0,06	0,05	0,04	0,04
<i>u</i>	0,06	0,08	0,04	0,07	0,04	0,04	0,08	0,07	0,07	0,11	0,12	0,15	0,07	0,05	0,07	0,05	0,13	0,09	0,07	0,06	0,07
<i>l</i>	0,02	0,04	0,02	0,04	0,01	0,02	0,04	0,03	0,03	0,12	0,06	0,07	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01	0,03
A7 <i>m</i>	0,04	0,06	0,03	0,06	0,02	0,04	0,06	0,05	0,06	0,15	0,09	0,10	0,07	0,05	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,05	0,02
<i>u</i>	0,05	0,08	0,05	0,09	0,04	0,05	0,08	0,07	0,08	0,18	0,11	0,13	0,10	0,07	0,06	0,05	0,06	0,06	0,07	0,04	0,07

Oluşturulan bulanık ağırlıklı normalleştirilmiş matristen (15) numaralı denklem kullanılarak bulanık negatif ideal çözüm değerleri (Tablo 11) oluşturulmuştur.

Tablo 11. Bulanık negatif ideal çözüm değerleri

Kriterler	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	Kriterler	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>
C ₁₁	0,0146	0,0282	0,0471	C ₃₃	0,0638	0,0915	0,1201
C ₁₂	0,0211	0,0377	0,0584	C ₄₁	0,0064	0,0178	0,0411
C ₁₃	0,0117	0,0239	0,0412	C ₄₂	0,0154	0,0315	0,0536
C ₁₄	0,0088	0,0239	0,0482	C ₄₃	0,0088	0,0206	0,0403
C ₁₅	0,0098	0,0198	0,0344	C ₄₄	0,0098	0,0213	0,0371
C ₁₆	0,0107	0,0222	0,0387	C ₅₁	0,0155	0,0323	0,0619
C ₂₁	0,0156	0,0324	0,0553	C ₅₂	0,0074	0,0198	0,0426
C ₂₂	0,0195	0,0361	0,0572	C ₅₃	0,0227	0,0380	0,0560
C ₂₃	0,0244	0,0441	0,0672	C ₅₄	0,0082	0,0207	0,0390
C ₃₁	0,0191	0,0491	0,0936	C ₅₅	0,0135	0,0268	0,0465
C ₃₂	0,0560	0,0838	0,1120				

Takip eden adımda bulanık negatif ideal çözüm kullanılarak alternatiflerin bulanık ağırlıklı Öklid (ED_i) ve bulanık ağırlıklı Hamming (HD_i) uzaklıkları hesaplanmıştır. Öklid uzaklıkları hesaplanırken (17) numaralı denklem, Hamming uzaklıkları hesaplanırken (18) numaralı denklem kullanılmıştır (Tablo 12).

Tablo 12. Öklid ve Hamming Uzaklıkları

	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅	C ₁₆	C ₂₁	C ₂₂	C ₂₃	C ₃₁	C ₃₂	
A1	<i>ED</i>	0,002	0,020	0,009	0,025	0,004	0,015	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000
	<i>HD</i>	0,002	0,020	0,009	0,024	0,004	0,015	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000
A2	<i>ED</i>	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,008	0,002	0,000	0,013	0,002
	<i>HD</i>	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,008	0,002	0,000	0,013	0,002
A3	<i>ED</i>	0,012	0,015	0,004	0,012	0,007	0,007	0,031	0,014	0,002	0,009	0,009
	<i>HD</i>	0,012	0,015	0,003	0,012	0,007	0,007	0,031	0,014	0,002	0,009	0,009
A4	<i>ED</i>	0,011	0,017	0,004	0,024	0,016	0,012	0,016	0,004	0,000	0,026	0,011
	<i>HD</i>	0,011	0,017	0,003	0,024	0,016	0,012	0,015	0,004	0,000	0,026	0,010
A5	<i>ED</i>	0,006	0,008	0,005	0,024	0,003	0,009	0,033	0,011	0,018	0,100	0,006
	<i>HD</i>	0,006	0,008	0,005	0,024	0,002	0,009	0,033	0,011	0,018	0,100	0,005
A6	<i>ED</i>	0,011	0,017	0,000	0,022	0,008	0,004	0,027	0,012	0,007	0,019	0,013
	<i>HD</i>	0,011	0,017	0,000	0,022	0,008	0,004	0,027	0,012	0,007	0,019	0,012
A7	<i>ED</i>	0,007	0,018	0,009	0,036	0,003	0,013	0,028	0,013	0,012	0,100	0,004
	<i>HD</i>	0,007	0,018	0,008	0,036	0,003	0,013	0,028	0,013	0,012	0,100	0,004

		C ₃₃	C ₄₁	C ₄₂	C ₄₃	C ₄₄	C ₅₁	C ₅₂	C ₅₃	C ₅₄	C ₅₅
A1	<i>ED</i>	0,012	0,023	0,018	0,002	0,000	0,008	0,009	0,000	0,003	0,000
	<i>HD</i>	0,012	0,022	0,018	0,002	0,000	0,008	0,009	0,000	0,003	0,000
A2	<i>ED</i>	0,035	0,000	0,005	0,000	0,003	0,045	0,036	0,004	0,012	0,004
	<i>HD</i>	0,035	0,000	0,005	0,000	0,003	0,045	0,036	0,004	0,012	0,004
A3	<i>ED</i>	0,028	0,018	0,004	0,012	0,004	0,055	0,034	0,011	0,014	0,018
	<i>HD</i>	0,028	0,017	0,004	0,012	0,004	0,054	0,033	0,010	0,014	0,018
A4	<i>ED</i>	0,012	0,024	0,007	0,010	0,005	0,022	0,009	0,001	0,005	0,007
	<i>HD</i>	0,012	0,023	0,007	0,010	0,005	0,021	0,009	0,001	0,005	0,007
A5	<i>ED</i>	0,000	0,051	0,016	0,025	0,014	0,010	0,000	0,012	0,002	0,023
	<i>HD</i>	0,000	0,051	0,016	0,025	0,014	0,010	0,000	0,012	0,002	0,022
A6	<i>ED</i>	0,026	0,021	0,000	0,026	0,008	0,057	0,038	0,012	0,021	0,017
	<i>HD</i>	0,026	0,021	0,000	0,026	0,008	0,056	0,038	0,012	0,021	0,017
A7	<i>ED</i>	0,009	0,050	0,019	0,023	0,011	0,000	0,014	0,009	0,000	0,019
	<i>HD</i>	0,009	0,050	0,019	0,023	0,011	0,000	0,014	0,009	0,000	0,019

Bir sonraki adım olarak görelî önem matrisi hesaplanmıştır. t değeri için literatürde de sıkça kullanılan $\theta=0,02$ olarak kabul edilip (21) numaralı denklem kullanılarak hesaplanmıştır (Ghorabae ve diğ., 2017). Değerlendirme matrisi Tablo 13'te ifade edilmiştir.

Tablo 13. Değerlendirme Matrisi

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
A1	0,00	-0,02	-0,09	-0,05	-0,10	-0,10	-0,11
A2	0,02	0,00	-0,07	-0,04	-0,09	-0,09	-0,10
A3	0,09	0,07	0,00	0,03	-0,02	-0,01	-0,02
A4	0,05	0,04	-0,03	0,00	-0,05	-0,05	-0,06
A5	0,10	0,09	0,02	0,05	0,00	0,01	0,00
A6	0,10	0,09	0,01	0,05	-0,01	0,00	-0,01
A7	0,11	0,10	0,02	0,06	0,00	0,01	0,00

Son kısımda ise (22) numaralı denklem kullanılarak alternatiflerin değerlendirme puanları hesaplanmıştır. Tablo 14'te B-CODAS yöntemi ile hesaplama sonucunda alternatiflerin almış oldukları değerlendirme puanları görülmektedir. Alternatifler içerisinde tesis yeri için en uygun seçenek, yedinci alternatif olan YTÜ-Teknopark olarak karşımıza çıkmıştır. İkinci sırayı yine başka bir teknopark bölgesi olan, Teknopark İstanbul almıştır. Üçüncü sırada ise Tuzla alternatifi bulunmaktadır.

Tablo 14. Alternatiflerin Sıralaması

	Alternatifler	AS_i	Sıra
A1	Bayrampaşa	-0,474	7
A2	Esenyurt	-0,376	6
A3	Gebze	0,141	4
A4	İkitelli	-0,093	5
A5	Teknopark İstanbul	0,269	2
A6	Tuzla	0,239	3
A7	YTÜ-Teknopark	0,294	1

4. Sonuç

Tesis yerinin seçilmesi işletmeleri uzun yıllar boyunca, karar vermiş oldukları lokasyonun koşullarına bağlı kalmaya zorlamaktadır. Bu nedenle yer seçimi, üzerinde önemle durulması gereken bir karar problemidir. Çalışmamızda öncelikle kapsamlı bir literatür taraması yapılarak, uzman karar verme grubunun

değerlendirebilmesi için net bir kriter seti tespit edilmiştir. Kriterlerin önem ağırlıklarının güncel ve kabul görmüş yöntemlerden biri olan GB-SWARA yöntemiyle belirlenmesi sonrası, işletme tarafından öngörülen alternatiflerin değerlendirilmesi söz konusu olmuştur. Bu noktada B-CODAS yöntemiyle, en uygun seçeneğin tespiti gerçekleştirilmiştir.

Çalışmamızda; yatırım maliyeti (C33), işletme ve bakım maliyetleri (C32), devlet teşvikleri (C31), karbon ayak izi (C23), arazi genişleme potansiyeli (C51) en önemli değerlendirme kriterleri olarak karşımıza çıkmıştır. Ortaya çıkan sonuçların tamamen aynı sektörde yapılan çalışmalarla karşılaştırılabilmesi, literatürdeki boşluk nedeniyle mümkün olmadığından, maliyet kriterinin daha fazla ön plana çıktığı çeşitli çalışmaların (Yaşlıoğlu ve Önder, 2016; Rahman, Ali, Hossain ve Mondal, 2018) olduğu ifade edilebilir. Alternatiflerin sıralamalarına ilişkin sonuçlar irdelendiğinde ise çalışmamız sonucunda, Teknopark tabanlı alternatiflerin ön plana çıktığı görülmektedir. Teknoparkların belirtilen kriterler çerçevesinde avantajlı kurulum imkânları sunması dolayısıyla ortaya çıkan sonuçlar mantıklı olarak değerlendirilebilir. Arslan, Durak ve Özdemir (2021)'in yapmış olduğu yer seçimi çalışmasında da YTÜ-Teknopark, alternatifler arasında üst sıralarda yer almıştır. Durak, Arslan ve Özdemir (2022) tarafından yapılan başka bir çalışma da YTÜ-Teknopark ilk üç en iyi alternatif arasında göze çarpmaktadır.

Yapmış olduğumuz çalışmanın, işletmelerin tesis yer seçimi problemi konusunda bir çerçeve sunarak katkı sağlayabileceği ve uygulanan güncel yöntemler açısından da farklılık ortaya koyduğu düşünülmektedir. İlerleyen çalışmalarda, kriterlerin önem ağırlıklarının belirlenmesi aşamasında, sektörden daha fazla firmaya veya uzmana ulaşılarak tesis yer seçimi probleminde dikkate alınacak kriterler için daha geniş katılımı bir kriter kümesi oluşturulabilir. Ayrıca önem ağırlıklarının hesaplanması aşamalarında farklı ÇKKV yöntemleri ile sonuçların karşılaştırılması gerçekleştirilebilir. Alternatif sayısı artırılarak ve farklı bulanık uzantılar kullanılarak, seçenekler değişik perspektiflerde değerlendirilebilir. Belirtilmesi gereken diğer husus ise şudur: Yazarların veya karar verme grubu üyelerinin, herhangi bir alternatif lokasyonu diğerine tercih etme noktasında özel bir kararı söz konusu değildir ve bireysel bir girişimleri olmamıştır. Seçeneklerden birinin, diğerinden üstün olduğuna dair kişisel bir yargıları bulunmamaktadır. Alternatifler arasında yer alan tüm ilçelerde tesis kurulabilir. Yapmış olduğumuz çalışmanın sonuçları, tespit edilen verilerin belirli yöntemlerle hesaplanması neticesinde elde ettiğimiz değerlere dayanmaktadır. Buradaki sıralama, sadece hibrit çok kriterli karar verme uygulamasının gerçekleştirilmesi neticesinde oluşturulmuştur. Yapılan hesaplama göz önünde bulundurularak, herhangi bir gerçek hayat ortamında, şu an için somut bir karar alınmamıştır. Türkiye'nin her ilçesi, tesis kurulumu açısından incelenmeye ve yatırım yapmaya değerdir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Bilge Nur Peker problemin tanımlanması, literatür taraması, makale yazımı, analizlerin gerçekleştirilmesi ve yorumlanmasında, Ali Görener ise araştırma çerçevesinin yapılandırılması, analizlerin kontrolü, metnin gözden geçirilmesi ve revizyonların gerçekleştirilmesi konularında katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Akpınar, M. E. (2022). Machine Selection application in a hard chrome plating industry using fuzzy SWARA and fuzzy ARAS methods. *Yönetim ve Ekonomi*, 29(1), 107-119. doi: <https://doi.org/10.18657/yonveek.848811>

Alvand, A., Mirhosseini, S. M., Ehsanifar, M., Zeighami, E. & Mohammadi, A. (2021). Identification and assessment of risk in construction projects using the integrated FMEA-SWARA-WASPAS model under fuzzy environment: a case study of a construction project in Iran. *International Journal of Construction Management*, 1-13. doi: <https://doi.org/10.1080/15623599.2021.1877875>

Ansari, Z. N., Kant, R. & Shankar, R. (2020). Evaluation and ranking of solutions to mitigate sustainable remanufacturing supply chain risks: A hybrid fuzzy SWARA-fuzzy COPRAS framework approach. *International Journal of Sustainable Engineering*, 13(6), 473-494. doi: <https://doi.org/10.1080/19397038.2020.1758973>

Ar, İ. M., Baki, B. ve Özdemir, F. (2014). Kuruluş yeri seçiminde bulanık AHS-VIKOR yaklaşımının kullanımı: Otel sektöründe bir uygulama. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, (13), 93-114. doi: <https://doi.org/10.18092/ijeas.07453>

- Aro, J. L., Selerio Jr, E., Evangelista, S. S., Maturan, F., Atibing, N. M., & Ocampo, L. (2022). Fermatean fuzzy CRITIC-CODAS-SORT for characterizing the challenges of circular public sector supply chains. *Operations Research Perspectives*, 9, 100246. doi: <https://doi.org/10.1016/j.orp.2022.100246>
- Arslan, H. M., Durak, İ. ve Özdemir, Y. (2021). Entropi-Aras hibrit yöntemi ile bilişim işletmeleri için en uygun teknopark bölgesinin belirlenmesi. *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 17(3), 734-753. doi: <https://doi.org/10.17130/ijmeb.839584>
- Asori, M., Dogbey, E., Morgan, A. K., Ampofo, S. T., Mpobi, R. K. J., & Katey, D. (2022). Application of GIS-based multi-criteria decision making analysis (GIS-MCDA) in selecting locations most suitable for siting engineered landfills—the case of Ashanti Region, Ghana. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 33 (3), 800-826. doi: <https://doi.org/10.1108/MEQ-07-2021-0159>
- Aydinoğlu, A. Ç., Şişman, S. ve Ergül, İ. (2022). Sezgisel ağ tabanlı konum tahsis analiz algoritmaları ile tesis yeri optimizasyonu: İtfaiye tesisleri yer seçimi örneği. *Journal of Turkish Operations Management*, 6(1), 955-976.
- Aytekin, A. (2018). Using hybrid method in selecting timber factory location. *Drvna Industrija*, 69(3), 273-281. doi: <https://doi.org/10.5552/drind.2018.1736>
- Cedolin, M., Göker, N., Dogu, E., & Esra Albayrak, Y. (2017). Facility location selection employing fuzzy DEA and fuzzy goal programming techniques. In *Advances in Fuzzy Logic and Technology 2017* (pp. 466-476). Springer, Cham. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-66830-7_42
- Chang, N. B., Parvathinathan, G., & Breeden, J. B. (2008). Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region. *Journal of Environmental Management*, 87(1), 139-153. doi: [10.1016/j.jenvman.2007.01.011](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.01.011)
- Chakraborty, S., Kumar, R. & Athawale, V. M. (2010). Facility location selection using the UTA method. *The IUP Journal of Operations Management*, 9(4), 21-34. Retrieved from <https://ssrn.com/abstract=1744706>
- Chen, C. T. (2000). Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. *Fuzzy sets and systems*, 114(1), 1-9. doi: [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(97\)00377-1](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(97)00377-1)
- Chithambarathan, P., Rajkumar, A., Prithiviraj, D., & Palpandi, M. (2022). A multi criteria decision based approach for facility location selection with flexible criteria weights. *Materials Today: Proceedings*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.467>
- Chou, T. Y., Hsu, C. L., & Chen, M. C. (2008). A fuzzy multi-criteria decision model for international tourist hotels location selection. *International journal of hospitality management*, 27(2), 293-301. Doi: [10.1016/j.ijhm.2007.07.029](https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2007.07.029)
- Dağ, S. ve Önder, E. (2013). Decision-making for facility location using VIKOR method. *Journal of International Scientific Publication: Economy & Business*, 7(1), 308-330. Retrieved from <https://ssrn.com/abstract=2382495>
- Deveci, M., Simic, V., & Torkayesh, A. E. (2021). Remanufacturing facility location for automotive Lithium-ion batteries: An integrated neutrosophic decision-making model. *Journal of Cleaner Production*, 317, 128438. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128438>
- Dey, B., Bairagi, B., Sarkar, B., & Sanyal, S. K. (2016). Warehouse location selection by fuzzy multi-criteria decision making methodologies based on subjective and objective criteria. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 11(4), 262-278. doi: <https://doi.org/10.1080/17509653.2015.1086964>
- Durak, İ., Arslan, H. M. ve Özdemir, Y. (2022). Application of AHP–TOPSIS methods in technopark selection of technology companies: Turkish case. *Technology Analysis & Strategic Management*, 34(10), 1109-1123. doi: <https://doi.org/10.1080/09537325.2021.1925242>
- Effatpanah, S. K., Ahmadi, M. H., Aungkulanon, P., Maleki, A., Sadeghzadeh, M., Sharifpur, M., & Chen, L. (2022). Comparative analysis of five widely-used multi-criteria decision-making methods to evaluate clean energy technologies: a case study. *Sustainability*, 14(3), 1403. <https://doi.org/10.3390/su14031403>

- Ertuğrul, İ., & Karakaşoğlu, N. (2008). Comparison of fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods for facility location selection. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 39(7), 783-795. doi: <https://doi.org/10.1007/s00170-007-1249-8>
- Feng, J., Xu, S. X., Xu, G., & Cheng, H. (2022). An integrated decision-making method for locating parking centers of recyclable waste transportation vehicles. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 157, 102569. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102569>
- Gao, Z., Yoshimoto, K., & Ohmori, S. (2010). Application of AHP/DEA to facility layout selection. In *2010 Third International Joint Conference on Computational Science and Optimization, China* (Vol. 2, pp. 252-254). IEEE.
- Ghasemian Sahebi, I., Arab, A., & Toufighi, S. P. (2020). Analyzing the barriers of organizational transformation by using fuzzy SWARA. *Journal of Fuzzy Extension and Applications*, 1(2), 84-97. doi: <https://doi.org/10.22105/jfea.2020.249191.1010>
- Ghorabae, M. K., Zavadskas, E. K., Turskis, Z., & Antucheviciene, J. (2016). A new combinative distance-based assessment (CODAS) method for multi-criteria decision-making. *Economic Computation & Economic Cybernetics Studies & Research*, 50(3), 25-44. Retrieved from <https://eds.p.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=0&sid=f2b23750-01d9-4c63-a3d0-f2178fa19221%40redis>
- Ghorabae, M. K., Amiri, M., Zavadskas, E. K., Hooshmand, R., & Antuchevičienė, J. (2017). Fuzzy extension of the CODAS method for multi-criteria market segment evaluation. *Journal of Business Economics and Management*, 18(1), 1-19. doi: <https://doi.org/10.3846/16111699.2016.1278559>
- Gorcun, O. F., Senthil, S., & Küçükönder, H. (2021). Evaluation of tanker vehicle selection using a novel hybrid fuzzy MCDM technique. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 4(2), 140-162. doi: <https://doi.org/10.31181/dmame210402140g>
- Görçün, Ö. F., Zolfani, S. H., & Çanakçıoğlu, M. (2022). Analysis of efficiency and performance of global retail supply chains using integrated fuzzy SWARA and fuzzy EATWOS methods. *Operations Management Research*, 1-25. doi: <https://doi.org/10.1007/s12063-022-00261-z>
- Güneş, M. (2019). *KOBİ'ler için girişimcilik*. İstanbul: Türkmen Kitabevi.
- Hanine, M., Boutkhoul, O., Tikniouine, A., & Agouti, T. (2016). Comparison of fuzzy AHP and fuzzy TODIM methods for landfill location selection. *SpringerPlus*, 5(1), 1-30. doi: <https://doi.org/10.1186/s40064-016-2131-7>
- Maghsoodi, A.I., Maghsoodi, A.I., Poursoltan, P., Antucheviciene, J., & Turskis, Z. (2019). Dam construction material selection by implementing the integrated SWARA—CODAS approach with target-based attributes. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 19(4), 1194-1210. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.acme.2019.06.010>
- Kabadayı, N. ve Esen, T. E. Ç. (2021). Gri İlişkisel temelli TOPSIS yöntemi ile depo yeri seçimi. *Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 9(1), 169-184. doi: <https://doi.org/10.18506/anemon.761624>
- Karagoz, S., Deveci, M., Simic, V., Aydin, N., & Bolukbas, U. (2020). A novel intuitionistic fuzzy MCDM-based CODAS approach for locating an authorized dismantling center: a case study of Istanbul. *Waste Management & Research*, 38(6), 660-672. doi: <https://doi.org/10.1177/0734242X19899729>
- Karagöz, S., Deveci, M., Simic, V., & Aydin, N. (2021). Interval type-2 Fuzzy ARAS method for recycling facility location problems. *Applied Soft Computing*, 102, 107107. doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2021.107107>
- Karaşan, A., Kaya, İ., & Erdoğan, M. (2020). Location selection of electric vehicles charging stations by using a fuzzy MCDM method: a case study in Turkey. *Neural Computing and Applications*, 32(9), 4553-4574. doi: <https://doi.org/10.1007/s00521-018-3752-2>
- Kannan, D., Moazzeni, S., Mostafayi Darmian, S., & Afrasiabi, A. (2021). A hybrid approach based on MCDM methods and Monte Carlo simulation for sustainable evaluation of potential solar sites in east of Iran. *Journal of Cleaner Production*, 279, 122368. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122368>

- Karande, P., & Chatterjee, P. (2018). Desirability function approach for selection of facility location: A case study. In *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Paris, France (pp. 1700-1708).
- Kaul, A., Darbari, J. D., & Jha, P. C. (2020). A fuzzy MCDM model for facility location evaluation based on quality of life. In *Soft Computing for Problem Solving* (pp. 687-697). Springer, Singapore. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-15-0035-0_56
- Katrançı, A. ve Kundakçı, N. (2020). Bulanık CODAS yöntemi ile kripto para yatırım alternatiflerinin değerlendirilmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 22(4), doi: 958-973. <https://doi.org/10.32709/akusosbil.599757>
- Keleş, M. K., Özdağoğlu, A. ve Işıldak, B. (2021). Yolcular Açısından Havalimanlarının Değerlendirilmesine Yönelik Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Bir Uygulama. *Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 23(2), 419-456. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/ahbvuibfd/issue/64683/795201>
- Keršuliene, 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), 243-258. doi: <https://doi.org/10.3846/jbem.2010.12>
- Kieu, P. T., Nguyen, V. T., Nguyen, V. T., & Ho, T. P. (2021). A spherical fuzzy analytic hierarchy process (SF-AHP) and combined compromise solution (CoCoSo) algorithm in distribution center location selection: A case study in agricultural supply chain. *Axioms*, 10(2), 53. doi: <https://doi.org/10.3390/axioms10020053>
- Krajewski, L. J., Ritzman, L. P., & Malhotra, M. K. (2010). *Operations management: Processes and supply chains*. 9th Edition, New Jersey: Pearson. Çeviri Editörü: Semra Birgün, Nobel Yayınları, Ankara
- Kumar, K., & Kumanan, S. (2011). An Integrated Fuzzy QFD and AHP Approach for Facility Location Selection. *IUP Journal of Supply Chain Management*, 8(4), 30-41. Retrieved from <https://ssrn.com/abstract=2138805>
- Kuo, M. S., & Liang, G. S. (2011). A novel hybrid decision-making model for selecting locations in a fuzzy environment. *Mathematical and Computer Modelling*, 54(1-2), 88-104. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2011.01.038>
- Liu, Z., Huang, R., & Shao, S. (2022). Data-driven two-stage fuzzy random mixed integer optimization model for facility location problems under uncertain environment. *AIMS Mathematics*, 7(7), 13292-13312. <https://doi.org/10.3934/math.2022734>
- Mavi, R. K., Goh, M., & Zarbakhshnia, N. (2017). Sustainable third-party reverse logistic provider selection with fuzzy SWARA and fuzzy MOORA in plastic industry. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 91(5), 2401-2418. doi: <https://doi.org/10.1007/s00170-016-9880-x>
- Miç, P., & Antmen, Z. F. (2021). A Decision-making model based on TOPSIS, WASPAS, and MULTIMOORA methods for university location selection Problem. *SAGE Open*, 11(3), 21582440211040115. doi: <https://doi.org/10.1177/21582440211040115>
- Moniri, M. R., Tabriz, A. A., Ayough, A., & Zandieh, M. (2021). Turnaround project risk assessment using hybrid fuzzy SWARA and EDAS method: case of upstream oil process industries in Iran. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 19(4), 966-988, doi: <https://doi.org/10.1108/JEDT-07-2020-0287>
- Mucuk, İ. (2018). *Modern işletmecilik* (21. Baskı). İstanbul: Türkmen Kitabevi.
- Nacar, E. N. ve Erdebilli, B. (2021). Tesis yeri seçimine yeni bir bakış: katmanlı çok kriterli karar verme yöntemi. *Verimlilik Dergisi*, (4), 103-117. doi: <https://doi.org/10.51551/verimlilik.832480>
- Nong, T. N. M. (2022). A hybrid model for distribution center location selection. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 38(1), 40-49. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2021.10.003>

- Özbek, A. (2019). *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Excel ile Problem Çözümü*. 2. Baskı, Ankara: Seçkin Yayıncılık. ISBN:9789750245138
- Panchal, D., Chatterjee, P., Shukla, R. K., Choudhury, T. & Tamosaitiene, J. (2017). Integrated fuzzy AHP-CODAS framework for maintenance decision in urea fertilizer industry. *Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research*, 3(51), 179-196. Retrieved from <https://ideas.repec.org/a/cys/ecocyb/v50y2017i3p179-196.html>
- Pourrezaie-Khaligh, P., Bozorgi-Amiri, A., Yousefi-Babadi, A., & Moon, I. (2022).: A case study. *Applied Mathematical Modelling*, 102, 243-267. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apm.2021.09.022>
- Rahman, M. S., Ali, M. I., Hossain, U., & Mondal, T. K. (2018). Facility location selection for plastic manufacturing industry in Bangladesh by using AHP method. *International Journal of Research in Industrial Engineering*, 7(3), 307-319. doi:<https://doi.org/10.22105/riiej.2018.135742.1049>
- Seker, S., & Aydin, N. (2020). Hydrogen production facility location selection for Black Sea using entropy based TOPSIS under IVPF environment. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(32), 15855-15868. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.12.183>
- Sennaroglu, B., & Celebi, G. V. (2018). A military airport location selection by AHP integrated PROMETHEE and VIKOR methods. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 59, 160-173. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.12.022>
- Simic, V., Karagoz, S., Deveci, M., & Aydin, N. (2021). Picture fuzzy extension of the CODAS method for multi-criteria vehicle shredding facility location. *Expert Systems with Applications*, 175, 114644. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.114644>
- Singh, S., Upadhyay, S. P., & Powar, S. (2022). Developing an integrated social, economic, environmental, and technical analysis model for sustainable development using hybrid multi-criteria decision making methods. *Applied Energy*, 308, 118235. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.118235>
- Soyşekerci, S. ve Erturgut, R. (2011). *Genel işletme*. İstanbul: Kriter Yayınları.
- Steyn, J. & Buys, C. (2017). Project optimisation techniques: Site selection for process plants, *Owner Team Consultation*, Retrieved from <https://www.ownerteamconsult.com/site-selection-for-process-plants/>
- Suman, M. N. H., MD Sarfaraj, N., Chyon, F. A., & Fahim, M. R. I. (2021). Facility location selection for the furniture industry of Bangladesh: Comparative AHP and FAHP analysis. *International Journal of Engineering Business Management*, 13, 18479790211030851. doi: <https://doi.org/10.1177/18479790211030851>
- Terme, B., Çiçek, İ., & Kiraz, A. Entegre Bulanık AHP ve Bulanık VIKOR Yöntemleriyle Tesis Yeri Seçimi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 37(2), 383-398. doi: <https://doi.org/10.21605/cukurovaumfd.1146098>
- Torkayesh, A. E., & Simic, V. (2022). Stratified hybrid decision model with constrained attributes: Recycling facility location for urban healthcare plastic waste. *Sustainable Cities and Society*, 77, 103543. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103543>
- Tripathi, A. K., Agrawal, S., & Gupta, R. D. (2021). Comparison of GIS-based AHP and fuzzy AHP methods for hospital site selection: a case study for Prayagraj City, India. *GeoJournal*, 1-22. doi: <https://doi.org/10.1007/s10708-021-10445-y>
- Tuzkaya, G., Önüt, S., Tuzkaya, U. R., & Gülsün, B. (2008). An analytic network process approach for locating undesirable facilities: An example from Istanbul, Turkey. *Journal of Environmental Management*, 88(4), 970-983. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.05.004>
- Türk, A., & Özkök, M. (2020). Shipyard location selection based on fuzzy AHP and TOPSIS. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 39(3), 4557-4576. doi: <https://doi.org/10.3233/JIFS-200522>

- Ulutaş, A. (2020). SWARA tabanlı CODAS Yöntemi ile kargo şirketi seçimi. *MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 9(3), 1640-1647. doi: <https://doi.org/10.33206/mjss.559351>
- Vojinović, N., Stević, Ž., & Tanackov, I. (2022). A Novel IMF SWARA-FDWGA-PESTEL analysis for assessment of healthcare system. *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 5(1), 139-151. doi: <https://doi.org/10.31181/oresta070422211v>
- Vrtagić, S., Softić, E., Subotić, M., Stević, Ž., Dordevic, M., & Ponjavic, M. (2021). Ranking road sections based on MCDM model: New improved Fuzzy SWARA (IMF SWARA). *Axioms*, 10(2), 92. doi: <https://doi.org/10.3390/axioms10020092>
- Wang, C. N., Huang, Y. F., Chai, Y. C., & Nguyen, V. T. (2018). A multi-criteria decision making (MCDM) for renewable energy plants location selection in Vietnam under a fuzzy environment. *Applied Sciences*, 8(11), 2069. doi: <https://doi.org/10.3390/app8112069>
- Xuan, H. A., Trinh, V. V., Techato, K., & Phoungthong, K. (2022). Use of hybrid MCDM methods for site location of solar-powered hydrogen production plants in Uzbekistan. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 52, 101979. doi: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.101979>
- Yalçın, N., & Yapıcı Pehlivan, N. (2019). Application of the fuzzy CODAS method based on fuzzy envelopes for hesitant fuzzy linguistic term sets: A case study on a personnel selection problem. *Symmetry*, 11(4), 493,1-27. <https://doi.org/10.3390/sym11040493>
- Yaşlıoğlu, M. M. ve Önder, E. (2016). Solving facility location problem for a plastic goods manufacturing company in turkey using AHP and TOPSIS methods. *Yönetim Bilimleri Dergisi*, 14(28), 223-249. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/660898>
- Yenilmez, S. ve Ertuğrul, İ. (2022). Çok kriterli karar verme yöntemleri ile bir mermer fabrikası için kesintisiz güç kaynağı seçimi. *Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 14(3), 251-266. doi: [10.52791/aksarayiibd.1009308](https://doi.org/10.52791/aksarayiibd.1009308)
- Yeşilkaya, M. (2018). Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri ile Kağıt Fabrikası Kuruluş Yeri Seçimi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(4), 31-44. doi: <https://doi.org/10.21605/cukurovaummfd.521775>
- Yong, D. (2006). Plant location selection based on fuzzy TOPSIS. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 28(7), 839-844. doi: <https://doi.org/10.1007/s00170-004-2436-5>
- Yücenur, G. N., Çaylak, Ş., Gönül, G., & Postalcıoğlu, M. (2020). An integrated solution with SWARA&COPRAS methods in renewable energy production: City selection for biogas facility. *Renewable Energy*, 145, 2587-2597. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.08.011>



Journal of Turkish Operations Management

Taşıt paylaşım sistemleri için potansiyel karar problemleri üzerine bir literatür taraması

İpek Damla Akpınar^{1*}, Barış Keçeci²

¹Endüstri Mühendisliği Bölümü, Başkent Üniversitesi, Ankara, Türkiye
e-mail: idakpinar@baskent.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0001-8977-9521>

²Endüstri Mühendisliği Bölümü, Başkent Üniversitesi, Ankara, Türkiye
e-mail: bkececi@baskent.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-2730-5993>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 21.10.2022
Revize: 10.03.2023
Kabul: 24.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Taşıt paylaşım sistemleri,
Sınıflandırma,
Konfigürasyon,
Karar problemleri

Özet

Taşıt Paylaşımı (TP), insanların genellikle saatlik olarak kısa süreler için taşıt kiraladıkları bir taşıt kiralama modelidir. Bu sistem sayesinde kullanıcılar bir taşıtı rezerve ederek kısa süreli kullanımına sahip olup, taşıtı teslim alma ve teslim etme aşamaları kişinin kendisine aittir. Taşıt Paylaşım Sistemleri (TPS) ise, nispeten büyük bir grup üye tarafından kullanılmak üzere bulunan küçük ve orta ölçekli bir taşıt filosunu içeren sistemlerdir. TPS'ler kullanılan taşıtlara göre Bisiklet Paylaşım Sistemleri (BPS), Araba Paylaşım Sistemleri (APS), Otonom Bağlı Elektrikli Taşıt Paylaşım Sistemleri (OBET-PS), Elektrikli Araba Paylaşım Sistemleri (eAPS) ve Elektrikli Küçük Taşıtlar Paylaşım Sistemi (EKTPS) olarak beş gruba ayrılmaktadır. TPS'ler işleyiş şekline göre de tercih edilen seyahat türü, taşıt dengesizlik yönetim stratejisi, fiyatlandırma stratejisi, park organizasyonu olmak üzere dört alt başlık altında incelenmiştir. Çalışmanın devamında APS için stratejik, taktik ve operasyonel seviyelerde karşılaşılan karar problemleri belirlenmiş ve bu konuda literatürde var olan çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmalardaki APS'ler işleyiş türlerine göre sınıflandırılmıştır. Ayrıca eAPS için de literatürde var olan çalışmalar incelenerek ek karar problemleri tespit edilmiş ve bu çalışmalardaki eAPS'ler de işleyiş türlerine göre sınıflandırılmıştır. Bu çalışmanın amacı TPS ile ilgili çalışmalarını inceleyerek araştırmacılara konu ile ilgili genel bir bakış açısı sunmaktır.

A literature review on potential decision problems for vehicle sharing systems

Article Info

Article History:

Received: 21.10.2022
Revised: 10.03.2023
Accepted: 24.03.2023

Keywords:

Vehicle sharing systems,
Classification,
Configuration,
Decision problems

Abstract

Vehicle Sharing (VS) is a car rental model where people rent vehicles for short periods, usually hourly. In this system, users can reserve a vehicle and have a short-term use, and the stages of receiving and delivering the vehicle belong to the person himself. Vehicle Sharing Systems (VSS), on the other hand, are systems that include a fleet of vehicles with small and medium sizes for use by a relatively large group of members. VSS are divided into five groups according to the vehicles used; such as Bicycle Sharing Systems (BSS), Car Sharing Systems (CSS), Autonomous Connected Electric Vehicle Sharing Systems (ACEV-SS), Electric Car Sharing Systems (eCSS), and Electric Small Vehicles Sharing Systems (ESVSS). VSS's are examined under four sub-headings due to how they operate: preferred travel type, vehicle imbalance management strategy, pricing strategy, and parking organization. In this study, decision problems encountered at strategic, tactical, and operational levels for CSS are determined and the existing studies in the literature are examined. The CSSs in these studies are classified according to their functioning types. In addition, decision problems are determined by examining the studies available in the literature for eCSS, and the eCSS in these studies are classified according to their functioning types. This study aims to provide the researchers with a general perspective on the topic by examining the studies on VSS.

1. Giriş

Son yıllarda taşıt paylaşımı yenilikçi bir ulaşım seçeneği olarak büyük ilgi görmeye başlamıştır. Taşıt Paylaşımı (TP), genellikle kısa süreler için bir taşıt kiralama modelidir. Bu sistemde taşıtı teslim alma ve teslim etme aşamaları kişinin kendisine aittir. Böylelikle taşıtlar şehrin farklı bölgelerine dağıtılarak paylaşımlı bir hareket sistemi sunulur. Taşıt Paylaşım Sistemleri (TPS) ise, nispeten büyük bir grup üye tarafından kullanılmak üzere bulunan küçük ve orta ölçekli taşıt filosunu içeren sistemlerdir (Shaheen, Sperling ve Wagner, 1999).

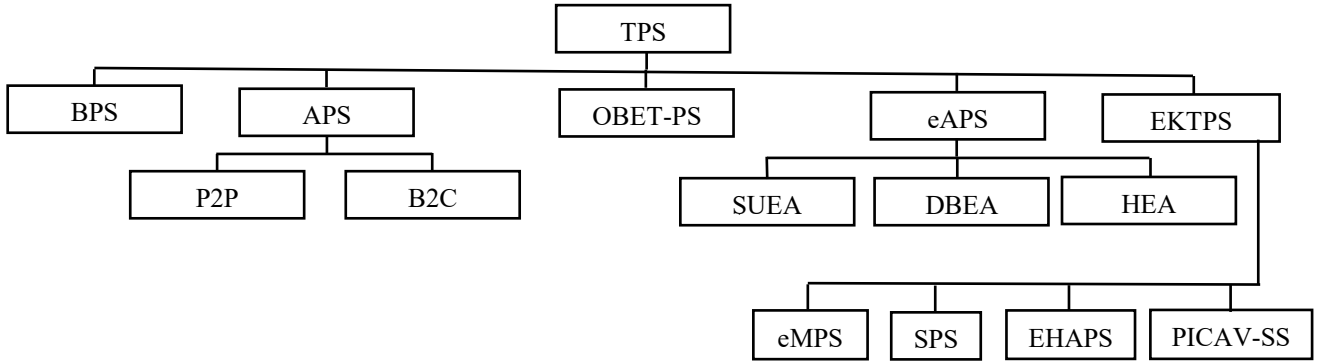
İlk TP fikri 1940'ların sonlarında İsviçre'nin Zürih şehrinde arabalarla faaliyete geçirilmiştir. Fakat ekonomik nedenlerden dolayı ancak 1948 yılına kadar mevcudiyetini koruyabilmiştir (Shaheen ve diğ., 1999). 1980'lere kadar kurulan TPS'ler başarılı olamamıştır. Bu süreçte başarısız olan TPS'ler arasında 1971 yılında Fransa'nın Montpellier kentinde Procotip olarak bilinen ve 1973 yılında Amsterdam'da Witkar ismiyle kurulan sistemler sayılabilir (Shaheen ve diğ., 1999). 1980'lerde ise başarılı olanlar arasında İsviçre'deki Mobility Carsharing ve Almanya'daki Statauto gösterilebilir (Jorge ve Correia, 2013). 1990'ların başında Bilgi ve İletişim Teknolojilerinin (BİT) gelişimiyle beraber ve 2000'lerde mobil servisler sayesinde başarılı birkaç TPS var olabilmektedir. Bu tür bir sistemi uygulamak ve işletmek adına California Üniversitesinde pilot projeler geliştirilmiştir (Barth ve Todd, 2001). Bu projeler TPS de kullanıcı tepkileri hakkında fikir vermiştir. Son zamanlarda BMW ve FCA grubu ürettikleri otomobilleri pazarlayabilmek için TPS'ye doğrudan dahil olmuşlardır. Böylece otomobil üreticileri de doğrudan pazara dahil olabilmişlerdir (Barth, Shaheen, Fukuda ve Fukuda, 2006; Shaheen, Cohen ve Roberts, 2006; Shaheen ve Cohen, 2007; Shaheen, Cohen ve Chung, 2009; Shaheen ve Cohen, 2013). Günümüzde SHARE NOW adında car2go ve DriveNow'un birleşmesinden oluşan bir Alman otomobil paylaşım şirketi Avrupa'nın en büyük TPS'lerinden biridir. 900.000'den fazla üye ve 11.000'den fazla arabayla Avusturya, Danimarka, Fransa, Almanya, Macaristan, İtalya, Hollanda ve İspanya'da faaliyet göstermektedir. Zipcar ise Amerika'da kurulmuş olan Türkiye'de de hizmet gösteren en büyük TPS'ler arasındadır.

Sanayileşmiş ülkelerde özel taşımacılığın artan kullanımıyla birlikte uzun vadede kirlilik ve trafik yoğunluğu problemleri aşırı enerji ve zaman tüketimi gibi ciddi olumsuz etkilere yol açmıştır. Ayrıca kişisel taşıt kullanımları taşıt satın alma ve sigorta maliyetlerinin yanı sıra kullanımdan kaynaklı yakıt, park yeri gibi maliyetlere de sebep olmaktadır. Kişiler özel taşıt sahibi olmak için tüm bu maliyetlere katlanmaktadırlar fakat taşıt kullanım oranları da çok düşüktür. Örneğin Amerika'da otomobiller zamanlarının %90'ını park halinde geçirmektedirler (Jorge ve diğ., 2013). Toplu taşıma kullanımı bu olumsuz etkileri ortadan kaldırmak için iyi bir alternatif olabilmektedir fakat bazı eksiklikleri vardır. İyi bir toplu taşıma ağına sahip olan ülkelerde bile vatandaşlar evlerinin önünden toplu taşıma araçları ile gitmek istedikleri yerlere ulaşamazlar. Bunun için mutlaka önceden belirlenmiş olan duraklara ulaşım sağlamalıdır. Ayrıca toplu taşıma programları esnek değildir, kişiselleştirilemezler. Belirli saatlerde toplu taşıma araçlarının çok yoğun olup diğer saatlerde boş kalması verimliliği düşürür. Tüm bu olumsuz etkileri en aza indirecek bir sisteme ihtiyaç duyulmuştur. Özel ve toplu taşıma arasında bir yerde olan TPS'ler kişilerin toplu taşıma ve yürüyüş ile ulaşamayacakları yerlere ulaşmalarını imkân sağlarken vatandaşlara özel araba kullanımının sosyal ve çevresel etkileri hakkında da farkındalık sağlamaktadır. Taşıtların daha verimli kullanılmasının kentsel hareketlilik üzerinde olumlu bir etkisi olduğu gözlemlenmiştir (Litman, 2000; Schuster, Byrne, Corbett ve Schreuder, 2005). Bu taşıtlar özel taşıtlara göre daha yüksek kullanım oranına sahiptir. Çünkü yolda daha fazla, park yerinde daha az zaman harcarlar. TPS'de taşıtlar uzun süreli park yerlerini meşgul etmezler. Bu da park için daha az alana ihtiyaç olduğu anlamına gelir (Mitchell, Borroni-Bird ve Burns, 2010). TPS'nin kullanılmasıyla araba sahibi olan kişilerin oranında düşüş olmuştur bu da araba kullanımını azaltmıştır (Celsor ve Millard-Ball, 2007). Kişilere ek bir ulaşım seçeneği sunarak yakıt verimliliği sağlar. Kentsel emisyonların ve şehir yoğunluğunun azaltılmasına katkı sağlamakla birlikte daha sürdürülebilir bir şehir inşa etmeyi destekler (Martin, ve Shaheen, 2011). Bir Alman otomobil şirketi üzerinde yapılan bir çalışmaya göre kullanıcı başına karbondioksit emisyonlarının 146 ile 312 CO₂/yıl arasında azaldığı gözlemlenmiştir (Firnkorner ve Müller, 2011). TP, Avrupa Birliği'nde önemli sayıda özel ve kamu taşıtlarının paylaşımı ile desteklenmiştir. Avrupa belediyeleri tarafından 2020 yılına kadar taşıt emisyonlarını %20 azaltmak adına APS teşvik edilmiştir (Jorge ve diğ., 2013).

Bu çalışma mevcut literatür taramalarını genişletmesi ve buna ek olarak TPS'leri için potansiyel karar problemlerini ortaya koyması açısından literatüre katkı sağlamıştır. Bu çalışmanın devamında taşıt paylaşım sistemlerinin sınıflandırılmasına yer verilmiştir. APS'nin konfigürasyonları üçüncü bölümde açıklanmıştır. Bir araba paylaşım sistemi tasarlanırken stratejik, taktik ve operasyonel seviyede karşılaşılabilecek karar problemleri üzerinde bölüm dördte durulmuştur. Bölüm beşte bu karar problemlerini çözmek için yapılmış literatürde var olan çalışmalar açıklanmıştır. Elektrikli araba paylaşımı, ek karar problemleri ve var olan çalışmalardan bölüm altıda bahsedilmiştir. Son olarak da bölüm yedide araştırmanın sonuçları tartışılmıştır.

2. Taşıt Paylaşım Sistemlerinin Sınıflandırılması

Taşıt paylaşımının artan popülaritesi ile, dünya çapında çeşitli biçimlerde faaliyet gösteren taşıt paylaşım kuruluşlarının (TPK) sayısında ciddi bir artış olmuştur. TPS'ler günümüzde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu da bu sistemlerin çok çeşitlenmesine sebep olmuştur. TPS'nin sınıflandırılmasını gösteren diyagram Şekil 1'de verilmiştir. Bu sınıflandırma literatürdeki birkaç tarama çalışması birleştirilerek oluşturulmuştur (Ataç, Obrenović ve Bierlaire, 2021; Brandstätter ve diğ., 2016; Ferrero, Perboli, Rosano ve Vesco, 2018; Golalikhani, Oliveira, Carravilla, Oliveira ve Antunes, 2021; Jorge ve diğ., 2013). Yapılan bu sınıflandırmaya göre TPS 5 ana başlık altında toplanmıştır. Bunlar Bisiklet Paylaşım Sistemleri (BPS), Araba Paylaşım Sistemleri (APS), Otonom Bağlı Elektrikli Taşıt Paylaşım Sistemleri (OBET-PS), Elektrikli Araba Paylaşım Sistemleri (eAPS) ve Elektrikli Küçük Taşıtlar Paylaşım Sistemi (EKTPS)'dir.



Şekil 1. Taşıt Paylaşım Sistemlerinin Sınıflandırılması

BPS, ücretli veya ücretsiz olarak kısa vadeli bisikletlerin belirli bir yerde bireylere ortak kullanım için sunulduğu ortak bir ulaşım hizmetidir. Birçok BPS, insanların bir istasyondan bir bisiklet ödünç almasına ve aynı sisteme ait başka bir istasyona iade etmesine izin verir. İstasyonlar, bisikleti kilitleyen ve yalnızca bilgisayar kontrolü ile serbest bırakan özel bisiklet raflarıdır. Kullanıcı ödeme bilgilerini girer ve bilgisayar bir bisikletin kilidini açar. Kullanıcı, bisikleti yerine kilitleyen bölmeye yerleştirerek iade eder. İlk BPS 1965 yılında Amsterdam'da Provo şirketi tarafından tanıtılmıştır. Şirket, şehir içinde kullanılmak üzere 50 bisikleti ücretsiz kullanım için vatandaşların hizmetine sunmuştur. Fakat kiltsiz olarak şehre dağıtılan bu bisikletler örgütün çevresel hedeflerine rağmen vatandaşlar tarafından suistimal edilmiş, hırsızlık ve hasarlar engellenememiştir (Shaheen, Guzman ve Zhang, 2010). Teknolojik ve operasyonel iyileştirmelerle kullanıcıları tespit etmek ve bisikletleri güvenli hale getirmek günümüzde daha kolaydır. İlk BPS girişimleri daha çok ekonomik ve çevresel nedenlere dayansa da kâr amacı güden şirketler bu sistemdeki fırsatı görerek yatırımlarını bu alana yönlendirmişlerdir (Ataç ve diğ., 2021). Günümüzde birçok sistem için, akıllı telefon haritalama uygulamaları yakındaki bisikletleri ve uygun bisiklet park alanlarını göstermektedir. Temmuz 2020'de Google Haritalar, rota önerilerine bisiklet paylaşımlarını dahil etmeye başlamıştır.

APS, rezerve edildiği kullanıcılar tarafından konforlu ve esnek bir seyahat imkânı sağlayan sistemlerdir. P2P (Peer-to-peer) ve B2C (business-to-consumer) araba paylaşımı var olan iki modeldir (Kim, Rasouli ve Timmermans, 2017; Münzel, Boon, Frenken, Blomme ve Linden, 2020). P2P modelinde, araba sahipleri arabalarını kısa süreliğine başka kişilere kiraya verirler. Böylelikle araba sahipleri arabalarını kullanmadıkları zaman; onları başka kişilerin kullanımına sunarak ek kazanç sağlayabilirler. P2P ile paylaşılan arabaları işleten Turo (<https://turo.com/>) isminde bir araba paylaşım sistemi vardır. Turo, 350.000'den fazla araba ve 850'den fazla marka ve model ile on milyondan fazla üyeden oluşan bir topluluktur. ABD, Kanada ve Birleşik Krallık'taki yerel ev sahiplerinden oluşan bu topluluk, istenilen yerde, istenilen herhangi bir arabanın rezerve edilebildiği, bir araba paylaşım pazarıdır. B2C modelinde ise, paylaşımı yapılan tüm arabaların sahibi kuruluştur. Bu paylaşım modelini kullanan Zipcar (<https://www.zipcar.com/>) 2000 yılından beri Kuzey Amerika bölgesinde hizmet veren en büyük araba paylaşım kuruluşlarından biridir. Kullanıcıların talebine göre sahip olduğu arabaların kiralanmasını sağlar.

OBET-PS ise, otonom elektrikli taşıtlardan oluşan taşıt paylaşım sistemidir. Otonom taşıtlar, yapay zekânın otomobili tamamen kendi başına sürdüğü ve sürüş görevi sırasında herhangi bir insan yardımı olmayan taşıtlardır. Aslında ilk sürücüsüz taşıt uzaktan kontrollü olarak 1925 yılında yapılmıştır. Fakat bu alandaki önemli adımlar Carnegie Mellon Üniversitesi'nden bir grup araştırmacının 1995 yılında direksiyonun otonom kontrol edildiği bir taşıt ile 5.000 km'ye yakın bir yol yapmasından sonra atılmaya başlanmıştır. 2002 yılında DARPA (ABD İleri

Savunma Projeleri Ajansı) yarışmaları ile hız kazanmış, daha sonra ABD Otomotiv Mühendisleri Derneği, SAE “Otonom Taşıt” kavramına açıklık getirmek için sıfırdan beşe, 6 otonom taşıt seviyesi tanımlamıştır. Son yıllarda “Otonom Taşıtlar” sürekli konuşulan bir konu haline gelmiştir. Birçok üretici firma otonom taşıtlarını piyasaya çıkarmaya hazırlanmaktadır. Ayrıca OBET’ler trafikte birbirleri ile haberleşebilen taşıtlardır. Bu durum da OBET’lerin TPS için iyi bir alternatif olmasını sağlamaktadır.

eAPS, elektrikli arabaların TPS’de kullanılmasıdır. Elektrikli otomobil, elektrik enerjisi ile çalışan otomobillere verilen isimdir. Elektrikli otomobillerin, otomotiv endüstrisinde ileride önemli bir etkisinin olacağı düşünülmektedir. Bu türdeki arabaların yakıt tasarrufu yanında şehir kirliliğini düşüreceği ve karbon emisyonunu azaltacağı tahmin edilmektedir. Bu nedenle TPK’lar tarafında elektrikli taşıtlar daha çok tercih edilmeye başlanmıştır. Elektrikli arabalar üç başlık altında incelenebilir. Bunlar Şebeke Uyumlu Elektrikli Arabalar (ŞUEA), Değiştirilebilir Bataryalı Elektrikli Arabalar (DBEA) ve Hibrit Elektrikli Arabalar (HEA)’dir. eAPS ile ilgili daha detaylı bilgiye Bölüm 6’da yer verilecektir.

EKTPS içerisinde; Elektrikli Motosiklet (MOPED) Paylaşım Sistemleri (eMPS), Skuter Paylaşım Sistemi (SPS), Elektrikli Hafif Taşıtlar Paylaşım sistemi (EHAPS) ve Tek Kişilik Akıllı Şehir İçinde Erişilebilir Taşıt Paylaşım Sistemi (PICA-V-SS) gibi düşük karbonlu taşıt seçenekleri mevcuttur.

Araba ve bisikletten farklı bir taşıt kullanan ilk paylaşım sistemi MOPED’lerle başlamıştır. 2015 yılında İtalya’da kurulmuş olan Zig Zag Sharing şirketi 2019 yılında GO Sharing ismi ile 500 taşıtla eMPS hizmetine başlamıştır. GO Sharing şu anda Hollanda, Belçika, Almanya, Avusturya ve Türkiye’de aktif olarak hizmet vermektedir. 2012 yılının başında Scoot şirketi San Francisco’da 10 taşıtla MPS başlatmış ve yıl sonunda taşıt sayısı 50’ye çıkmıştır (Lawler, 2012).

2017 yılında ise ilk skuter kullanan paylaşım sistemi Santa Monica, California’da piyasaya sürülmüştür. Uygulamanın ilk yılında 10 milyon sürüş yapıldığı açıklanmıştır (Lawler, 2012).

EHAPS, 2018 yılında ENUU isimli bir şirket tarafından İsviçre’de yeni bir tür taşıt paylaşım sistemi olarak piyasaya sürülmüştür. Daha sonra 2019 yılında Getaround adlı başka bir şirket benzer taşıtları Rotterdam’da piyasaya sürmüştür (Ataç ve diğ., 2021).

PICA-V taşıtı özellikle yaşlılar ve engelliler olmak üzere farklı nedenlerle hareket kabiliyeti kısıtlanan kişiler için özel olarak tasarlanmıştır. Ergonomi, konfor, stabilite, destekli sürüş, eko-sürdürülebilirlik, park etme ve hareket kabiliyetinin yanı sıra taşıt/altyapı akıllı ağ iletişimi PICA-V tasarımının ana özellikleri arasındadır. PICA-V ulaşım sistemi, kentsel trafiğin kısıtlı olduğu alanlarda vatandaşlara verimli ve akılcı bir hizmet sunmak için tasarlanmıştır.

3. Taşıt Paylaşım Sistemlerinin Konfigürasyonları

TPS konfigürasyonları dört ana başlık altında incelenebilir (Ataç ve diğ., 2021). Bunlar;

- Tercih edilen seyahat türüne göre: Tek yönlü seyahat ve gidiş dönüş seyahat,
- Taşıt dengesizlik yönetim stratejisine göre: Kullanıcı tabanlı, sabit personel tabanlı ve dinamik personel tabanlı,
- Fiyatlandırma stratejisine göre; Sabit ve dinamik,
- Park organizasyonuna göre; istasyon bazlı ve serbest park alanlı.

Geleneksel TPS olan gidiş-dönüş seyahat seçeneğinde kullanıcılar taşıtı teslim aldığı yere bırakmak zorundadır. Burada her istasyon için talebe göre istasyonun araba yoğunluğu planlanabildiği için operatörlerin işi daha kolaydır. Ancak kullanıcılar için taşıtı aldıktan sonra aynı istasyona getirme zorunluluğu her zaman uygun olmayabilir. Kişisel ihtiyaçlara daha uygun olan sistem tek yönlü seyahat seçeneğidir. Tek yönlü taşıt paylaşımında kullanıcılar bir taşıtı bir istasyondan alıp farklı bir istasyona bırakabilirler. Daha sonra yeniden bir taşıta ihtiyaç duyarlarsa başka bir taşıt alabilirler. Bu nedenle tek yönlü taşıt paylaşım sistemleri eğlence, alışveriş, sportif faaliyetler için kullanılabilen alternatif gidiş-dönüş sistemine göre daha fazla seyahatin yapılmasına olanak tanır (Barth ve Shaheen, 2002). Hatta Almanya’da yapılan bir ankette tek yönlü araba paylaşım şirketi olan car2go’nun pazar talebinin Almanya’da gidiş-dönüş seyahat seçeneği ile hizmet veren başka bir araba paylaşım şirketinden 25 kat daha yüksek olduğu görülmüştür (Firkorn ve Müller, 2011). Yunanistan’da gerçekleştirilen bir ankette ise arabanın alındığı yerden başka bir istasyona gönderme esnekliğinin kritik bir faktör olduğu sonucuna varılmıştır (Efthymiou, Antoniou ve Waddell, 2012). Gidiş-dönüş seyahat seçeneği bulunan bir TPS’nin davranışı incelenmiş

ve seyahatlerin çoğunun bakkal ve diğer ev alışverişleri için yapıldığı görülmüştür (Costain, Ardron ve Habib, 2012). Bu da gidiş dönüş seçeneğinde seyahat nedenlerinin sınırlı olduğu fikrini desteklemektedir.

Tek yönlü seyahat sistemlerinde park istasyonlarında biriken taşıtlar dengesizliğe sebep olabilir. Taşıtlar popüler lokasyonlarda birikme eğiliminde olduklarından bazı istasyonlarda park alanı sıkıntısı, bazı istasyonlarda ise taşıt sıkıntısı yaşanabilir. Bu sorunu ortadan kaldırmak için operatörler taşıt filosunu yeniden dengelemelidir. Kullanıcı tabanlı bir dengelemede istasyonlar arası dengelemenin kullanıcılar tarafından yapılması amaçlanmaktadır. Bunu sağlayabilmek için kullanıcılara bazı teşvikler verilebilir. Ayrıca dengeleme her bir taşıtı istenen yere götürebilen personel tarafından veya toplu olarak taşınmasını sağlayan daha büyük taşıtlar ile yapılabilir. Personel bazlı dengeleme statik ve dinamik olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Statik yeniden dengeleme sistem kapalıyken yani genellikle gece boyunca her gün sonunda yapılır. Dinamik yeniden dengelemenin ise çevrim içi ve çevrim dışı olmak üzere iki uygulaması vardır. Çevrim dışı olanda talep bilgisinin önceden bilindiği varsayılır ve gün boyunca gerçekleşecek yeniden dengeleme işlemleri gün başında bir kez yapılır. Daha fazla bilgi mevcut olsa bile gün içinde güncellenmez. Diğer taraftan çevrim içi yeniden dengeleme, gün içindeki değişen talep bilgilerine tepki vererek yönlendirme kararları değiştirilebilir. Yeniden dengeleme türü, yeniden dengeleme operasyonlarında kullanılan stratejiyi ifade eder ve sistemde kullanılan taşıtların türüyle güçlü bir şekilde ilişkilidir. Örneğin, bir kamyonla düzinelerce araba taşımak mümkün olmadığından, bir APS'yi yeniden dengelemek için büyük kamyonları kullanmak verimli değildir. Öte yandan, bir BPS için, insan gücünü kullanarak bisikletleri yeniden dengelemek genellikle pratik ve istenen bir durum değildir.

Fiyatlandırma teşvikleri kullanıcı tabanlı yeniden dengelemeyi teşvik etmek için kullanılmaktadır. Bu teşvikler genellikle dinamik fiyatlandırma stratejisi olarak uygulanır. Burada seyahatin fiyatı sadece başlangıç, varış noktası, seyahat uzunluğu ve süresi gibi yolculuğun özelliklerine bağlı olmayıp aynı zamanda seyahatin yapılacağı saat, filonun durumu, sıklık düzeyi gibi TPS'nin dinamiklerine de bağlıdır. Eğer fiyat yalnızca yolculuk karakteristiğine bağlı ise buna statik fiyatlandırma stratejisi denir.

TPS de kullanılan taşıtlar bırakılması gereken park istasyonlarına göre istasyon bazlı ve serbest park alanlı olmak üzere ikiye ayrılır. İstasyon bazlı modelde kullanıcılar arabaları önceden belirlenmiş olan istasyonlardan alarak yine belirli olan istasyonlara bırakmalıdırlar. Serbest park alanlı modellerde ise kullanıcılar kiraladıkları arabaları belirlenmiş olan bölgenin içerisinde herhangi bir halka açık park alanına bırakabilirler. Serbest park alanlı sistemler kullanıcı açısından daha esnek fakat operatör için daha karmaşıktır. Buna örnek olarak car2go ve BMW DriveNow verilebilir (Brandstätter ve diğ., 2016).

4. Farklı Yönetim Seviyeleri İçin Karar Problemleri

Araba paylaşım sistemlerinin artışıyla beraber rekabetçi bir pazar oluşmuştur. Artan taleple birlikte sistemin daha iyi anlaşılması ve kontrol edilmesi gerekmektedir. Aslında AP sadece bir iş veya filo optimizasyonu problemi değil; vatandaşlar, kamu yetkilileri, belediyeler ve şirketlerde dahil olmak üzere farklı aktörlerin içinde olduğu karmaşık bir sistemdir. Sistem bu aktörler arasındaki güçlü bağların yanı sıra mevcut toplu taşıma ağıyla entegrasyon halinde olma gerekliliğini de beraberinde getirmektedir. Bütün bu etmenlerden dolayı tüm bir şehre sunulan APS karmaşık bir problem haline gelmektedir. Bu çalışmada uygulanabilir bir taşıt paylaşım sistemi tasarlanırken karşılaşılabilecek birçok karar problemi üzerinde durulmuştur. Amaç AP'yi daha iyi tasarlayabilmek için sistemlerin talebinin ve arzının doğru bir şekilde modellenebilmesidir.

Problemler stratejik, taktik ve operasyonel seviyede alınabilecek kararları kapsamaktadır. Eğer bu problemler doğru bir şekilde ele alınmazsa sistem önemli bir kullanıcı kaybı, dolayısıyla da gelir kaybı yaşayabilir. Stratejik seviyede alınan kararlar bir yıldan fazla uzun vadeli planlama için alınan kararlardan oluşur. Sistemin kapsamı bu seviyede alınan kararlar ile belirlenir. Taktik seviyede alınan kararlar orta vadeli alınan kararları içerir. Bu kararlar 4-6 ay içerisinde güncellenebilir veya değiştirilebilir. Bu seviye stratejik ve operasyonel seviyeleri birbirine bağlayan bir ara seviye gibi düşünülebilir. Operasyonel seviyede ise sistemin mevcut durumu izlenir ve kısa vadede (bir gün veya birkaç saat) yapılması gereken fiziksel eylemler tanımlanır.

4.1. Stratejik Seviye Kararlar

Bu seviyede kullanılan veriler genellikle statiktir. Örneğin, şehrin coğrafi konumunu ve özelliklerini, park yerlerini, bölgenin ekonomik durumunu ve refah düzeyini içerir. Önemli bir girdi parçası, günün saatine göre düzenlenen, başlangıç-varış noktası matrisleri biçimindeki toplam geçmiş seyahat talebidir.

Stratejik düzeyde talep modelleri, varış yeri seçim modellerini içerir. Bunlar, (i) kullanıcı segmentasyonu, yani nüfusun sistemi benimseme olasılığı olan kesimlerinin belirlenmesi, (ii) reklam yatırımı ve (iii) pazara yerleştirme ile ilgili iş kararları almak için kullanılırlar (Ataç ve diğ., 2021).

Stratejik düzeydeki tedarik modelleri, arz/talep etkileşimlerinin bir simülasyonu ile birleştirilmiş bir ağ tasarım optimizasyon modelini içerir. Ağ topolojisi, kullanılan taşıt türü, yeniden dengeleme stratejisi ve sunulan hizmet düzeyi ile ilgili kararları desteklerler.

Ağ tasarımının bir parçası olarak, otopark tesislerinin optimal konumu ve büyüklüğüne karar vermek, taşıtların hem fazla hem de yetersiz stoklanmasını önlemek için verilmesi gereken önemli bir karardır. İstasyon bazlı konfigürasyonlarda bu kararlar sistem kurulumunun başında verilir. Her park yeri sadece bir taşıt kapasiteli istasyon olarak değerlendirilebileceğinden, serbest park alanlı park seçeneği için durum değişmez. Bu aşamada simülasyon yöntemi, operatörün sistemi değerlendirmesine ve buna göre aksiyon almasına yardımcı olur.

Son olarak, operatörün kullanıcılara sunmak istediği hizmet düzeyine bu seviyede karar verilmelidir. Operatör kullanıcı memnuniyetini üst düzeyde tutmak isterse, strateji şehirdeki taşıt sayısını ve/veya park yerlerini artırmak olabilir. Öte yandan, işletmeci daha sermaye odaklıysa, sistemin fiziksel bileşenlerine (taşıtlar, park yeri vb.) yapılan yatırım, hizmet seviyesinden daha önemlidir ve bu da kullanıcı memnuniyetini işletmeci için ikincil bir amaç haline getirir.

Stratejik düzeyde, hedef sistemin karlılığını veya kullanıcı memnuniyetini maksimize etmektedir. Çözüm metodolojileri; optimizasyon modelleri, simülasyon taşıtları ve çeşitli kesin ve sezgisel algoritmaları içerir (Ataç ve diğ., 2021).

4.2. Taktik Seviye Kararlar

Bu düzeyde kullanılan veriler, orta vadeli zaman aralığı ve mevsimsel özellikleri içermektedir. Alınan kararlar kapsamında mevsimsel hava tahmini, yağış, önemli olaylar/festivaller ve işgücü maliyeti dikkate alınır. Stratejik düzeyin aksine, bu düzey, ayrıştırılmış geçmiş talep verilerini hesaba katar. Dağıtılmış veriler, operatörün orta vadede talebi tahmin eden bir model geliştirmesine ve orta vadeli zaman aralığını kapsamamasını sağlar. Bu ayrıştırılmış talep verileri; seçilen zaman dilimi, başlangıçlar ile varış yerleri gibi herhangi bir kritere göre ve herhangi bir düzeyde toplanabilir.

Stratejik düzeyden aktarılan bütçe ve hedef kitleye ilişkin girdiler, orta vadeli talep tahmini için veri olarak kullanılır. Bu veriler (i) fiyatlandırma stratejisi (sabit veya dinamik) ve (ii) kullanıcılara yönelik teklifler/kampanyalar ile ilgili aksiyonları almak için kullanılırlar. Sabit fiyatlandırma durumunda, fiyatlandırma değerleri de bu seviyede belirlenir.

Taktik düzeydeki tedarik modelleri, bir taşıt filosu boyutlandırma modelini içerir. Sistemin filo büyüklüğü, personel sayısı, yeniden dengeleme stratejisinin süresi (statik veya dinamik) ve olası geçici istasyonlarla ilgili kararları içerir. Operatör, sistemi izler ve filo boyutunu ayarlar. Filo büyüklüğünü kısa bir süre için değiştirmek pratik değildir. Operatör, böyle bir ihtiyacı makul bir süre içinde izleyebilmeli ve analiz edebilmelidir. Yeniden dengeleme, rezervasyonlar ve fiyatlandırma gibi stratejilerin mevcut ve/veya gelecekteki olası uygulamalarını değerlendirmek için, sistemi simüle eden bir bileşen de eklenebilir.

Statik yeniden dengeleme durumunda, operatör yeniden dengelemenin günün hangi saatinde yapılacağına karar vermelidir. Dinamik durumda ise operatörün yeniden dengeleme işlemlerinin sıklığına ve ayrıca bunu çevrim içi veya çevrim dışı yapmasına karar vermesi gerekir. Buna göre, sistemi yeniden dengeleyebilmek için personel sayısı belirlenmelidir. Son olarak, olası önemli etkinlikler/festivaller için geçici istasyon kararları da bu aşamada verilir.

4.3. Operasyonel Seviye Kararlar

Bu düzeyde kullanılan veriler ayrıştırılmış ve genellikle dinamiktir. Örneğin, günlük hava tahmini, mevcut park yeri müsaitliği ve varsa mevcut rezervasyonları içerir. Geçmiş seyahat talebi verileri ayrı ayrı konum ve zamanda ayrıntılı olarak belirtilir.

Operasyonel seviyedeki talep modelleri, istasyon/bölge başına kısa vadeli talep tahminini içerir. Dinamik fiyatlandırma durumunda gerçek fiyatlandırmaya karar vermek için kullanılır.

Operasyonel seviyedeki tedarik modelleri, park mevcudiyeti ve taşıtların bir sonraki zaman penceresindeki konumu için olan modelleri içerir. Yeniden dengeleme operasyonları ve bakımla ilgili yönlendirme kararlarını destekler. Bu operasyonlar için yönlendirme iki durumda incelenebilir: yeniden dengeleme kamyonları için yönlendirme ve personel yer değiştirme. Bu seviyedeki simülasyon bileşeni, operatörün kısa vadeli verileri kullanarak yönlendirme stratejilerindeki değişiklikleri analiz etmesine yardımcı olur.

4.4. Araba Paylaşım Sistemleri için Karar Problemleri

Literatürde APS için karar problemleri Golalikhani ve diğ. (2021) tarafından tanımlayıcı ve kuralcı çalışmalar olarak sınıflandırılmıştır. Tanımlayıcı çalışmalar daha çok anket yöntemlerine dayanır ve sistemin durumunu veya ortaya çıkan sorunun özelliklerini tanımlamaya ve araştırmaya odaklanmaktadır (Kothari, 2004). AP kapsamında, birçok tanımlayıcı çalışma, AP'nin özellikleri, etkileri ve pazar potansiyelinin yanı sıra müşterilerin bir APS'ye katılma ve onu seyahatler için kullanma kararlarını etkileyen faktörler hakkında bilgiler vermektedir. APS için verilecek olan tanımlayıcı kararlar; hizmet türleri, AP üyeliğini etkileyen faktörler, AP kullanımını etkileyen faktörler, pazar eğilimleri ile bakış açıları ve AP'nin etkileri olmak üzere beş gruba ayrılmaktadır (Golalikhani ve diğ., 2021). Hizmet türleri başlığı altında yapılan çalışmalarda APS'nin seçilen konfigürasyonlarına göre müşteri memnuniyetleri, APS verimliliği ve kârlılığı incelenmektedir. AP üyeliğini etkileyen faktörlerin değerlendirilmesi ile AP hizmetlerinin benimsenmesini ve yayılmasını etkileyen arz yönlü önemli faktörler açıklanmaktadır. Bu sayede APS'lerin daha verimli tasarlanması ve iş başarısızlık risklerinin en küçüklenmesi sağlanmaktadır. AP kullanımını etkileyen faktörler, sistemleri kullanıcıların davranışları açısından değerlendirmektedir. Bu değerlendirme sonucunda APS için potansiyel talepler tahmin edilerek sistemler daha verimli hale getirilebilmektedir. Ayrıca kullanıcıların seyahat seçim davranışları da incelenmektedir. Bu sistemler tasarlanırken diğer bir önemli tanımlayıcı karar da pazar potansiyellerini ve eğilimlerini anlamaktır. Bu nedenle literatürdeki birçok çalışmada APS'lerin gelişimi ve ortaya çıkan eğilimleri araştırılmıştır. Son olarak AP'nin etkileri de literatürde incelenen problemler arasındadır. Bu çalışmalar AP'nin yayılma etkilerini tespit ederek, hükümetler, politikacılar ve sistemin sürdürülebilirliğini sağlamanın yolunu arayanlar için faydalı bilgiler sağlamaktadır.

Bu tanımlayıcı problemler için yapılan çalışmalar daha çok anket yöntemine dayanır ve bir APS'nin durumu ile karşılaşılan sorunları tanımlamaya yönelik problemleri içermektedir. Yapılan literatür araştırmasında ise optimizasyon yöntemlerine dayanan stratejik, taktik ve operasyonel seviyelerdeki karar problemlerini ele alan kuralcı çalışmalar incelenmiştir. Tanımlayıcı çalışmaların bizim için önemi, ele alınan kuralcı çalışmalar için veri sağlaması ve bir APS'nin özelliklerinin daha verimli bir şekilde belirlenmesi için kaynak oluşturmaktır. Kuralcı çalışmalar için karar problemleri beş başlık altında incelenmiştir (Brandstätter ve diğ., 2016).

İstasyon ve Operasyon Alanı Sorunları:

Bir APS'nin uygulanmasında uzun vadeli bir karar olarak, APS'ler iş modelleri gerektiriyorsa, operasyon alanının yanı sıra istasyonların yeri, sayısı ve boyutu belirlenmelidir. Bu bağlamda, APS'ler kullanıcı memnuniyetini ve kârını en üst düzeye çıkarırken, istasyon kurmaktan kaynaklanan maliyetleri en aza indirmenin yollarını aramaktadır.

Filo Boyutlandırma ve Dağıtım Sorunları:

Orta vadeli taktik düzeydeki bu kararlarla, taşıt paylaşım sistemlerinin verimliliğini artırmak için esas olarak optimal taşıt sayısı (filo boyutu) ve istasyonlar arasındaki filo dağılımı belirlenmeye çalışılır.

Talep Modelleme Sorunları:

Kullanıcıların seyahat davranışlarına ve araba paylaşımı kullanımını etkileyen faktörlere odaklanan deneysel araştırmaların yanı sıra, kısa vadeli operasyonel kararlardan olan seyahat talebi tahmin modelleri de APS üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Tanımlayıcı araştırmalarda uygulanan istatistiksel yöntemler, otomobil paylaşımı talebini etkileyen faktörleri belirlemek için esas olarak mevcut arzdan etkilenen gerçek kullanım verilerini veya anket sonuçlarını analiz eder. Bu nedenle, tanımlayıcı araştırma, araba paylaşım sistemlerinin planlanması ve işletilmesi için gerekli olan tüm potansiyel talebi modellemek için önemlidir. Aslında, hizmet seviyesini doğru bir şekilde ölçmek için kritik olmakla birlikte, taşıt paylaşım sistemleri için talep modellemesinde karşılanamayan talepleri dikkate almak önemlidir (Albiński, Fontaine ve Minner, 2018). Kuralcı çalışmalar açıklayıcı olmayı değil, esas olarak simülasyon ve makine öğrenimi yöntemlerini kullanarak taşıt paylaşım talebini modellemeyi ve tahmin etmeyi amaçlar.

Daha önce de belirtildiği gibi, stratejik, taktik ve operasyonel kararlar arasında bir ilişki vardır. Yani istasyonların sayısı, konumu ve büyüklüğü ile filo büyüklüğü ve talep tahminleri, taşıtların dağıtımını etkiler. Bu nedenle Boyacı ve diğ. (2015), de Almeida Correia ve Antunes (2012) ve Nourinejad ve Roorda (2014), yer değiştirme operasyonlarını diğer uzun vadeli ve orta vadeli kararlarla entegre etmiştir.

Taşıt Stok Dengesizliği Sorunları:

Bir araba paylaşım sistemindeki taşıtların dengesiz dağılımı, esas olarak, kullanıcıların taşıtları yolculuğa başladıkları yerden farklı bir yere park etmelerine izin veren tek yönlü istasyon tabanlı ve serbest park alanlı hizmetlerde ortaya çıkar. Taşıt stok dengesizliğinin etkilerini azaltmak ve APS kullanıcılarının taşıtların kullanılabilirliğini sağlamak için bu karar problemi kısa vadeli operasyonel düzeydeki bir karardır. Bu problemi ortadan kaldırmak için, optimal filo dağılımını yeniden sağlayacak yaklaşımlar geliştirmeye çalışılır. Bu kapsamda dengesizliği azaltmak için kullanıcılara bazı teşvikler verilerek yeniden dengeleme sağlanabilir.

Literatüre göre, taşıt dengesizliğinin üstesinden gelmek için yaygın prosedürler genel olarak üç türe ayrılabilir (Jorge ve diğ., 2013; Martínez, Correia, Moura ve Lopes, 2017; Santos ve Correia, 2015). İlk tip, APS personelinin taşıtları fazla taşıt bulunan istasyonlardan/bölgelerden eksik oldukları bir istasyona/bölgeye taşımalarının planlandığı operatör tabanlı yer değiştirmedir. İkinci tür, kullanıcıların genellikle fiyat teşviklerine dayalı mekanizmalar aracılığıyla APS tarafından istenen alanlara taşıtlarını yeniden yerleştirmeye teşvik edildiği kullanıcı tabanlı yer değiştirmedir (örneğin, toplam kiralama maliyetinde %20 indirim yapılması). Dinamik fiyatlandırma ise kullanıcılara aşırı stoklu alanlarda daha düşük fiyatlara ve taşıt sıkıntısı olan bölgelerde daha yüksek fiyatlara yolculuklar sunar. Bu son tip, kullanıcıların seçtikleri yolculuk seçeneğiyle taşıt stok dengesizliğinin azaltılması amaçlanır. Yani dinamik fiyatlandırma ile yer değiştirme yapılmadan önce kullanıcılar tarafından yapılmak istenen yolculukların taşıt stok dengesizliğine sebep olup olmama durumu değerlendirilmekte ve değerlendirme sonucuna göre göre yolculuklar kabul veya reddedilmektedir. Dinamik fiyatlandırma ile dengesizliğe sebep olan seyahatler için kullanıcılara daha yüksek fiyatlar sunularak, seçim kullanıcılara bırakılmaktadır. Bu bağlamda, taşıt stok dengesizliğinin etkilerini hafifletmek için fiyatlandırma kararlarının önemi göz önünde bulundurulmalıdır.

Fiyatlandırma Sorunları:

Kısa vadeli operasyonel seviyeye giren bu kararlar ile yolculuk ücretlerinin statik mi dinamik mi olacağı belirlenir. Ayrıca eğer dinamik fiyat stratejisi kullanılacaksa yolculuklara göre fiyatlandırmanın nasıl değişeceği kararı da önem arz etmektedir.

5. Araba Paylaşım Sistemleri Literatür Araştırması

Son yıllarda yeni ve daha sürdürülebilir bir ulaşım yolu olan araba paylaşım sistemleri ile ilgili yapılmış olan birçok çalışma vardır. Bu çalışma kapsamında genellikle B2C araba paylaşım sistemi ile ilgili olan çalışmalar incelenmiştir. Yapılan inceleme sonucunda görülmüştür ki 4. Bölümde belirtilen stratejik, taktiksel ve operasyonel seviye karar problemleri arasında güçlü bir etkileşim vardır. Bu nedenle yapılan bu sınıflandırmaya göre kesin bir şekilde çalışmaları kategorize etmek mümkün olamamıştır. İncelenen makalelerin konfigürasyon türlerine göre sınıflandırılmış hali Tablo 1'de mevcuttur. Tabloda her bir çalışmanın ele aldığı probleme ve çözüm yaklaşımına göre amaç fonksiyonu türü, seyahat tipi, park şekli, yeniden dengeleme stratejisi ve fiyatlandırma türü işaretlenmiştir. Bu sınıflandırma açısından net bir ifade bulundurmeyen çalışmalar için işaretleme yapılmayarak ilgili hücreler boş bırakılmıştır.

Çalışmalar amaç fonksiyonlarına göre parasal tabanlı (PT) ve hizmet düzeyi kalitesine (HDK) göre ayrılmıştır. PT amaçlar en az maliyet veya toplam karın en büyüklenmesini hedeflemektedir. HDK'de ise müşterilere sağlanan hizmet düzeyinin en büyüklenmesi amaçlanmıştır. Tablo 1'de de görüldüğü gibi bazı çalışmalar her iki amacı da sağlamaya çalışmıştır. Seyahat tipi, park şekli, yeniden dengeleme stratejisi ve fiyatlandırma türü kapsamında yapılan ayrımların kapsamı Bölüm 3'te açıklanmıştır. Bu tabloya göre literatürde var olan çalışmalar daha çok parasal tabanlı amaçlar için oluşturulmuştur. Ayrıca kullanıcılar tarafından daha çok tercih edilen tek yönlü sistemler ve uygulamanın kolaylığı açısından da daha kolay olan istasyon bazlı sistemler üzerinde çalışmalar yoğunlaşmıştır.

Tablo 1. APS için sınıflandırılmış makaleler

Yazar	Amaç Fonk.		Seyahat tipi		Park Şekli		Yeniden Dengeleme Stratejisi			Fiyatlandırma Türü	
	¹ PT	² HDK	³ GD	⁴ TY	⁵ İB	⁶ SPA	⁷ S	⁸ D	⁹ KT	¹⁰ Sb	⁸ D
Fan, Machemehl ve Lownes (2008)	✓			✓	✓			✓		✓	
Nair ve Miller Hooks (2011)	✓	✓		✓	✓		✓			✓	
de Almeida Correia ve diğ. (2012)	✓			✓	✓		✓			✓	
Jorge, Correia ve Barnhart (2014)	✓			✓	✓			✓		✓	
Jorge, Barnhart ve de Almeida Correia (2015)	✓			✓	✓					✓	
Jorge, Molnar ve de Almeida Correia (2015)	✓			✓	✓	✓			✓	✓	✓
Santos ve diğ. (2015)	✓			✓	✓			✓		✓	
Nourinejad, Zhu, Bahrami ve Roorda (2015)	✓			✓	✓			✓		✓	
Chow, Yu ve Pavone (2015)	✓			✓	✓				✓		✓
Rossi, Zhang, Hindy ve Pavone (2018)	✓	✓		✓		✓		✓		✓	
Huang, de Almeida Correia ve An (2018)	✓			✓	✓			✓		✓	
Sun, Tang, Chen ve Zhang (2020)	✓			✓		✓					
Enzi, Parragh, Pisinger ve Prandstetter (2021)	✓			✓	✓					✓	
Nguyen, Hoang ve Vu (2022)	✓			✓	✓						✓

¹PT: Parasal Tabanlı, ²HDK: Hizmet Düzeyi Kalitesi, ³GD: Gidiş-Dönüş, ⁴TY: Tek Yön, ⁵İB: İstasyon Bazlı, ⁶SPA: Serbest Park Alanlı, ⁷S: Statik, ⁸D: Dinamik, ⁹KT: Kullanıcı Tabanlı, ¹⁰Sb: Sabit

6. Elektrikli Araba Paylaşım Sistemleri, Karar Problemleri ve Literatür Araştırması

Bu bölümde elektrikli arabaların kullanım avantajları, çeşitleri, ilk ne zaman kullanılmaya başlandığı gibi temel bilgiler verildikten sonra APS'de elektrikli arabaların kullanılmasıyla birlikte değişen veya ortaya çıkan karar problemlerinden bahsedilecektir. Son olarak ise eAPS ile ilgili literatür taramasına yer verilmiştir.

6.1 Elektrikli Araba Paylaşım Sistemleri

Elektrikli araba, elektrik enerjisi ile çalışan otomobillere verilen isimdir. Bu arabalar, içten yanmalı motora sahip türdeşlerinin aksine petrol ve türevi yakıtlara ihtiyaç duymamaktadır. Bunun yerine arabalarda bulunan lityum iyon ve benzeri pillerden oluşan setler vasıtasıyla elektrik motoruna güç aktarılır. Ayrıca atmosfere herhangi bir zararlı gazın salınımını yapmadıkları için periyodik olarak gerçekleştirilen egzoz gazı muayenesinden muaf tutulurlar. Üstelik düşük yakıt tüketimi, bakım sıklıklarının az olması ve ikinci el satışlarında değer kaybetmemeleri nedeniyle bu arabalar, ciddi oranda maliyet avantajı da sağlamaktadır. Bu sayede elektrikli arabalar yakıt tasarrufu yanında şehir kirliliğini düşürürler ve karbon emisyonunu da azaltırlar. Bu nedenle APS'de çevre dostu elektrikli arabalar giderek daha fazla kullanılmaya başlanmıştır.

Elektrikli arabaların ŞUEA, DBEA ve HEA olarak üç başlık altında incelendiğinden Bölüm 2'de bahsedilmiştir. ŞUEA prize takılarak şarj edilen elektrikli arabalardır. Kullanıcılar şarj istasyonlarına geldiklerinde arabaları şarj olana kadar beklemek zorundadırlar. DBEA ise pilli elektrikli arabalardır. Eğer arabanın şarjı biterse kullanıcıların şarj istasyonuna giderek boş bataryalarını dolusu ile değiştirmeleri yeterlidir. Yani arabaları şarj olana kadar istasyonda beklemeleri gerekmemektedir. HEA da ise arabalar hem prize takılarak şarj olabilmekte hem de boş bataryalar dolusu ile değiştirilebilmektedir.

Barth ve Todd (1999), elektrikli arabaların kullanımını araba paylaşım sistemleri bağlamında ilk düşünenler arasındadır. Güney Kaliforniya'daki bir tatil yerindeki bir vaka çalışmasına dayanarak, müşteri bekleme sürelerini karşılamayı amaçlayarak her 100 yolculuk için 3-6 arabanın yeterli olduğu, ancak gerekli süreyi en aza indirmek için yaklaşık 18-24 arabanın gerekli olacağı sonucuna varmışlardır. Çalışmada yolculukların ortalama 5 milden daha kısa sürdüğü ve dolayısıyla da araba şarj durumunun hiçbir zaman yaklaşık %70'in altına düşmediği varsayılmıştır. Yolculuk başına araba sayısının yanı sıra, yer değiştirme algoritmasının ve kullanılan şarj şemasının böyle bir sistemi başarılı bir şekilde işletmenin ana faktörleri olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

6.2 Elektrikli Araba Paylaşım Sistemlerinde Karar Problemleri

Elektrikli arabaların kullanıldığı taşıt paylaşım sistemlerinin tasarlanması ve işletilmesi, geleneksel yanmalı arabaların kullanıldığı sistemlere göre ek zorluklar doğurmaktadır. Örneğin, belirli şarj istasyonlarında arabaların gün boyunca şarj edilmesi zorunluluğu EA'ların kullanılabilirliğini önemli ölçüde sınırlamaktadır. Ayrıca, yüksek maliyetli olmasından dolayı çok fazla şarj istasyonu inşa edilmemiştir ve pahalı hızlı şarj istasyonları olmadığından şarj süreleri oldukça uzun olabilmektedir. Son olarak, elektrik tüketimi arabaların gün içindeki şarj durumunu daha iyi tahmin etmek için doğru bir şekilde modellenmesi gereken sürüş ve çevre koşullarından (örneğin, hız profili veya dış sıcaklık) önemli ölçüde etkilenir.

eAPS'de ortaya çıkan stratejik kararlar, esas olarak, operasyonel bölge boyunca şarj istasyonlarının konumlarını ve boyutlarını (yani şarj yuvalarının sayısını) planlamayı içerir. İşletmecinin temel amacı, istasyonların inşasından kaynaklanan maliyetlerini en aza indirirken, aynı zamanda işletme sırasında memnun kullanıcı taleplerinden elde edilen kârın en üst düzeye çıkarılmasını sağlamaktır. Kullanıcılar, yalnızca istekleri nispeten yüksek bir olasılıkla karşılanırsa bir taşıt paylaşım sistemi kullanmayı düşüneceklerinden, bir operatör, taşıt paylaşım sistemini kurmak için gerekli ilk maliyetler (uzun vadeli yatırım) ile taşıt paylaşım sistemini sürdürebilmek için gereken maliyetler arasında zor bir dengeyle karşı karşıya kalmaktadır (Brandstätter ve diğ., 2016).

Taktiksel kararlar orta vadeli planlama kararlarıyla ilgilidir. Bu zaman ufku içinde, eAPS ile ilgili olan ana optimizasyon problemi, arabaların şarj istasyonlarına tahsis edilmesidir. Böyle bir problem, esas olarak, arabaların ilk konumunun kritik olduğu ve talep dağılım modellerinde önemli değişiklikler meydana geldiğinde ayarlanması gerekebileceği iki yönlü modellerle ilgilidir (Brandstätter ve diğ., 2016).

Operasyonel seviye kararlar ise APS içinde geçerli olan talep modelleme, taşıt stok dengesizliği, fiyatlandırma gibi daha kısa vadeli kararları kapsayan karar problemleridir.

Elektrikli arabalar Bölüm 6.1’de belirtildiği gibi çevresel ve ekonomik açıdan birçok avantajı olmasına rağmen yukarıda belirtilen sebepler nedeniyle APS’de klasik taşıtlara göre birkaç ek planlanması zor karar problemleri ortaya çıkarmaktadır. Bu ek karar problemleri aşağıda sıralanmıştır.

6.2.1. İstasyonların/Şarj İstasyonlarının Konumu

Yukarıda bahsedildiği gibi, bir araba paylaşım sisteminin performansını belirleyen önemli bir faktör, hangi müşterilerin onu gerçekten kullanabileceğini belirlediğinden, şu anda kullanılmayan her bir arabanın sistem içindeki konumudur. Birçok araba paylaşım sistemi istasyon bazlı olduğundan (yani, arabalar her zaman araba paylaşım şirketinin sahip olduğu sabit park yerlerinden alınır ve oraya iade edilir), bu istasyonların konumu eşit derecede önemli hale gelir. Bu, özellikle elektrikli araba kullanan sistemler için geçerlidir, çünkü genellikle gün içinde belirtilen istasyonlarda şarj edilmeleri ve gece boyunca (tamamen) şarj edilmeleri gerekir. Bu problemlerde temel amaç taşıt paylaşım şirketlerinin toplam maliyetini minimize etmek veya toplam kârı maksimize etmektir. Ek olarak, bazen müşterilerin yürüme mesafesini en aza indirmek gibi kullanıcı memnuniyetine ilişkin hedefler de göz önünde bulundurulur.

6.2.2. Arabaların Mevcut İstasyonlara Tahsisi

Arabaların istasyonlar arasında yerinin değiştirilmesinin yanı sıra (sonraki bölümlerde açıklanacağı gibi), çoğu çalışma arabaların istasyonlara atanmasını açıkça optimize etmemektedir. Arabaların belirli bir talebin kaynağı olarak kabul edilmesi ve istasyonların bu talebi karşılamak için inşa edilmesi ve boyutlandırılması da bu problemin çözümü için farklı bir bakış açısıdır.

6.2.3. Çok İstasyonlu Araba Paylaşım Sistemleri için Arabaların Yer Değiştirmesi

Son yıllarda, tek yönlü seyahat seçeneği, geleneksel veya elektrikli araba filolarıyla taşıt paylaşım hizmetlerinde giderek daha fazla tercih edilmeye başlanmıştır. Tek yönlü taşıt paylaşım sistemleri, sabit park yerlerinin olmadığı durumlarda serbest park alanlı veya istasyon bazlı olabileceğinden daha önce bahsedilmiştir. Serbest park alanlı sistemlere ilişkin çalışmalar çok az olmakla beraber, daha çok istasyon tabanlı sistemler üzerinde çalışılmıştır. Ancak, bu bölümde açıklanan birçok konu, serbest park alanlı sistemler için de geçerlidir. Tek yönlü seyahat seçeneği, APS’de potansiyel müşterilerin sayısında önemli bir artış sağlar. Bu gelişmiş esnekliğin, servis sağlayıcı arasındaki araba dağıtımını üzerinde güçlü bir etkisi vardır. Gidiş-dönüş zorunluluğu olmadığı için, araba park alanlarında bir dengesizlik durumu meydana gelebilir ve arabaların yetersiz olduğu istasyonlarda araba kullanılabilirliğini sağlama sorununu sistem sağlayıcısı için önemli bir sorun haline getirebilir. Aynı APS’de olduğu gibi araba paylaşım şirketinin hizmet dışı seyahatlerini kısıtlamak ve ekonomik kayıplarını sınırlamak için iki tür yer değiştirme stratejisi uygulanabilir. Kullanıcı Tabanlı (KT) stratejide yer değiştirmeye müşterinin kendisi karar verirken, Operatör Tabanlı (OT) stratejide yer değiştirme kararları personel operatörleri tarafından merkezi veya dağıtılmış bir şekilde gerçekleştirilir.

KT yer değiştirme stratejilerinin şu anda gerçek potansiyelleri henüz değerlendirilmemiştir. Bununla birlikte, günümüzde sağlayıcıların iş yükünü azaltmak için kullanıcılara bazı teşvikler önerilmektedir (örneğin, car2go kullanıcıları, arabaya yakıt doldururlarsa kullanıcılarına ücretsiz sürüş süresi vermektedir) (Brandstätter ve diğ., 2016).

Mevcut araba paylaşım sağlayıcıları genellikle sistem kapandıktan sonra gece boyunca yer değiştirme işlemlerini gerçekleştirir. Literatürde farklı pratik yer değiştirme yöntemleri mevcuttur. Bu tür tekniklerin örnekleri Barth, Todd ve Xue (2004) tarafından aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

- EA'ların bir kamyonla taşınması,
- Bir "servis" arabası ile tek bir EA'nın çekilmesi,
- Operatörlerin bir "servis" arabası kullanarak yer değiştirme pozisyonlarına taşınması.

6.2.4. Pil Değiştirme

Pil değiştirme sorunu APS’lerden farklı olarak eAPS ile alakalı bir sorundur. Bataryalı elektrikli arabaların geniş çapta yayılması için bir ana zorluk, sınırlı menzilleri ve geleneksel arabaların aksine, yeniden şarj işlemlerinin önemli miktarda zaman almasıdır. Özellikle uzun mesafeli seyahatlerde gece şarjı yeterli değildir. Bu nedenle, pil değiştirme (şarj etmek yerine), pillerin bir şirkete ait olduğu ve kullanıcıların halihazırda kullanılmış (neredeyse

Tablo 2. eAPS için sınıflandırılmış makaleler

Yazar	Amaç Fonk.		Seyahat tipi		Park Şekli		Yeniden Dengeleme Stratejisi			Fiyatlandırma Türü	
	¹ PT	² HDK	³ GD	⁴ TY	⁵ İB	⁶ SPA	⁷ S	⁸ D	⁹ KT	¹⁰ Sb	⁸ D
Kumar ve Bierlaire (2012)		✓	✓		✓					✓	
Worley, Klabjan ve Sweda (2012)	✓		✓		✓					✓	
Wang ve Lin (2013)	✓	✓									
Almuhtady, Lee, Romeijn, Wynblatt ve Ni (2014)	✓										
Cavadas, de Almeida Correia ve Gouveia (2015)		✓									
Yang ve Sun (2015)	✓										
Weigl ve Bogenberger (2015)	✓			✓		✓		✓		✓	
Boyacı, Zografos ve Geroliminis (2015)	✓			✓	✓			✓		✓	
Boyacı, Zografos ve Geroliminis (2017)	✓	✓		✓	✓			✓		✓	
Xu, Meng ve Liu (2018)	✓			✓		✓		✓			✓
Zhao ve diğ. (2018)	✓			✓	✓		✓			✓	
Zhang, Liu ve He (2019)	✓			✓	✓		✓			✓	
Xu ve Meng (2019)	✓			✓	✓			✓		✓	
Boyacı ve Zografos (2019)	✓			✓	✓			✓			✓
Miao, Jia, Li ve Qiu (2019)	✓	✓		✓	✓	✓		✓		✓	
Lai, Chen ve Natarajan (2020)	✓	✓		✓	✓						✓
Li, Pantelidis, Chow ve Jabari (2021)		✓		✓	✓						
Cai, Wang, Luo ve Liang (2022)	✓			✓	✓						✓

¹PT: Parasal Tabanlı, ²HDK: Hizmet Düzeyi Kalitesi, ³GD: Gidiş-Dönüş, ⁴TY: Tek Yön, ⁵İB: İstasyon Bazlı, ⁶SPA: Serbest Park Alanlı, ⁷S: Statik,

⁸D: Dinamik, ⁹KT: Kullanıcı Tabanlı, ¹⁰Sb: Sabit

boş) pillerini önceden tanımlanmış Pil Değişirme İstasyonlarında (PDİ) tam şarjlı bir pille değiştirdiği uygun bir alternatif olarak kabul edilmiştir. Bu işlem birkaç dakika içinde yapılabilmektedir bu nedenle kullanıcılar açısından çok daha avantajlı bulunmaktadır (Yani geleneksel bir arabaya yakıt ikmali yapmak için gereken yaklaşık aynı zaman dilimini kapsamaktadır). Pillerde standardizasyon eksikliği ve sistemi kurmak için gereken büyük yatırımlar bu tür bir teknolojik yaklaşımı zorlaştırırsa da literatürde bazı ilginç çalışmalar bulunmaktadır.

Literatürdeki yaklaşımlar, esas olarak, pil değiştirme istasyonlarının kurulması (ve muhtemelen bakımının yapılması) için toplam maliyetlerin en aza indirilmesi ile ilgilidir. Ayrıca klasik araba rotalama uygulamalarında toplam rotalama maliyetleri de kısmen dikkate alınmaktadır. İlgili çalışmaların çoğu, maksimum seyahat menzillerini sınırlayan kısıtlamaları (bir konum-yönlendirme sorunu düşünüldüğünde) ve nispeten küçük potansiyelli takas istasyonları setlerine (genellikle yalnızca mevcut “geleneksel” benzin istasyonları) yönelik kısıtlamaları dikkate alır. Ayrıca, elektrik şebekesinin sınırlamalarından kaynaklanan (özellikle hızlı şarj kullanılıyorsa) konum başına pil sayısı üst sınırları dikkate alınmaktadır.

6.3. Elektrikli Araba Paylaşım Sistemleri Literatür Araştırması

Elektrikli arabaların kullanımının yaygınlaşması ile elektrikli araba paylaşım sistemleri ile ilgili yapılmış olan birçok çalışma vardır. Daha önce de belirtildiği gibi stratejik, taktik ve operasyonel seviyelerdeki karar problemleri arasında güçlü bir etkileşim vardır. Bu nedenle yapılan bu sınıflandırmaya göre kesin bir şekilde çalışmaları kategorize etmek mümkün olmamıştır. İncelenen makalelerin konfigürasyon türlerine göre sınıflandırılmış hali Tablo 2’de mevcuttur. Bu tabloda da Tablo 1’de olduğu gibi her bir çalışmanın ele aldığı probleme ve çözüm yaklaşımına göre amaç fonksiyonu türü, seyahat tipi, park şekli, yeniden dengeleme stratejisi ve fiyatlandırma türü işaretlenmiştir. Bu sınıflandırma açısından net bir ifade bulundurmayan çalışmalar için işaretleme yapılmayarak ilgili hücreler boş bırakılmıştır.

Çalışmalar amaç fonksiyonlarına göre parasal tabanlı (PT) ve hizmet düzeyi kalitesine (HDK) göre ayrılmıştır. PT amaçlar en az maliyet veya toplam kârın en büyüklenmesini hedeflemektedir. HDK’de ise müşterilere sağlanan hizmet düzeyinin en büyüklenmesi amaçlanmıştır. Tablo 2’de de görüldüğü gibi bazı çalışmalar her iki amacı da sağlamaya çalışmıştır. Seyahat tipi, park şekli, yeniden dengeleme stratejisi ve fiyatlandırma türü kapsamında yapılan ayrımların kapsamı Bölüm 3’te açıklanmıştır. Bu tabloya göre literatürde var olan çalışmalar daha çok parasal tabanlı amaçlar için oluşturulmuştur. Ayrıca kullanıcılar tarafından daha çok tercih edilen tek yönlü sistemler ve uygulamanın kolaylığı açısından da daha kolay olan istasyon bazlı sistemler üzerinde daha çok çalışılmıştır.

7. Sonuç

Yakın zamanda TPS’nin daha çok kullanılmasıyla birlikte bu konuda yapılan çalışmalar da yoğunlaşmıştır. Bu çalışma kapsamında APS ve eAPS için literatürde var olan kuralcı çalışmalar için bir çerçeve çizilmeye çalışılmıştır. Yapılan araştırmalar sonucunda literatürde bazı boşluklar tespit edilmiştir. Bunlardan ilki APS ile ilgili kuralcı ve tanımlayıcı birçok çalışma olmasına rağmen aradaki bağlantının net olarak kurulamamasıdır. Yani tanımlayıcı çalışmalardan elde edilen çıkarımların kuralcı çalışmalarda kullanılması daha verimli ve uygulanabilir APS’ler tasarlanabilecekken yapılan çalışmalarda bu net bir şekilde görülmemiştir. Bir diğeri ise APS’lerin genellikle tekil olarak ele alınmasıdır. Literatürde var olan çalışmaların bazıları çok modlu yani diğer ulaşım taşıtlarını da APS planlamasına dahil etmiştir ve müşterilere seçebilecekleri daha fazla seçenek sunmuşlardır. Bu şekilde yapılacak bir planlamanın güçlükleri olsa da daha uygulanabilir ve müşteriler tarafından daha çok tercih edilebilir olduğu düşünülebilir. Gelecekte yapılan çalışmalar için çok modlu seyahat seçeneklerinin de APS’lere dahil edildiği modeller çoğaltılabilir. Geleneksel APS’de homojen bir filonun bulunduğu varsayılmıştır. Halbuki gerçek hayat problemlerinde bir filoda farklı taşıtlar da bulunabilmektedir. Bu da göz önünde bulundurularak her bir değişen taşıt tipine göre değişen fiyat ve talep bilgileri de modellere dahil edilebilir. Serbest park alanlı APS’nin yaygınlaşması ile kullanıcıların APS’lere olan taleplerinin artacağı ve kullanıcıların taşıt sahibi olmaktansa bu paylaşım sistemlerini tercih edeceği düşünülmektedir. Bu nedenle literatürde az sayıda çalışılan serbest park alanlı APS’ler için daha fazla model geliştirilebilir. Ayrıca TPS’nin konfigürasyonlarına göre yapılan ayırmda görülmüştür ki yapılan çalışmalar genellikle her bir alt başlıktan sadece birine ait olma eğilimindedir. Yani bir APS ya gidiş dönüş ya tek yönlü seyahat seçeneğine izin vermekte veya ya istasyon bazlı park alanları ya da serbest park alanları içermektedir. Yapılacak çalışmalarda bu sınıflandırmalar için hibrit çalışmalar önerilerek daha opsiyonel modeller geliştirilebilir. APS’de müşteriler tarafından son anda rezervasyonlar iptal edilebilmekte veya değiştirilebilmektedir. Talep modelleri ile ilgili yapılan çalışmalarda bu stokastik durum daha fazla dâhil edilerek daha gerçekçi modeller oluşturulabilir.

Bu çalışmada sayfa sınırlaması nedeniyle kapsam daraltılarak sadece TPS sınıflandırılmasında belirtilen alt başlıklardan iki tanesi olan APS ve eAPS'ler için karar problemleri üzerinde durulmuştur. Gelecek çalışmalarda BPS, OBET-PS ve EKTPS'ler için de karar problemleri ayrıntılı olarak incelenebilir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; İpek Damla Akpınar, bilimsel yayın araştırması, literatür taraması, makalenin oluşturulması, sonuçların tartışılması; Barış Keçeci, çalışma alanı ve konunun bulunması, araştırma yönteminin denetlenmesi, bulguların tartışılması ve nihai yazıya katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışmasının olmadığını beyan ederler.

Kaynaklar

Albiński, S., Fontaine, P., & Minner, S. (2018). Performance analysis of a hybrid bike sharing system: A service-level-based approach under censored demand observations. *Transportation research part E: logistics and transportation review*, 116, 59-69. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2018.05.011>

Almuhtady, A., Lee, S., Romeijn, E., Wynblatt, M., & Ni, J. (2014). A degradation-informed battery-swapping policy for fleets of electric or hybrid-electric vehicles. *Transportation Science*, 48(4), 609-618. Doi: <https://doi.org/10.1287/trsc.2013.0494>

Ataç, S., Obrenović, N., & Bierlaire, M. (2021). Vehicle sharing systems: A review and a holistic management framework. *EURO Journal on Transportation and Logistics*, 10, 100033. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejtl.2021.100033>

Barth, M., & Shaheen, S. A. (2002). Shared-use vehicle systems: Framework for classifying carsharing, station cars, and combined approaches. *Transportation Research Record*, 1791(1), 105-112. doi: <https://doi.org/10.3141/1791-16>

Barth, M., & Todd, M. (1999). Simulation model performance analysis of a multiple station shared vehicle system. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 7(4), 237-259. doi: [https://doi.org/10.1016/S0968-090X\(99\)00021-2](https://doi.org/10.1016/S0968-090X(99)00021-2)

Barth, M., & Todd, M. (2001). User behavior evaluation of an intelligent shared electric vehicle system. *Transportation Research Record*, 1760(1), 145-152. doi: <https://doi.org/10.3141/1760-1>

Barth, M., Shaheen, S. A., Fukuda, T., & Fukuda, A. (2006). Carsharing and station cars in Asia: Overview of Japan and Singapore. *Transportation Research Record*, 1986(1), 106-115. doi: <https://doi.org/10.1177/0361198106198600114>

Barth, M., Todd, M., & Xue, L. (2004). User-based vehicle relocation techniques for multiple-station shared-use vehicle systems. Retrieved from <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.360.8614>

Bird marks one year anniversary with 10 millionth environmentally-friendly ride, (2018). Retrieved from <https://www.prnewswire.com/news-releases/bird-marks-one-year-anniversary-with-10-millionth-environmentally-friendly-ride-300715767.html>

Boyacı, B., & Zografos, K. G. (2019). Investigating the effect of temporal and spatial flexibility on the performance of one-way electric carsharing systems. *Transportation Research Part B: Methodological*, 129, 244-272. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2019.09.003>

Boyacı, B., Zografos, K. G., & Geroliminis, N. (2015). An optimization framework for the development of efficient one-way car-sharing systems. *European Journal of Operational Research*, 240(3), 718-733. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.07.020>

- Boyacı, B., Zografos, K. G., & Geroliminis, N. (2015). An optimization framework for the development of efficient one-way car-sharing systems. *European Journal of Operational Research*, 240(3), 718-733. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.07.020>
- Boyacı, B., Zografos, K. G., & Geroliminis, N. (2017). An integrated optimization-simulation framework for vehicle and personnel relocations of electric carsharing systems with reservations. *Transportation Research Part B: Methodological*, 95, 214-237. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2016.10.007>
- Brandstätter, G., Gambella, C., Leitner, M., Malaguti, E., Masini, F., Puchinger, J., ... & Vigo, D. (2016). Overview of optimization problems in electric car-sharing system design and management. In *Dynamic perspectives on managerial decision making* (pp. 441-471). Springer, Cham. Retrieved from https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-39120-5_24
- Cai, L., Wang, X., Luo, Z., & Liang, Y. (2022). A hybrid adaptive large neighborhood search and tabu search algorithm for the electric vehicle relocation problem. *Computers & Industrial Engineering*, 167, 108005. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108005>
- Cavadas, J., de Almeida Correia, G. H., & Gouveia, J. (2015). A MIP model for locating slow-charging stations for electric vehicles in urban areas accounting for driver tours. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 75, 188-201. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2014.11.005>
- Celsor, C., & Millard-Ball, A. (2007). Where does carsharing work? Using geographic information systems to assess market potential. *Transportation Research Record*, 1992(1), 61-69. doi: <https://doi.org/10.3141/1992-08>
- Chow, Y., Yu, J. Y., & Pavone, M. (2015). Two Phase \$ Q-\$ learning for Bidding-based Vehicle Sharing. arXiv preprint arXiv:1509.08932. doi: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1509.08932>
- Costain, C., Ardron, C., & Habib, K. N. (2012). Synopsis of users' behaviour of a carsharing program: A case study in Toronto. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(3), 421-434. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2011.11.005>
- de Almeida Correia, G. H., & Antunes, A. P. (2012). Optimization approach to depot location and trip selection in one-way carsharing systems. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48(1), 233-247. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2011.06.003>
- Efthymiou, D., Antoniou, C., & Waddell, P. (2012). Which factors affect the willingness to join vehicle sharing systems? Evidence from young Greek drivers. *Paper presented at the Transportation Research Board 91st Annual Meeting*. Retrieved from <https://trid.trb.org/view/1129049>
- Enzi, M., Parragh, S. N., Pisinger, D., & Prandtstetter, M. (2021). Modeling and solving the multimodal car-and ride-sharing problem. *European Journal of Operational Research*, 293(1), 290-303. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.11.046>
- Fan, W., Machemehl, R. B., & Lownes, N. E. (2008). Carsharing: Dynamic decision-making problem for vehicle allocation. *Transportation Research Record*, 2063(1), 97-104. doi: <https://doi.org/10.3141/2063-12>
- Ferrero, F., Perboli, G., Rosano, M., & Vesco, A. (2018). Car-sharing services: An annotated review. *Sustainable Cities and Society*, 37, 501-518. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.09.020>
- Firkorn, J., & Müller, M. (2011). What will be the environmental effects of new free-floating car-sharing systems? The case of car2go in Ulm. *Ecological economics*, 70(8), 1519-1528. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.03.014>
- Golalikhani, M., Oliveira, B. B., Carravilla, M. A., Oliveira, J. F., & Antunes, A. P. (2021). Carsharing: A review of academic literature and business practices toward an integrated decision-support framework. *Transportation research part E: logistics and transportation review*, 149, 102280. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102280>
- Huang, K., de Almeida Correia, G. H., & An, K. (2018). Solving the station-based one-way carsharing network planning problem with relocations and non-linear demand. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 90, 1-17. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.02.020>

- Jorge, D., & Correia, G. (2013). Carsharing systems demand estimation and defined operations: a literature review. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 13(3). doi: <https://doi.org/10.18757/ejtir.2013.13.3.2999>
- Jorge, D., Barnhart, C., & de Almeida Correia, G. H. (2015). Assessing the viability of enabling a round-trip carsharing system to accept one-way trips: Application to Logan Airport in Boston. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 56, 359-372. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.04.020>
- Jorge, D., Correia, G. H., & Barnhart, C. (2014). Comparing optimal relocation operations with simulated relocation policies in one-way carsharing systems. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 15(4), 1667-1675. doi: <https://doi.org/10.1109/TITS.2014.2304358>
- Jorge, D., Molnar, G., & de Almeida Correia, G. H. (2015). Trip pricing of one-way station-based carsharing networks with zone and time of day price variations. *Transportation Research Part B: Methodological*, 81, 461-482. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2015.06.003>
- Kim, J., Rasouli, S., & Timmermans, H. (2017). Satisfaction and uncertainty in car-sharing decisions: An integration of hybrid choice and random regret-based models. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 95, 13-33. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.11.005>
- Kothari, C. R. (2004). *Research methodology: Methods and techniques*. New Age International. Retrieved from <https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr>
- Kumar, P., & Bierlaire, M. (2012). Optimizing locations for a vehicle sharing system. In Swiss Transport Research Conference (No. CONF). Retrieved from <https://infoscience.epfl.ch/record/195890>
- Lai, K., Chen, T., & Natarajan, B. (2020). Optimal scheduling of electric vehicles car-sharing service with multi-temporal and multi-task operation. *Energy*, 204, 117929. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117929>
- Lawler, R. (2012). Zipcar for Scooters. *Startup Scoot Networks Launches to the Public in San Francisco*. Retrieved from <https://techcrunch.com/2012/09/26/scoot-sf-launch/>
- Li, L., Pantelidis, T., Chow, J. Y., & Jabari, S. E. (2021). A real-time dispatching strategy for shared automated electric vehicles with performance guarantees. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 152, 102392. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102392>
- Litman, T. (2000). Evaluating carsharing benefits. *Transportation Research Record*, 1702(1), 31-35. Doi: <https://doi.org/10.3141/1702-04>
- Martin, E. W., & Shaheen, S. A. (2011). Greenhouse gas emission impacts of carsharing in North America. *IEEE Transactions on intelligent transportation systems*, 12(4), 1074-1086. doi: <https://doi.org/10.1109/TITS.2011.2158539>
- Martínez, L. M., Correia, G. H. D. A., Moura, F., & Mendes Lopes, M. (2017). Insights into carsharing demand dynamics: Outputs of an agent-based model application to Lisbon, Portugal. *International Journal of Sustainable Transportation*, 11(2), 148-159. doi: <https://doi.org/10.1080/15568318.2016.1226997>
- Miao, H., Jia, H., Li, J., & Qiu, T. Z. (2019). Autonomous connected electric vehicle (ACEV)-based car-sharing system modeling and optimal planning: A unified two-stage multi-objective optimization methodology. *Energy*, 169, 797-818. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.12.066>
- Mitchell, W. J., Borroni-Bird, C. E., & Burns, L. D. (2010). *Reinventing the automobile: Personal urban mobility for the 21st century*. MIT press. Retrieved from <https://books.google.com.tr/books?id=32>
- Münzel, K., Boon, W., Frenken, K., Blomme, J., & van der Linden, D. (2020). Explaining carsharing supply across Western European cities. *International Journal of Sustainable Transportation*, 14(4), 243-254. doi: <https://doi.org/10.1080/15568318.2018.1542756>
- Nair, R., & Miller-Hooks, E. (2011). Fleet management for vehicle sharing operations. *Transportation Science*, 45(4), 524-540. doi: <https://doi.org/10.1287/trsc.1100.0347>

- Nguyen, T. K., Hoang, N. H., & Vu, H. L. (2022). A unified activity-based framework for one-way car-sharing services in multi-modal transportation networks. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 157, 102551. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102551>
- Nourinejad, M., & Roorda, M. J. (2014). A dynamic carsharing decision support system. *Transportation research part E: logistics and transportation review*, 66, 36-50. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2014.03.003>
- Nourinejad, M., Zhu, S., Bahrami, S., & Roorda, M. J. (2015). Vehicle relocation and staff rebalancing in one-way carsharing systems. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 81, 98-113. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2015.06.012>
- Rossi, F., Zhang, R., Hindy, Y., & Pavone, M. (2018). Routing autonomous vehicles in congested transportation networks: Structural properties and coordination algorithms. *Autonomous Robots*, 42(7), 1427-1442. doi: <https://doi.org/10.1007/s10514-018-9750-5>
- Santos, G., & Correia, G. (2015). A MIP model to optimize real time maintenance and relocation operations in one-way carsharing systems. *Transportation Research Procedia*, 10, 384-392. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2015.09.088>
- Schuster, T. D., Byrne, J., Corbett, J., & Schreuder, Y. (2005). Assessing the potential extent of carsharing: A new method and its implications. *Transportation research record*, 1927(1), 174-181. doi: <https://doi.org/10.1177/0361198105192700120>
- Shaheen, S. A., & Cohen, A. P. (2007). Growth in worldwide carsharing: An international comparison. *Transportation Research Record*, 1992(1), 81-89. doi: <https://doi.org/10.3141/1992-10>
- Shaheen, S. A., & Cohen, A. P. (2013). Carsharing and personal vehicle services: worldwide market developments and emerging trends. *International journal of sustainable transportation*, 7(1), 5-34. doi: <https://doi.org/10.1080/15568318.2012.660103>
- Shaheen, S. A., Cohen, A. P., & Chung, M. S. (2009). North American carsharing: 10-year retrospective. *Transportation Research Record*, 2110(1), 35-44. doi: <https://doi.org/10.3141/2110-0>
- Shaheen, S. A., Cohen, A. P., & Roberts, J. D. (2006). Carsharing in North America: Market growth, current developments, and future potential. *Transportation Research Record*, 1986(1), 116-124. doi: <https://doi.org/10.1177/03611981061986001>
- Shaheen, S. A., Guzman, S., & Zhang, H. (2010). Bikesharing in Europe, the Americas, and Asia: past, present, and future. *Transportation research record*, 2143(1), 159-167. doi: <https://doi.org/10.3141/2143-20>
- Shaheen, S. A., Sperling, D., & Wagner, C. (1999). A Short History of Carsharing in the 90's. *Journal of World Transport Policy and Practice*, 5(3), 16-37. Retrieved from <https://escholarship.org/uc/item/6p3305b0>
- Sun, X., Tang, W., Chen, J., & Zhang, J. (2020). Optimal investment strategy of a free-floating sharing platform. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 138, 101958. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.101958>
- Wang, Y. W., & Lin, C. C. (2013). Locating multiple types of recharging stations for battery-powered electric vehicle transport. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 58, 76-87. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2013.07.003>
- Weikl, S., & Bogenberger, K. (2015). A practice-ready relocation model for free-floating carsharing systems with electric vehicles—Mesoscopic approach and field trial results. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 57, 206-223. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2015.06.024>
- Worley, O., Klabjan, D., & Sweda, T. M. (2012, March). Simultaneous vehicle routing and charging station siting for commercial electric vehicles. In *2012 IEEE International Electric Vehicle Conference* (pp. 1-3). IEEE. doi: <https://doi.org/10.1109/IEVC.2012.6183279>

- Xu, M., & Meng, Q. (2019). Fleet sizing for one-way electric carsharing services considering dynamic vehicle relocation and nonlinear charging profile. *Transportation Research Part B: Methodological*, 128, 23-49. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2019.07.016>
- Xu, M., Meng, Q., & Liu, Z. (2018). Electric vehicle fleet size and trip pricing for one-way carsharing services considering vehicle relocation and personnel assignment. *Transportation Research Part B: Methodological*, 111, 60-82. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2018.03.001>
- Yang, J., & Sun, H. (2015). Battery swap station location-routing problem with capacitated electric vehicles. *Computers & operations research*, 55, 217-232. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2014.07.003>
- Zhang, D., Liu, Y., & He, S. (2019). Vehicle assignment and relays for one-way electric car-sharing systems. *Transportation Research Part B: Methodological*, 120, 125-146. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2018.12.004>
- Zhao, M., Li, X., Yin, J., Cui, J., Yang, L., & An, S. (2018). An integrated framework for electric vehicle rebalancing and staff relocation in one-way carsharing systems: Model formulation and Lagrangian relaxation-based solution approach. *Transportation Research Part B: Methodological*, 117, 542-572. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2018.09.014>



Journal of Turkish Operations Management

Türkiye'deki konteyner terminallerinin performans incelemesi ve Mersin Limanı için performans gelişim önerileri¹

Yeliz Çelik^{1*}, Murat Yorulmaz²

¹Deniz Ulaştırma Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye
e-mail: yelizakkaynak@gmail.com, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-4766-8249>

²Denizcilik İşletmeleri Yönetimi Bölümü, Denizcilik Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye
e-mail: murat.yorulmaz@kocaeli.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-5736-9146>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi:

Makale Geçmişi:

Geliş: 25.02.2023

Revize: 01.03.2023

Kabul: 08.04.2023

Anahtar Kelimeler:

Entropi,
Konteyner terminali,
Liman performansı,
Performans,
TOPSIS

Özet

Dünya ticaret hacminin artmasıyla uluslararası alanda hizmet veren liman ve terminalerin performansının değerlendirilmesi de her geçen gün daha önemli bir konu haline gelmiştir. Bu kapsamda çalışmanın amacı, konteyner terminallerinin performans değerlendirmesinde en çok kullanılan kriterlerin belirlenmesi ve bu kriterlere göre seçilmiş konteyner terminallerinin performanslarının ölçülmesidir. Çalışmada çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan Entropi ve TOPSIS birlikte kullanılarak, 13 konteyner terminalinin performansı, belirlenen kriterler ile değerlendirilmiştir. Araştırma verileri T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Türkiye Liman İşletmecileri Derneği ve konteyner limanlarının internet sitelerinden alınmış olup Entropi yöntemi ile kriter ağırlıkları hesaplanmıştır. Tüm kriterler konteyner terminal performans değerlendirmesi için önem arz etse de çalışma sonucunda liman (terminal) sahasının performansı etkileyen en önemli kriter olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Önemi en az olan kriter ise ritim maksimum derinliği olarak belirlenmiştir. Daha sonra, Entropi yöntemiyle elde edilen ağırlıklar kullanılarak TOPSIS yöntemiyle de 13 terminal sıralanmıştır. Çalışmada konteyner terminallerinin performans değerleri sırasıyla; Mersin Limanı, Terminal E, Terminal C, Terminal F, Terminal A, Terminal B, Terminal D, Terminal L, Terminal G, Terminal H, Terminal I, Terminal J, Terminal K olarak belirlenmiştir. Elde edilen bulgulara göre, performansı yüksek çıkan terminalerin diğerlerinden daha aktif olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, Mersin Limanı'nın konteyner terminaleri arasındaki yeri görülmüş, rekabeti sağlayıp sağlamadığı belirlenmiştir. Terminalde düşük olan performans kriter değeri saptanmış, terminalin dünya konteyner terminaleri arasında da daha iyi bir konuma gelebilmesi için öneriler sunulmuştur. Literatür incelendiğinde, konteyner terminali performans değerlendirmesi için bu çalışmada ele alınan kriterler ile Entropi ve TOPSIS yönteminin birlikte kullanıldığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Yapılan çalışmayla bu eksikliğin giderileceği öngörülmektedir.

¹ Bu çalışma, 2023 tarihinde birinci yazar tarafından ikinci yazar danışmanlığında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Deniz Ulaştırma Mühendisliği Anabilim Dalında Yapılan Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

Performance review of container terminals in Turkey and performance improvement recommendations for Mersin Port

Article Info

Article History:

Received: 25.02.2023

Revised: 01.03.2023

Accepted: 08.04.2023

Keywords:

Entropy,
Container Terminal,
Port Performance,
Performance,
TOPSIS

Abstract

With the increase in world trade volume, the evaluation of the performance of ports and terminals serving internationally has become a more important issue with each passing day. In this context, the aim of the study is to determine the most used criteria in the performance evaluation of container terminals and to measure the performance of the selected container terminals according to these criteria. Entropy and TOPSIS, which are multi-criteria decision-making methods, were used together in the study, and the performance of 13 container terminals was evaluated with the determined criteria. Research data, The criteria weights were calculated using the Entropy method from the websites of the Ministry of Transport and Infrastructure, Republic of Turkey, Port Operators Association of Turkey and container ports. Although all criteria are important for the container terminal performance evaluation, it has been concluded that the port (terminal) area is the most important criterion affecting the performance as a result of the study. The criterion with the least importance was determined as the maximum depth of the quay. Then, using the weights obtained by the Entropy method, 13 terminals were ranked with the TOPSIS method. In the study, the performance values of the container terminals are respectively; Mersin Port is designated as Terminal E, Terminal C, Terminal F, Terminal A, Terminal B, Terminal D, Terminal L, Terminal G, Terminal H, Terminal I, Terminal J, Terminal K. According to the findings, it was observed that the terminals with high performance were more active than the others. As a result of the evaluations, the place of Mersin Port among the container terminals has been seen and it has been determined whether it can provide competition or not. The low performance criterion value at the terminal was determined, and suggestions were made to improve the terminal's position among the world's container terminals. When the literature is examined, no study has been found in which the criteria discussed in this study and Entropy and TOPSIS methods are used together for container terminal performance evaluation. It is foreseen that this deficiency will be eliminated with the study.

1. Giriş

Deniz, ülkeleri birbirine bağlayan en temel öğelerden birisidir ve bu sebeple geçmişte olduğu gibi günümüzde de güçlü medeniyetler ticaret merkezlerini çoğunlukla deniz kıyısına kurmaktadır. Yiyecek ve enerji alanı başta olmak üzere, denizlerin keşfetmeye açık bir şekilde kaynak olarak dünya üzerinde bulunmasıyla ayrıca ülke sınırlarını aşan ticaretin yaygınlaşması ve globalleşmenin her geçen gün daha da artmasıyla beraber denizyolu devletler için zorunlu hale gelmektedir (Çetin, 2009). Denizyolunun bu denli artışı gemilerin ve limanların büyümesini beraberinde getirmektedir. Her ülke diğeri ile daha fazla rekabet edebilmek için her geçen gün bu iki kavramın gelişmesine daha da önem vermektedir. Mega gemilerin de ortaya çıkmasıyla beraber daha donanımlı ve verimli limanlara olan ihtiyaç her geçen gün daha da artmaktadır. Bu sebeple mevcut donanımı daha verimli kullanmak anlamına gelen performansın limanlar için değerlendirilmesi ülkeler açısından önem arz etmektedir. Üç tarafı denizlerle çevrili olan ve jeopolitik konumu sebebiyle önemli bir noktada bulunan Türkiye için de liman performans değerlendirmesi kavramı diğer ülkelerle ticarete rekabet edebilirliğin en önemli unsurlarının başında bulunmaktadır. Bu sebeple ithalatta ve ihracatta taşınan yükler bazında önem arz eden ve "yükklük" adı verilen standart kapların taşınmasını ve ulaşım modlarının birbiri ile bağlantısını sağlayan konteyner terminallerinin performans değerlendirilmesi de ülkede ön plana çıkmaktadır.

Bu çalışmada; konteyner terminallerinde performans değerlendirmesi kavramı irdelenmiştir. Konteyner terminallerinin performans değerlendirmesinde en çok kullanılan kriterlerin belirlenmesi ve bu kriterlere göre seçilmiş konteyner terminallerinin performansının ölçülmesi çalışmanın amaçlarından bazılarıdır.

Literatürde Yurdakul ve İç (2013)'in çalışmasında otomotiv sektöründe, Süral (2016)'in çalışmasında eğitim sektöründe, Ceyhan ve Demirci (2017)'nin çalışmasında finans sektöründe, Ersoy (2018)'un çalışmasında beyaz eşya sektöründe, Bayram (2019)'ın çalışmasında turizm sektöründe, Kurt ve Ayaz (2021)'in çalışmasında insan kaynakları gibi daha pek çok farklı alanda kullanılan Entropi ve TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution-İdeal Çözüme Benzerlik için Tercih Sıralaması Tekniği) yöntemleri denizcilik alanında pek tercih edilmemiştir. Ayrıca konteyner terminallerinin performans değerlendirmesi için de uygulaması bulunmamaktadır. Çalışmasının tamamlanmasıyla beraber bu yöntemlerin bu alanda çeşitlendirilip başka çalışmalara ışık tutacağı ve literatürdeki bu eksikliği dolduracağı öngörülmektedir.

2. Literatür taraması

Literatür taramasının ilk bölümünde "Performans Değerlendirmesi" anahtar kelimesinden yararlanılarak yapılan çalışmada görülmüştür ki performans değerlendirmesi çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Kullanıldığı alana göre de girdi ve çıktıları değişkenlik göstermektedir. Kumru (2012)'nin çalışmasında kurumsal performans yönetimi üzerinde durulmuştur. İçerisinde yurt içi ve dışı performans değerlendirme örneklerinin de yer aldığı bu çalışma bir derleme olarak oluşturulmuş ve literatürde yerini almıştır. Şen ve Tama (2015)'in çalışmasında, Başakşehir Belediyesi ile çalışılarak iletişim merkezlerinin kurumsal verimliliğe etkisi araştırılmıştır ve çalışma sonucunda iletişim merkezleri ile verimlilik arasında pozitif yönlü bir ilişki olduğu ortaya çıkmıştır. Erkayman, Kocadağistan ve Albayrak (2020)'nin çalışmasında, the decision making trial and evaluation laboratory (DEMATEL) ve analytic network process (ANP) yöntemleri hibrit olarak kullanarak ve bir ilimizdeki belediyenin performansını değerlendirilmiştir. Erdoğan (2022), bankaların finansal performans değerlendirmesini yaparak hibrit bir çok kriterli karar verme yöntemi (ÇKKV) ile bankaların sıralamalarını yapmıştır. Çalışma sonucunda önemli kriterlerin yıllara göre farklılık gösterdiği ve buna bağlı olarak performans sıralamalarının değiştiği sonucuna ulaşılmıştır.

Pek çok alanda kullanılan bu kavram limanlar içinde önemini korumaktadır ve literatür incelemesi yapıldığında liman performans değerlendirmesi ile alakalı pek çok çalışmayla karşılaşmaktadır. Literatür, terminaller bazında incelendiğinde ise genel kargo ve dökme yük terminalleri için performans değerlendirme çalışmalarının sınırlı sayıda kaldığı görülmektedir. Konteyner terminalleri üzerine yapılan çalışmalarda ise yazarlar bazı faktörlere daha fazla önem verirken ve bazılarını kriter olarak kullanmamıştır. Çalışmanın bu bölümünde "Konteyner terminali, Performans" anahtar kelimeleri kullanılarak ana kaynak olarak kullanılan ulusal ve uluslararası çalışmalara ulaşılmıştır. Bu çalışmalarda girdi kriterleri her çalışma için değişkenlik gösterirken, performans çıktısı olarak yazarlar tarafından çoğunlukla konteyner çıktısı (TEU) tercih edilmiştir. Literatürde yer alan ve incelenen konteyner terminali performans değerlendirme çalışmaları aşağıda belirtilmiştir;

Roll ve Hayuth (1993) çalışmada sayısal veri kullanmayarak teorik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Veri zarflama analizi (VZA) yöntemini kullanarak liman etkinliği ile alakalı daha sonraki çalışmalara örnek olacak bir çalışma oluşturmuşlardır. Martinez-Budria, Diaz-Armas, Navvaro-Ibanez ve Ravelo-Mesa (1999) ise belirledikleri 26 limanın karmaşıklıklarının performansla olan ilişkisini VZA yöntemini kullanarak incelemişlerdir. Nottebomm, Coeck, ve Van Den Broeck (2000) ise çalışmalarında rıhtım uzunluğu, terminal boyutu, kreyn sayılarını girdi değişkeni olarak, konteyner sayısını ise çıktı değişkeni olarak kullanmışlardır. Çalışma stokastik sınır analizi yöntemi ile yapılmıştır. Tongzon (2001) ise, VZA yöntemini kullanarak limanların etkinlikleri üzerine çalışma yapmıştır. 6 değişkeni girdi olarak, 2 değişkeni ise çıktı olarak kullanarak analiz yapmış Rotterdam, Yokohama, Melbourne ve Osaka limanlarının daha etkin olduğunu saptamıştır. Cullinane, Song ve Gray (2002) çalışmasında stokastik sınır analizi yöntemini, Estache, Gonzalez ve Trujillo (2002) ise VZA-malmquist yöntemini kullanmayı tercih etmişlerdir. Itoh (2002), 1990-1999 yılları arasında rıhtım uzunluğu ve konteyner rıhtım uzunluğunu girdi değişkeni, konteyner sayısını çıktı değişkeni olarak kullanarak VZA yöntemiyle Japonya'daki 8 konteyner limanının etkinliğini ölçmüştür. Yokohama, Osaka ve Kobe limanlarının etkinlikleri çalışma sonucunda düşük çıkmıştır. Wang, Song ve Cullinane (2003) ise 57 terminalin değerlendirmesini Charnes Cooper Rhodes Modeli (CCR) ve Banker Charnes Cooper Modeli (BCC) yöntemi ile yapmışlardır. Wiegman, Rietveld, Pels ve Van Woudenberg (2004) VZA, Song ve Han (2004) ise regresyon analizi yöntemi ile çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Tongzon ve Heng (2005), stokastik sınır analizi yöntemi ile çalışarak terminal rıhtım uzunluğunu, terminal alanını, rıhtım kreyn sayısını, liman genişliğini girdi değişkeni, konteyner sayısını ise çıktı değişkeni olarak kullanmışlardır. Cullinane, Wang, Song ve Ji (2006) ise VZA yöntemine ek olarak stokastik sınır analiz yöntemini de çalışmada kullanmışlardır. Rios ve Maçada (2006), VZA yöntemini uygulamış, 5 girdi değişkeni kullanmış ve çıktı değişkeni olarak konteyner sayısına ek olarak ortalama elleçlenen konteyner sayısını da analize eklemişlerdir. Al-Eraqi, Mustafa, Khader ve Barros (2008) ise, 22 terminalin etkinliğini analiz ederek fiziki büyüklüğün olumlu etki sağladığı sonucuna varmışlardır. Cheon, Dowall ve Song (2009), yanaşma yeri uzunluğu, konteyner vinci sayısı ve terminal alanını girdi değişkeni,

konteyner sayısını ise çıktı değişkeni olarak kullanarak malmquist yöntemi ile çalışma yapmışlardır. Wu ve Goh (2010), Cullinane ve Wang (2010), Hung, Lu ve Wang (2010) ve Trujillo, González ve Jiménez (2013) değerlendirme yapmak için girdi ve çıktı değişkenlerini belirleyerek VZA yöntemini tercih etmişlerdir. Bichou (2013), 420 konteyner terminali için yaptığı çalışmada 6 girdi değişkeni ve 1 çıktı değişkeni kullanmıştır. VZA yöntemiyle yapılan çalışmada otomasyon sistemler ile donatılan ve ölçeği büyük olan limanların etkinliğinin yüksek olduğu belirlenmiştir. Yuen, Zhang ve Cheung (2013) ise 2003-2007 yılları arasında Çin’de bulunan 21 konteyner limanının VZA, tobit, regresyon yöntemleri ile değerlendirmesini yapmışlar ve VZA analizinin sonuçlarında farklılık olduğunu tespit etmişlerdir. Schøyen ve Odeck (2013) ise, yine VZA yöntemini kullanarak Norveç konteyner limanlarının etkinliğini ölçmüşlerdir. Norveç limanlarının yanında 24 adet İngiliz ve İskandinav limanı çalışmaya dahil edilmiştir. Çalışmada fiziksel büyüklüğün etkinliğe katkısı olduğu sonucuna varılmıştır. Rajasekar ve Deo (2014), VZA yöntemi ile Hindistan limanlarının etkinlik analizini yapmışlardır. Çalışmada 3 girdi değişkeni, 2 çıktı değişkeni kullanılmıştır. Fiziksel büyüklüğün etkinliğe katkı sağladığı sonucuna varılmıştır. Song ve Cui (2014) VZA ve malmquist yöntemlerini kullanarak rihim uzunluğu, iş gücü sayısı, saha vinci sayısını girdi değişkeni olarak, konteyner sayısını ise çıktı değişkeni olarak çalışmayı tamamlamışlardır. Almwshaki ve Shah (2015), Kutin, Nguye ve Vallee (2017), Birafane ve El Abdi (2019), Kalgora, Goli, Damigou, Abdoulkarim ve Amponsem (2019) VZA yöntemini, Kammoun (2018) ve Hlali (2018) ise VZA yöntemine ek olarak stokastik sınır yaklaşımı yöntemlerini çalışmalarında kullanmışlardır.

3. Yöntem

3.1. Entropi yöntemi ve çözüm aşamaları

Entropi kavramı ilk kez Rudolph Clausius tarafından 1865 yılında termodinamik alanında yapılan çalışma ile ortaya atılmıştır (Gezen, 2019). Daha sonra Shannon (1948) tarafından bilgi teknolojisine uyarlanarak bu yöntem geliştirilmiştir ve günümüzde en çok kullanılan yöntem haline gelmiştir (Demirci, 2017).

Entropi düzensizlik anlamına gelmekte ve belirsizliği ölçmeyi hedeflemektedir (Toprak ve Çanakçıoğlu, 2019). Bilginin içerisindeki belirsizlik olarak da tanımlanabilmektedir (Abdullah ve Otheman, 2013). Çok kriterli karar verme problemlerinde kriterin düzensizliği ne kadar fazla ise Entropisi yüksek çıkacak ve kriterin ağırlığı artacaktır. Entropisi düşük olan kriterde ise tam tersi bir durum oluşacak ve ağırlığı azalacaktır. (Ecer, 2020). Kişisel yargı ve düşüncenin yer almaması ve objektif bir şekilde ağırlıkların hesaplanması Entropi yönteminin en önemli özelliğidir (Toprak ve Çanakçıoğlu, 2019). Bu yöntem maximum belirsizlik ve minimum belirlilik amaç edinilerek karar vericiler tarafında kullanılmaktadır. Yöntem, son yıllarda matematik, fizik gibi çeşitli disiplinlerde pek çok alanda kullanılmaya devam edilmektedir (Tunca, Ömürbek, Cömert ve Aksoy, 2016, Ekin ve Cesur, 2022).

Aşağıda Entropi yönteminin aşamaları sırası ile açıklanmıştır (Shannon, 1948, Tunca ve diğ., 2016, Acer ve Kalender, 2020);

Aşama 1; farklı birimlerinden oluşan kriterlerin ve seçeneklerin (alternatif) bulunduğu karar değişkenleri matrisinin normalize işlemi Denklem (1) ile beraber gerçekleştirilir;

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_1^j(x_{ij})} \quad (1)$$

i: Alternatif (seçenek) değeri,

j: Kriter değeri,

r_{ij} : Normalize edilmiş değerleri,

x_{ij} : i alternatif (seçenek) için, j kriter için verilen fayda değerleri

Aşama 2; Denklem (2)’nin yardımıyla e_j ’nin Entropi değeri hesaplanmaktadır.

(Denklem 2’de içerisinde yer alan ‘k’ Entropi katsayısını, ‘ r_{ij} ’ normalize edilmiş değerleri ve ‘ e_j ’ ise Entropi değerini belirtmektedir);

$$e_j = -k \sum_{j=1}^m r_{ij} \ln(r_{ij}) \quad (2)$$

Aşama 3; bu aşamada Denklem (3) kullanılarak w_j kriterlerin önem derecesini belirten ağırlık değerleri hesaplanmaktadır. Bu aşamada her kriter için bir ağırlık değeri belirlenmektedir;

$$w_j = \frac{1-e_j}{\sum_1^m 1-e_j} \quad (3)$$

Hesaplanan tüm kriterlerin ağırlıkları toplamı Denklem (4)'te gösterildiği gibi her zaman 1'e eşit olacaktır (Bu adımda kullanılan denklemdeki "w_j" ağırlık değerini, "e_j" Entropi değerini belirtmektedir);

$$\sum_{j=1}^m w_j = 1 \quad (4)$$

3.2. TOPSIS yöntemi ve çözüm aşamaları

Çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan TOPSIS yöntemi 1981 yılında C.L. Hwang ve K. Yoon tarafından bilim ve mühendisliğe dair alanlarda kullanılmak üzere geliştirilmiştir (Chen, Wang ve Deng, 2015). Yöntemin karar verme problemlerinde sıklıkla tercih edilmesinin nedeni az sayıda girdi içermesi ve çıktılarının kullanıcı tarafından anlaşılabilir olmasıdır (Eren ve Soba, 2011). Yöntemde amaç, belirli kriterler baz alınarak alternatifleri sıralama işlemine tabii tutup en ideal çözüm noktasına en kısa mesafedeki ve negatif ideal çözüm noktasına en uzak mesafedeki alternatifi belirlemektir (Metin, Yaman ve Korkmaz, 2017). Yöntem uygulanırken kar ve fayda maksimizasyonu ile maliyet minimizasyonu aranarak en uygun alternatif belirlenmektedir (Eren ve Soba, 2011).

Aşağıda TOPSIS yönteminin aşamaları ve açıklamaları sırası ile yazılmıştır;

Adım 1: Karar matrisinin oluşturulması; karar verici tarafından oluşturulan matristir. Boyutu Denklem (5)'te gösterildiği gibi (m×n) olan karar matrisinin satırlarında alternatif karar noktaları, sütunlarında ise kararı etkileyen kriterler bulunmaktadır. Karar problemlerinin çözümünde kullanılan başlangıç matrisidir (Şahin ve Karacan, 2019);

$$A_{ij} = \begin{matrix} a_{11} & \dots & a_{1p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \dots & a_{mp} \end{matrix} \quad (5)$$

Adım 2: Karar matrisinin normalize edilmesi; bu aşamada A matrisinin elemanları kullanılarak işlem yapılır (Dumanoglu ve Ergul, 2010). Matristeki bütün elemanların kareleri alınarak bu değerler toplanır. Sütun toplamları elde edildikten sonra karekökü alınarak matrisin normal hale getirilmesi sağlanır. Normalize karar matrisinin bir elemanı "r_{ij}" ile gösterilir ve Denklem (6)' da gösterildiği şekilde hesaplanır (Zelvi, 2019);

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}} \quad (i= 1, \dots, m \text{ ve } j= 1, \dots, p) \quad (6)$$

Adım 3: Ağırlıklandırılmış normalize matrisin oluşturulması; ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi elde edebilmek için daha önceden bilinen ya da farklı teknikler kullanılarak hesaplanmış olan kriterlerin ağırlıkları gerekmektedir. Ağırlıklar belirlendikten sonra bir önceki adımda elde edilmiş olan normalize karar matrisinin her elemanı (R_{ij}), Denklem (7)'de gösterildiği gibi kriter ağırlığı (W_{ij}) değeriyle çarpılarak matris oluşturulur (Karaoglan, 2016);

$$V_{ij} = R_{ij} \times W_{ij} \quad (7)$$

Adım 4: Pozitif ve negatif ideal çözüm noktalarının oluşturulması; ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi (V_{ij}) oluşturulduktan sonra çözülmek istenen probleme göre her bir kolonda Denklem (8) ve Denklem (9)'da gösterildiği gibi (amaç, kar veya fayda maksimizasyonu ise her bir sütunun maksimum, amaç maliyet minimizasyonu ise her bir sütunun minimum) değerler belirlenir (Yurdakul ve İç, 2013);

$$A^+ = \{x_1^+, x_2^+, \dots, x_k^+\} \text{ (Maksimum Değer)} \quad (8)$$

$$A^- = \{x_1^-, x_2^-, \dots, x_k^-\} \text{ (Minimum Değer)} \quad (9)$$

Adım 5: Pozitif ve negatif ideal noktalarına uzaklıkların hesaplanması; her bir alternatifin maksimum ideal ve negatif ideal uzaklık hesaplamaları Denklem (10) ve Denklem (11) yardımı ile yapılır. Formüllerde pozitif ideal çözüm uzaklığı (S_i⁺) ve negatif ideal çözüm uzaklığı (S_i⁻) olarak ifade edilir. Problem çözümünde bulunacak S_i⁺ ve S_i⁻ sayısı karar noktası sayısına eşit olmalıdır (Kallo, 2015);

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^+)^2} \quad (10)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2} \quad (11)$$

Adım 6: İdeal çözüme göre yakınlığın hesaplanması ve alternatiflerin sıralanması; Bu aşamada alternatiflerin pozitif ideal noktalarına ve negatif ideal noktalarına olan uzaklıklarından yararlanır (Bakırcı, Shiraz ve Sattary, 2014). Hesaplamalar için Denklem (12) kullanılır;

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+} \quad (12)$$

Denklem (12)'ye göre negatif ideal çözümden olan uzaklık değeri büyüdükçe, ideal çözüme yakınlık değeri artmaktadır.

$0 \leq C_i^* \leq 1$ aralığında değer alır.

$C_i^* = 1$; alternatifin ideal çözüme mutlak çözüm yakınlığını belirtir

$C_i^* = 0$; alternatifin negatif ideal çözüme mutlak çözüm yakınlığını belirtir.

Hesaplamalar tamamlandıca değerlere bakılarak sıralamalar yapılır. En büyük C_i^* değerine sahip olan alternatif en iyi karar olarak belirlenir ve kalan alternatifler büyükten küçüğe sıralanır (Çetin, 2019).

3.3. Entropi ve TOPSIS yönteminin kullanıldığı çalışmalar

Çalışmanın bu bölümünde Entropi ve TOPSIS yöntemlerinin beraber kullanıldığı performans ile alakalı yapılan çalışmalar incelenmiştir. "Performans Değerlendirmesi, TOPSIS, Entropi" anahtar kelimelerini içeren 2012-2022 yılları arasında yapılmış çalışmalar veri tabanlarında taranmış ve ulusal ve uluslararası makalelere ulaşılmıştır. Makalelerde, Entropi ve TOPSIS yöntemlerinin tercih edildiği çalışma alanları çok geniş olmakla beraber denizcilik alanında sınırlı sayıda çalışmada yer almıştır. Finans, gıda, havacılık, spor da hibrit olarak kullanıldığı alanlardan bazılarıdır. Çalışmalar aşağıda kısaca detaylandırılmıştır;

Ece (2019) çalışmasında finans alanını tercih etmiştir. Türkiye'de faaliyet gösteren ve BIST100 (Borsa İstanbul 100)'de işlem gören 15 holding şirketinin performansını değerlendirmiştir. Uzman görüşlerini dikkate alarak Entropi yöntemi ile kriterleri ağırlıklandırmış, TOPSIS yöntemi ile holdinglerin performans sıralamasını yapmıştır.

Yılmaz (2020)'de Entropi, TOPSIS ve VIKOR yöntemini kullanarak gıda alanında çalışma yapmıştır. Gıda sektöründe yer alan 24 firmanın 2017-2019 yılları arasındaki performansını 20 kriter ile değerlendirmiştir. Yapılan değerlendirmede en önemli ana kriterin piyasa oranları, en önemli alt kriterin ise fiyat/satış oranı olduğu gözlenmiştir.

Kıracı ve Asker (2019), Entropi ve TOPSIS yöntemi kullanarak yine hava yolu taşımacılığı üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışmada hava aracı kiralama şirketlerinin finansal performansı incelenmiştir. 5 hava aracı kiralama şirketinin 2013-2017 yılları arasındaki performansı değerlendirilmiştir. Çalışmada 2013-2014 döneminde Capital Lease, 2015-2017 döneminde ise Air Lease'in performansının yüksek olduğu gözlenmiştir.

Öznel ve Yavuz (2019), mobilya ve ağaç işleri alanında çalışma yapmışlardır. Çalışmada 10 finansal oran kullanılarak sektörün 2008-2016 yılları arasındaki performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Tunç (2020) çalışmasında otomotiv sektöründeki 11 işletmenin finansal performansını değerlendirmiştir. 2017-2019 yılları arasındaki verileri kullanarak çalışmada Entropi, TOPSIS ve GİA yöntemlerinden faydalanmıştır. 2017 yılı için FMIZP, 2018 yılı için FMIZP ve EGEEN, 2019 yılı için FMIZP ve DOAS finansal performansı en iyi olan şirketler olarak belirlenmiştir.

Temür (2022) turizm alanında çalışarak işletmelerin 2016-2020 yılları arasındaki finansal performanslarını değerlendirmiştir. Ağırlıklandırmada Entropi yöntemini kullanmış, performans değerlendirmesinde ise Additive Ratio Assesment (ARAS), Complex Proportional Assesment (COPRAS) ve TOPSIS yöntemlerinden faydalanmıştır. Çalışmada 2020 yılındaki en başarılı işletme MAALT olarak belirlenmiştir.

Demirci (2017) ise, spor alanında çalışarak çok kriterli karar verme yöntemlerini kullanıp Türkiye'deki 4 futbol takımının performansını analiz etmiştir.

Sun ve Yu (2021) ise binaların enerjisi ve enerji tasarrufu hakkında çalışma yapmışlardır. Çalışmada Entropi, TOPSIS ve K-ortalama kümeleme yöntemleri kullanılarak Çin'in Tongling kentindeki 24 ofisin enerji performansı sıralamaları yapılmıştır.

Santos, Godoy ve Campos (2019), mobilya endüstrisinde sürdürülebilirlik alanında çalışma yapmışlardır. Çalışmada 32 uzmanın görüşü alınarak Entropi yöntemiyle beraber kriterler ve ağırlıkları belirlenmiştir. TOPSIS yöntemi ile çalışmaya devam edilerek yeşil tedarikçilerin performanslarının değerlendirilmesi yapılmış ve kendi aralarında sıralaması oluşturulmuştur.

Akandere (2021), Entropi ve TOPSIS yöntemini kullanarak denizcilik alanında çalışma gerçekleştirmiştir. Artan çevre kirliliğini ve enerji tüketimini dikkate alarak limanların çevresel ve operasyonel performanslarını değerlendirmiştir. Kriterleri belirleyip Entropi ile ağırlıklandırdıktan sonra yeşil sertifikalı limanların sıralamasını gerçekleştirmiştir. Çalışma sonucunda çevre dostu enerji kullanan limanların performansının yüksek olduğu belirlenmiştir ve liman alanlarının doğal çevre kalitesinin artırılması, geri dönüşüm uygulamalarına önem verilmesi, çevreci enerji kullanımının yaygınlaştırılmasının limanların performansına olumlu katkı sağlayacağı görülmüştür. Kısa, Çelik ve Peker (2021), Türkiye Cumhuriyeti Demiryolları İşletmesi'ne ait olan ve 2007 yılında sonra özelleştirilen 5 liman üzerine çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada kriterler Entropi yöntemi ile ağırlıklandırılmış ve Mersin, Samsun, Bandırma, İskenderun ve Derince limanlarının birbirlerine göre performans sıralaması yapılmıştır. Limanların sıralanmasında ise ARAS ve TOPSIS yöntemleri kullanılmıştır.

4. Bulgular

4.1. Problemin belirlenmesi

Çalışma, yaygın olarak kullanılan performans kriterlerini tespit etmek, tespit edilen kriterlerin ağırlıklarını saptamak ve 13 konteyner terminallinin kendi aralarındaki performans sıralamasını belirleyip Mersin Limanı'nın bu sıralamadaki yerini görmek amacıyla yapılmıştır.

4.2. Kriterlerin oluşturulması ve verilerin elde edilmesi

Liman performans sıralaması yapmak için en önemli aşama girdi değişkeni olarak kullanılacak kriterlerin belirlenmesidir. Çalışmadaki girdi değişkenleri belirlenirken literatür araştırması yapılmış ve konteyner terminalleri performans değerlendirmesini konu alan makaleler incelenmiştir. Yapılan çalışmada literatürde en sık kullanılan değişkenlerin yer alması amaç edinilmiştir. Çalışmanın bu bölümünde konteyner terminallerinin performanslarının değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan kriterler belirlenmiş ve açıklamaları yapılmıştır. Liman/terminal sahası alanı, rıhtım/iskele uzunluğu, rıhtım maksimum derinliği, vinç/kreyin sayısı kriterlerinin ön plana çıktığı görülerek çalışmaya dahil edilmiştir. Literatürde az sayıda çalışmada yer almasına rağmen önem arz eden teorik elleçleme kapasitesi de kriterlere eklenerek çalışmanın farklılaşması amaç edinilmiştir.

Teorik elleçleme kapasitesi; kullanım amaçlarına göre teorik, pratik, olası, atıl, fiili ve optimum kapasite olmak üzere 6'ya ayrılan kapasite kavramı faktörleri en iyi şekilde değerlendirip maximum üretim miktarına ulaşma olarak tanımlanabilir. Çalışmada limanların teorik (teknik) kapasitesi analize dahil edilmiştir. Limanlarda teorik kapasite, terminaldeki mevcut üstyapı, altyapı ve ekipmanı kullanarak duraklama yapmadan gerçekleştirilebilecek elleçleme kapasitesini göstermektedir (Emecen, 2004). Atıl kapasiteyi azaltmak, performans artırmak ve operasyonel süreçleri geliştirmek için önem arz eden bu kriter de çalışmaya dahil edilmiştir (Esmer ve Çetin, 2013). Teorik elleçleme kapasitesi kriterinin birimi çalışmada "TEU/yıl" olarak kullanılmıştır.

Rıhtım/iskele uzunluğu; kriter, çalışmanın literatür taraması bölümünde konu edilen 30 adet makalenin 19 tanesinde "rıhtım/iskele uzunluğu", girdi kriteri olarak kullanılmıştır. Rıhtım uzunluğu aylık gelecek gemi sayısını, aynı anda terminale yanaşma sıklığını, gemilerde kullanılacak ekipman sayısını, liman içi aktarma araçlarının ve elleçleme ekipmanlarının sayısının olumlu yönde artmasını sağlayacak aynı zamanda gemilerin demirde bekleme süresinin azaltarak performansa pozitif yönde katkı sağlayacaktır (Tümiş, 2008). Dünya ticaretinin artması, ülkeler arası rekabetin fazlaşması ve günümüzde mega gemi kavramının ortaya çıkması her geçen gün rıhtım uzunluklarının artmasını gerekli kılmaktadır. Rıhtımlara daha uzun gemilerin yanaşabilmesi ve rıhtımlarda aynı anda birden fazla gemiye hizmet verilebilmesinin performans açısından önemi sebebiyle "rıhtım/iskele uzunluğu" çalışmaya kriter olarak dahil edilmiştir. Kriterin birimi çalışmada "metre (m)" olarak alınmıştır.

Liman/terminal sahası alanı; terminal alanı büyük olan konteyner limanları daha etkili ve verimli kullanılacağından bu kriter performansa olumlu katkı sağlayacaktır. Literatürde pek çok çalışmanın içerisinde kriter olarak alınan "liman/terminal sahası alanı" kavramı bu çalışmanın analizinde de kullanılmıştır. Terminal alanının birimi "metrekare (m²)" olarak ifade edilmiştir. Bu çalışmada liman/terminal sahasının tamamının konteyner operasyonu için kullanıldığı kabul edilmektedir.

Rıhtım maksimum derinliği; deniz ticaretinde mega gemilerinde ortaya çıkışıyla beraber büyüyen kapasite ve boyutlara uyum sağlamak için konteyner gemilerinin yanaşacağı rıhtım su derinliklerinin de gelişen gemilere uyum sağlamak için artırılması gerekmektedir. Yeterli drafta sahip olmayan limanlar konum olarak merkezi yerde olsa bile gemi boyutları ve drafları engel teşkil edeceğinden mega gemilere hizmet vermesi zorlaşacak ve aktarma limanı olarak kullanılmasına olumsuz etki yaratacaktır (Acer, 2016). Bu nedenle literatürde de pek çok çalışmada kriter olarak kullanılan "rıhtım maksimum derinliği" bu çalışmaya dahil edilmiştir. Çalışmada rıhtım maksimum derinliğinin birimi "- metre (m)" olarak ifade edilmiştir.

Vinç/kreyn sayısı; daha çok gemiye aynı anda hizmet verebilmek ya da aynı gemide yapılan yükleme ve boşaltma süresini azaltıp hızını artırmak için terminalerde daha fazla sayıda vinç/kreyn olması gerekmektedir. Bu vinç/kreyn sayısı fazlalığı da terminale yanaşan gemilerin operasyonlarının daha hızlı bitirilip yerine yenilerinin gelmesini sağlayacak, yükleme ve boşaltma yapılan gemilerin sayısında olumlu bir etki yaratacaktır. Terminalin elleçleme kapasitesini artırarak da liman performansına olumlu etki sağlayacaktır. Bu çalışmada da kriter olarak alınan "vinç/kreyn sayısı" literatürde pek çok çalışmada da girdi değişkeni olarak kullanılmıştır. Limanda bulunan ve konteyner elleçlemesi için kullanılan toplam MHC, MGC, STS, SSG sayıları analizde kullanılmıştır ayrıca vinç/kreyn sayısı birim olarak çalışmada "adet" alınmıştır. Vinç/kreyn kapasiteleri ve operatör performansları çalışmaya dahil edilmemiştir (Acer, 2016).

4.3. Entropi yöntemi ile kriter ağırlıklarının belirlenmesi

Çalışmanın bu bölümünde konteyner terminallerinin performanslarının değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan kriterlerin ağırlıkları belirlenmiştir. Teorik elleçleme kapasitesi, liman (terminal) sahası, rıhtım (iskele) uzunluğu, rıhtım maksimum derinliği ve vinç (kreyn) sayısı kriterlerinin ağırlık derecelerinin belirlenmesinde Entropi yöntemi tercih edilmiştir. İkincil kaynaklı verilerle oluşturulan başlangıç karar matrisi Tablo 1.'de yer almaktadır.

Tablo 1. Başlangıç karar matrisi

Kriterler Terminaler	Teorik elleçleme kapasitesi	Liman (terminal) sahası	Rıhtım (iskele) uzunluğu	Rıhtım maksimum derinliği	Vinç (kreyn) sayısı
Mersin Liman	2.600.000	1.200.000	3.370	15,8	17
Terminal A	2.100.000	477.867	2.226	16,5	15
Terminal B	2.300.000	447.431	1.937	17	15
Terminal C	1.164.917	635.000	3.650	10,2	14
Terminal D	2.500.000	300.000	2.010	18	11
Terminal E	2.000.000	1250.000	2.050	36	14
Terminal F	1.000.000	1.000.000	1.652	15,5	6
Terminal G	1.300.000	460.000	922	16	8
Terminal H	1.000.000	310.337	1.455	30	8
Terminal I	1.500.000	420.000	850	16	3
Terminal J	855.000	265.000	1.286	18,5	9

Terminal K	750.000	160.000	1.080	21,5	7
Terminal L	1.000.000	485.000	784	28	5

Denklem (1) kullanılarak başlangıç karar matrisinde normalize işlemi yapılmıştır. Ardından Denklem (2) kullanılarak normalize edilmiş karar matrisiyle e_j Entropi değeri hesaplanmıştır. Tablo 2’de e_j Entropi değerleri gösterilmiştir.

Tablo 2. e_j Entropi değerleri tablosu

	Teorik elleçleme kapasitesi	Liman (terminal) sahası	Rıhtım (iskele) uzunluğu	Rıhtım maksimum derinliği	Vinç (kreyn) sayısı
e_j	0,967040709	0,935831924	0,956725701	0,978415918	0,963136233

Denklem (3) yardımıyla kriterlerin ağırlıkları tek tek hesaplanmıştır. Her bir kriter için hesaplanan ağırlık değerleri Tablo 3.’te gösterilmiştir.

Tablo 3. Entropi yöntemi kullanılarak kriter ağırlıklarının belirlenmesi

	Teorik elleçleme kapasitesi	Liman (terminal) sahası	Rıhtım (iskele) uzunluğu	Rıhtım maksimum derinliği	Vinç (kreyn) sayısı
Kriter Ağırlıkları	0,165749919	0,322696667	0,217623359	0,108544805	0,185385248

Kriter ağırlıkları incelendiğinde; *liman (terminal) sahası* (0,322696667) değeriyle liman performansı için en önemli kriter olarak kabul edilmiştir. (0,217623359) değeri ile *rıhtım (iskele) uzunluğu*, (0,185385248) değeri ile *vinç (kreyn) sayısı*, (0,165749919) değeri ile *teorik elleçleme kapasitesi* kriterleri bu sıralamayı takip etmektedir. (0,108544805) değeri ile *rıhtım maksimum derinliği* ise önemi en az olan kriter olarak belirlenmiştir.

4.4. TOPSIS yöntemi ile alternatiflerin sıralaması ve analiz edilmesi

Çalışmada 13 karar noktası (terminal) yer almıştır. Bu terminaller 5 kriter ile değerlendirilip TOPSIS yöntemiyle analize tabi tutulmuştur. Yapılan analiz sonuçları aşağıda gösterilmiştir;

Adım 1’de belirtilen satırlarda Mersin Limanı, Terminal A, Terminal B, Terminal C, Terminal D, Terminal E, Terminal F, Terminal G, Terminal H, Terminal I, Terminal J, Terminal K, Terminal L olmak üzere 13 terminalin, sütunlarda ise *teorik elleçleme kapasitesi*, *liman (terminal) sahası*, *rıhtım (iskele) uzunluğu*, *rıhtım maksimum derinliği*, *vinç (kreyn) sayısı* olmak üzere 5 kriterin yer aldığı (13x5) boyutlu başlangıç karar matrisi Denklem (6)’nın yardımıyla Adım 2’deki işlemlere tabii tutulmuş ve normalizasyonu gerçekleştirilmiştir. Tablo 4.’te standart karar matrisi gösterilmiştir.

Tablo 4. Standart karar matrisi

Terminaller	Teorik elleçleme kapasitesi	Liman (terminal) sahası	Rıhtım (iskele) uzunluğu	Rıhtım maksimum derinliği	Vinç (kreyn) sayısı
Mersin Liman	0,4315	0,5512	0,4826	0,2124	0,4326
Terminal A	0,3485	0,2195	0,3188	0,2218	0,3817
Terminal B	0,3817	0,2055	0,2774	0,2285	0,3817
Terminal C	0,1933	0,2917	0,5227	0,1371	0,3563

Terminal D	0,4149	0,1378	0,2879	0,2419	0,2799
Terminal E	0,3320	0,5742	0,2936	0,4839	0,3563
Terminal F	0,1660	0,4593	0,2366	0,2083	0,1527
Terminal G	0,2158	0,2113	0,1320	0,2151	0,2036
Terminal H	0,1660	0,1425	0,2084	0,4032	0,2036
Terminal I	0,2490	0,1929	0,1217	0,2151	0,0763
Terminal J	0,1419	0,1217	0,1842	0,2487	0,2290
Terminal K	0,1245	0,0735	0,1547	0,2890	0,1781
Terminal L	0,1660	0,2228	0,1123	0,3763	0,1272

Tablo 5.'de yer alan kriter ağırlıkları Entropi yöntemiyle hesaplanmıştır. Adım 3'te yer alan ağırlıklandırılmış normalize edilmiş karar matrisi (V)'nin oluşması için normalize edilmiş standart karar matrisinin sütun değerleri, ilgili kriterlerin ağırlık değerleri ile çarpılmıştır. İşlem yapılırken Denklem (7) kullanılmıştır. Oluşturulan V matrisinin sütunları Tablo 5.'de gösterilmiştir. Adım 4'te yer alan Denklem (8)'den yararlanılarak ideal çözüm setinin oluşturulması için V matrisinin sütun değerlerinden en büyükleri seçilmiştir. Negatif ideal çözüm setinin oluşturulması içinse Denklem (9)'dan yararlanılarak V matrisinin sütun değerlerinden en küçükleri seçilmiştir. Seçilen A⁺ ve A⁻ değerleri Tablo 5.'de gösterilmiştir.

Tablo 5. Ağırlıklandırılmış normalize edilmiş karar matrisi

Kriter ağırlıkları	0,165749919	0,32269667	0,217623359	0,108544805	0,185385248
Terminaler	Teorik elleçleme kapasitesi	Liman (terminal) sahası	Rıhtım (iskele) uzunluğu	Rıhtım maksimum derinliği	Vinç (kreyin) sayısı
Mersin Liman	0,0715	0,1779	0,1050	0,0231	0,0802
Terminal A	0,0578	0,0708	0,0694	0,0241	0,0708
Terminal B	0,0633	0,0663	0,0604	0,0248	0,0708
Terminal C	0,0320	0,0941	0,1138	0,0149	0,0661
Terminal D	0,0688	0,0445	0,0626	0,0263	0,0519
Terminal E	0,0550	0,1853	0,0639	0,0525	0,0661
Terminal F	0,0275	0,1482	0,0515	0,0226	0,0283
Terminal G	0,0358	0,0682	0,0287	0,0233	0,0377
Terminal H	0,0275	0,0460	0,0453	0,0438	0,0377
Terminal I	0,0413	0,0623	0,0265	0,0233	0,0142
Terminal J	0,0235	0,0393	0,0401	0,0270	0,0425
Terminal K	0,0206	0,0237	0,0337	0,0314	0,0330

Terminal L	0,0275	0,0719	0,0244	0,0408	0,0236
A*	0,07153	0,18528	0,11376	0,05252	0,08020
A-	0,02063	0,02372	0,02444	0,01488	0,01415

Adım 5'te yer alan Denklem (10) ve Denklem (11)'den yararlanılarak pozitif (S_i^+) ve negatif (S_i^-) ideal noktalarına olan uzaklıkları hesaplanmıştır. Adım 6'da yer alan Denklem (12) kullanılarak ideal çözüme göreli yakınlık değerleri (C_i^*) hesaplanmış ve terminaller kendi aralarında sıralanmıştır. Tablo 6.'da terminal sıralamaları gösterilmektedir.

Tablo 6. Pozitif ideal çözüm, negatif ideal çözüm, ideal çözüme göreli yakınlık değeri ve alternatiflerin sıralanması

Terminaller	S_i^*	S_i^-	C_i^*	SIRA
Mersin Liman	0,0316	0,1931	0,8593	1
Terminal A	0,1271	0,0944	0,4261	5
Terminal B	0,1339	0,0907	0,4039	6
Terminal C	0,1072	0,1656	0,6071	3
Terminal D	0,1547	0,0759	0,3291	7
Terminal E	0,0544	0,1815	0,7694	2
Terminal F	0,1038	0,1295	0,5551	4
Terminal G	0,1577	0,0534	0,2530	9
Terminal H	0,1670	0,0487	0,2258	10
Terminal I	0,1699	0,0446	0,2078	11
Terminal J	0,1764	0,0380	0,1772	12
Terminal K	0,1944	0,0267	0,1208	13
Terminal L	0,1616	0,0560	0,2572	8

Çalışmada yer alan 13 konteyner terminalinin birbirlerine göre performansı sırasıyla (0,8593) oranla Mersin Limanı, (0,7694) oranla Terminal E, (0,6071) oranla Terminal C, (0,5551) oranla Terminal F, (0,4261) oranla Terminal A, (0,4039) oranla Terminal B, (0,3291) oranla Terminal D, (0,2572) oranla Terminal L, (0,2530) oranla Terminal G, (0,2258) oranla Terminal H, (0,2078) oranla Terminal I, (0,1772) oranla Terminal J, (0,1208) oranla Terminal K olarak belirlenmiştir.

5. Tartışma ve sonuçlar

Düşük maliyet ile hacimce büyük yükleri taşıma kolaylığı sağlayan denizyolu ticaretinin önemi, denize kıyısı olan ülkeler için her geçen gün daha da artmaktadır. Taşınmasının kolay olması, tekrar kullanılabilirliği özelliğinin bulunması, hasarı en aza indirip yükün emniyetli taşınmasına olanak sağlaması gibi pek çok avantajı içeren konteyner yükünün sayısının sürekli artmasıyla konteyner taşımacılığı denizyolu ticaretinde daha da ön plana çıkmaktadır. Bu da konteyner terminallerin, sürekli kendini yenilemesini ve mevcut donanımını en iyi şekilde kullanmasını zorunlu kılmaktadır. Kumru (2012)'nin de çalışmasında belirttiği gibi kurumsal

performans yönetimi her geçen gün daha fazla öne çıkmaktadır ve liman performans değerlendirmesi kavramı da ticaret yapan tüm ülkeler için bu sebeple önem arz etmektedir.

Yapılan analizin sonucunda literatürde de Estache ve diğ. (2002), Wu ve Goh (2010), Schoyen ve Odeck (2013), Kammoun (2018) ve Birafane ve El Abdi (2019) gibi çalışmalar başta olmak üzere daha pek çok çalışmada yer alan liman (terminal) sahası ağırlığı fazla olduğu için en önemli kriter olarak karşımıza çıkmaktadır. Yapısal olarak alanı daha geniş terminallerin oluşturulması, performansı olumlu etkileyen en önemli unsurlardan biridir.

Rıhtım (iskele) uzunluğu, önem sırasına göre ikinci kriter olarak belirlenmiştir. Nottebomm ve diğ. (2000), Cullinane ve diğ. (2002) ve Song ve Cui (2014)'nin içinde yer aldığı pek çok çalışmada kriter olarak kullanılmıştır. Bir terminalin rıhtım uzunluğunun fazlalığı, performansa olumlu bir etki yaratacaktır. Rıhtıma aynı süre içerisinde daha fazla ya da tonajı daha yüksek olan gemiler yanaşacak ve elleçleme operasyonlarındaki hareket sayısı o ölçüde artacaktır. Musso ve Sciomachen (2020)'nin de belirttiği gibi mega gemilerin limanlarda yer alması performansa olumlu etki yaratacaktır. Al-Eraqi ve diğ. (2008), Schoyen ve Odeck (2013) ve Rajasekar ve Deo (2014)'ya göre de fiziki büyüklük liman performansını artırıcı bir etki yaratacaktır. Bichou (2013)' da ölçüğü büyük olan limanların performansının yüksek olduğunu belirterek çalışmada bu kriterin önemini vurgulamıştır.

Vinç (kreyn) sayısı da çalışmada üçüncü kriter olarak karşımıza çıkmaktadır. Bir terminalde ne kadar fazla sayıda çalışan vinç (kreyn) varsa, konteyner elleçleme verimi de bir o kadar artmaktadır. Örneğin 2 vincin 2 saat çalışarak yaptığı konteyner elleçleme hareketini, 4 vinç (kreyn) 1 saat içerisinde bitirilebilmektedir. Bu da terminaldeki gemilerin operasyonel işlerinin daha hızlı tamamlanıp rıhtımdan daha kısa sürede ayrılmasını sağlayacaktır. Dolayısıyla bu kriter günlük, aylık ya da yıllık limana yanaşan gemi sayısının artmasına yol açacak ve Wang ve diğ. (2003), Tongzon ve Heng (2005), Hung ve diğ. (2010) ve Trujillo ve diğ. (2013)'nin de çalışmada belirttiği gibi performansa pozitif etki sağlayacaktır.

Literatürde daha az çalışmada yer almasına rağmen Kalgora ve diğ. (2019)'nin de çalışmada belirttiği gibi performansa katkı sağlayan teorik elleçleme kapasitesi de çalışmada dördüncü önem arz eden kriter olarak karşımıza çıkmaktadır. Han (2018)'a göre de bu kriter önem arz etmekte ve liman kapasitesinin artırılması performansa olumlu etki yaratmaktadır.

Almawsheki ve Shah (2015), Kutin ve diğ. (2017) ve Hlali (2018)'in de çalışmasına dahil ettiği ve tonajı daha yüksek olan bu sebeple draftı daha fazla olan gemilerin terminallere giriş çıkışını etkileyen rıhtım maksimum derinliği ise önemi diğerlerine göre daha az olan kriter olarak çalışmada belirlenmiştir.

Çalışmada Entropi yöntemiyle kriter ağırlıkları belirlendikten sonra 13 liman TOPSIS yöntemiyle sıralamaya tabii tutulmuştur. Yöntem uygulanırken Türkiye Limancılık Sektörü 2022 yılı verilerinden yararlanılmıştır. Mersin Limanı, liman sahası ve rıhtım uzunluğu ile 2. sırada yer alsa da en fazla vinç (kreyn) sayısına sahip olması ve elleçleme miktarının fazlalığı ile rıhtım maksimum derinliğinin de diğer terminallere göre iyi durumda olmasıyla performansı en yüksek liman olarak belirlenmiştir. Terminal E ise, en büyük liman sahası olmasına rağmen diğer girdi kriterlerinin değerleri Mersin Limanı'nın gerisinde kalmasıyla birlikte performans sıralamasında ikinci sırada yer almıştır. Terminal C üçüncü, Terminal F dördüncü, Terminal A ise beşinci sıradadır. Terminal K ise en düşük liman sahası büyüklüğü, en kısa rıhtım uzunluğu ve en az vinç (kreyn) sayısı ile performansı en düşük terminal olarak analiz edilmiştir.

Mersin Limanı ise kriterler bazında incelendiğinde 13 konteyner terminali içerisinde liman sahasında ikinci sırada, rıhtım uzunluğunda ikinci sırada, vinç sayısında birinci sırada, elleçleme kapasitesinde birinci sırada, rıhtım derinliğinde ise onbirinci sırada yer almaktadır. Bahse konu olan liman Türkiye'de denizyolu ticareti için yüksek bir potansiyele sahiptir. Bölge ekonomisine katkısı yadsınamaz bir gerçektir. Verilere göre 2018 yılında 1.722.711 TEU, 2019 yılında 1.939.029 TEU, 2020 yılında 2.009.724 TEU, 2021 yılında 2.097.349 TEU elleçleyen Mersin Limanı'nın diğer limanlar içindeki payı her geçen yıl daha da artmaktadır (TÜRKLİM, 2022).

Çalışmada; Türkiye'deki konteyner terminallerinin performansları Entropi ve TOPSIS yöntemlerinin hibrit olarak kullanımı ile karşılaştırılmaktadır. Çalışmada, literatürde konteyner terminallerinin performansını değerlendirmek için en çok kullanılan kriterlerin belirlenmesi, bu kriterlerin ağırlıklandırılması ve kriter ağırlıklandırması sonunda bu terminallerin performans sıralamasının yapılması amaç edinilmiştir. Çalışma bulgularına göre Wanke (2013)'nin de çalışmada belirttiği gibi alt yapı ve üst yapının, performansa katkısının fazla olduğu ortaya çıkmış, ayrıca sıralaması yüksek çıkan terminallerin yapısal ve donanımsal olarak diğer terminallerden daha iyi olduğu gözlenmiştir. Aynı şekilde Woo ve diğ. (2011)'nin de çalışmada belirttiği gibi liman performansının çok yönlü olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışmaya göre, rıhtım uzunluğu, rıhtım maksimum

derinliği, liman sahası alanı gibi yapısal özelliklerin değiştirilmesi zor olsa da eldeki mevcut kaynakların ve donanımın en iyi şekilde kullanılması limanların iyi bir performans sergilemesini mümkün kılmaktadır. Performans analizleri yapılırken de tek bir yöntemle bağlı kalmak doğru değildir. Pek çok yöntem birbiri ile birlikte analizlerde hibrit olarak kullanılabilir. Ulusal ve uluslararası literatür incelendiğinde liman performans değerlendirilmesi ile ilgili yapılan çalışmalarda (Roll ve Hayuth, 1993, Martinez-Budria ve diğ., 1999, Tongzon, 2001, Itoh, 2002, Wiegmanns ve diğ., 2004) VZA'nın en çok tercih edilen yöntem olduğu görülmektedir. Bu çalışma ise konteyner terminallerinin performans analizi yapılırken ÇKKV yöntemlerinden olan Entropi ve TOPSIS yöntemlerinin beraber kullanılabilirliğini gösteren bir çalışmadır. Çalışmada, TOPSIS yönteminin uygulanabilmesi için öncelikle Entropi yöntemi ile kriter ağırlıkları belirlenmiştir. Belirlenen bu ağırlıklar TOPSIS yöntemine dahil edilerek konteyner terminallerinin performans sıralaması yapılmıştır.

Denizcilik alanı ile ilgili yapılacak çalışmalar için konteyner performans değerlendirmesinde kullanılmak üzere bu çalışmanın literatüre katkı sağlayarak diğer çalışmalara örnek teşkil edeceği öngörülmektedir. Literatürde lojistik ve işletme alanında yaygın olarak kullanılmasına rağmen denizcilik alanında bu iki yöntemin az sayıda çalışmada yer aldığı görülmektedir. Yapılan çalışmaya uygunluğu, avantajlarının dezavantajlarına göre daha fazla olması ve denizcilik alanında tercih edilirliliğini de olumlu yönde etkilemek amacıyla çalışmada hibrit olarak kullanılabilen bu çok kriterli karar verme yöntemleri seçilmiştir. Limanın daha aktif kullanılması, ülke olarak deniz ticaretine önem verilmesi ve deniz ticaretini engelleyen risklerin azaltılmasına yönelik bürokratik girişimlerin olması performansı yüksek olan Mersin Limanı'na daha da olumlu bir katkı sağlayacaktır. Yeni teknoloji vinç (kreyn) sistemlerinin sayısının çoğaltılması liman performansını artırıcı bir etki yaratacaktır. Mersin Limanı, Türkiye'deki diğer konteyner limanlarına göre iyi bir yerde olsa da dünya limanları ile rekabet edebilmek için yapısal olarak geliştirilmelidir. Yanaşma yeri uzunlukları artırılmalı ve mevcut liman sahası genişletilmelidir. Yüksek tonajlı gemilerin uğrak yapabilmesi için mutlaka diğer limanlara göre daha sığ olan rıhtım maksimum derinliği iyileştirilmelidir. Performansı düşük çıkan limanların günümüz teknolojisine ulaşması için sürekli kendini yenilemesi alt yapı ve üst yapı özelliklerini sürekli güncellemesi gerekmektedir. Daha fazla yük elleçleyebilmek için ekipmanlarını artırmak ve fiziki olarak da yapılandırmaya gitmesi gerekmektedir. Ayrıca yönetimle alakalı yeni kararlar alıp, bu kararları uygulamaya geçirmek limanlara fayda sağlayacaktır.

Bu çalışma sonucunda performans değerlendirme yöntemleri için daha yaygın olarak kullanılsa da VZA'nın tek yöntem olmadığı gösterilmiştir. Bu çalışma ile çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan TOPSIS ve Entropinin de denizcilik alanında konteyner terminali performans değerlendirilmesinde kullanılabilirliği gösterilerek literatüre katkı sağlanmıştır.

Limanalara ait liman/terminal sahasının tamamının konteyner operasyonu için kullanıldığının varsayılması ise bu çalışmanın kısıtlarından biridir. Literatürdeki çalışmalarda yer alan diğer kriterlere ait verilerin çalışmada kullanılmayıp bazılarının yer almaması, ayrıca vinç (kreyn) sayısı kriterini oluştururken operatörün ne kadar verimli çalıştığını ve vinçlerin özelliklerini dahil etmemek de çalışmanın bir diğer kısıtıdır. Mevcut çalışmada da her çalışmada olduğu gibi kısıtlar bulunsada metodolojisinin diğer çalışmalara ışık tutacağı öngörülmektedir. Yapılacak diğer çalışmalarda da kullanılmak üzere seçilen limanlar ve girdi değişkenleri çeşitlilik gösterebilecektir fakat çalışmalarda performans endeks değerinin doğru bulunabilmesi için kriterler kabul görmüş olmalı ve ağırlıklar ise bilimsel yöntemler ile hesaplanmalıdır. Çalışma daha farklı bölgelerde daha farklı limanlar için de uygulanabilir, ayrıca doğrudan liman işletmelerinden veriler elde edilebilirse diğer kriterler ile çalışma çeşitlendirilebilir. Günümüzde jeopolitik konumuyla avantaja sahip olan Türkiye'nin konteyner terminaleri, ithal ve ihraç malların aktarımının yapıldığı limanlar olarak işlev göstermekte ve bu sebeple konteyner taşımacılığında önemli bir konuma hala gelememektedir. Yapılacak çalışmalar sadece Türkiye limanları ile sınırlı kalmayıp dünya limanlarını da içerirse konteyner terminallerinin performans olarak konumu daha geniş bir biçimde görülebilecektir. Gelecek çalışmalarda farklı ÇKKV yöntemleri kullanılarak, bu çalışmada ele alınan performans kriterleri ile değerlendirme yapılması mümkündür.

Araştırmacıların katkısı

Bu çalışmada; Yeliz ÇELİK, araştırmanın tasarlanması, verilerin toplanması, analizlerin yapılması, bulguların değerlendirilmesi ve makalenin hazırlanması; Murat YORULMAZ araştırma sürecinin tasarlanması, izlenmesi, kontrolü, değerlendirilmesi ve makalenin hazırlanması kısımlarına katkı sağlamıştır.

Çıkar çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Abdullah L. & Otheman A. (2013). A new weight for sub-criteria in interval type-2 fuzzy TOPSIS and its application. *I. J. Intelligent Systems and Applications*, 02, 25-33. Erişim adresi: https://www.researchgate.net/publication/276231334_A_New_Entropy_Weight_for_Sub-Criteria_in_Interval_Type-2_Fuzzy_TOPSIS_and_Its_Application
- Acer, A. (2016). *Liman konteyner terminal etkinliklerinin veri zarflama analizi ile belirlenmesi* (Doktora Tezi). Erişim adresi: <http://nek.istanbul.edu.tr:4444/ekos/TEZ/55097.pdf>
- Acer, A. ve Kalender, S. (2020). Antrepoların performansının entropi ve TOPSIS yöntemiyle değerlendirilmesi. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 65, 1-20. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/dpusbe/issue/56154/653910>
- Akandere, G. (2021). Yeşil sertifikalı limanların performansının entegre entropi-TOPSIS yöntemleri ile değerlendirilmesi. *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 39(4), 515-535. doi: <https://doi.org/10.17065/huniibf.888903>
- Al-Eraqi, A. S., Mustafa, A., Khader, A. T. & Barros, C. P. (2008). Efficiency of middle eastern and east african seaports: application of DEA Using Window Analysis. *European Journal of Scientific Research*, 23(4), 597-612. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/230554337_Efficiency_of_Middle_Eastern_and_East_African_Seaports_Application_of_DEA_Using_Window_Analysis
- Almawsheki, E. S. & Shah, M. Z. (2015). Technical efficiency analysis of container terminals in the middle eastern region. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 31(4), 477-486. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2016.01.006>
- Bakırcı, F., Shiraz S. & Sattary A. (2014). BIST’da demir, çelik metal ana sanayii sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin finansal performans analizi: VZA süper etkinlik ve TOPSIS uygulaması. *Ege Akademik Bakış*, 14(1), 9-19. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/560021>
- Bayram, G. (2019). Turist rehberlerinde duygusal zekâ, motivasyon, performans ilişkisi. *Turizm Akademik Dergisi*, 6(2), 43-59. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/touraj/issue/50389/553724>
- Bichou, K. (2013). An empirical study of the impacts of operating and market conditions on container-port efficiency and benchmarking. *Research in Transportation Economics*, 42(1), 28-37. doi: <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2012.11.009>
- Birafane, M. & El Abdi, M. (2019). Efficiency of Moroccan seaports: application of DEA using window analysis. *Engineering*, 11(02), 107-118. doi: <https://doi.org/10.4236/eng.2019.112009>
- Ceyhan, İ. F. ve Demirci, F. (2017). MULTIMOORA yöntemiyle finansal performans ölçümü: leasing şirketlerinde bir uygulama. *Bartın Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 8(15), 277-296. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/bartiniibf/issue/30498/329992>
- Chen, F., Wang, J. & Deng, Y. (2015). Road safety risk evaluation by means of improved entropy TOPSIS-SR. *Safety Science*, 79, 39-54. Retrieved from https://www.academia.edu/42895311/Road_safety_risk_evaluation_by_means_of_improved_entropy_TOPSIS_RSR
- Cheon, S., Dowall, D. E. & Song, D. W. (2009). Typology of long term port efficiency improvement paths: malmquist total factor productivity for world container ports. *Journal of Infrastructure Systems*, 15(4), 340-350. doi: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)1076-0342\(2009\)15:4\(340\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)1076-0342(2009)15:4(340))
- Cullinane, K., Song, D. W. & Gray, R. (2002). A stochastic frontier model of the efficiency of major container terminals in Asia: assessing the influence of administrative and ownership structures. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 36(8), 743-762. doi: [https://doi.org/10.1016/S0965-8564\(01\)00035-0](https://doi.org/10.1016/S0965-8564(01)00035-0)

- Cullinane, K. & Wang, T. (2010). The efficiency analysis of container port production using dea panel data approaches. *OR Spectrum*, 32(3), 717-738. doi: <https://doi.org/10.1007/s00291-010-0202-7>
- Cullinane, K., Wang, T. F., Song, D. W. & Ji, P. (2006). The technical efficiency of container ports: comparing data envelopment analysis and stochastic frontier analysis. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 40(4), 354-374. Retrieved from https://www.academia.edu/51806499/The_technical_efficiency_%20of%20container_ports_Comparing_data_envelopment_analysis_and_stochastic_frontier_analysis
- Çetin, O. (2009). Denizcilik sektöründe mukayeseli bir model. *Güvenlik Stratejileri Dergisi*, 5(10), 30-55. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/guvenlikstrjtj/issue/7533/99198>
- Demirci, F. (2017). Entropi tabanlı TOPSIS yöntemiyle Borsa İstanbul'da uygulama gören futbol kulüplerinin sportif, itibar ve değeri fair play performanslarının karşılaştırmalı analizi (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: <https://acikerisim.bartın.edu.tr/handle/11772/331?show=full>
- Dumanoğlu, S. ve Ergül, N. (2010). İMKB'de işlem gören teknoloji şirketlerinin mali performans ölçümü. *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, 48, 101-111. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/mufad/issue/35627/396007>
- Ece, N. (2019). Holding şirketlerinin finansal performans sıralamasının entropi tabanlı TOPSIS yöntemleri ile incelenmesi. *Finans Ekonomi ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 4(1), 63-73. doi: <https://doi.org/10.29106/fesa.522709>
- Ecer, F. (2020). Çok kriterli karar verme geçmişten günümüze kapsamlı bir yaklaşım. Seçkin Yayıncılık.
- Ekin, E. ve Cesur, İ. G. (2022). Entropi tabanlı TOPSIS ve VIKOR yöntemleri ile bankaların finansal performanslarının değerlendirilmesine ilişkin bir uygulama. *Journal of Turkish Operations Management*, 6(2), 1327-1344. doi: <https://doi.org/10.56554/jtom.1038025>
- Emecen, G., E. (2004). *Marmara Bölgesi limanlarının çok kanallı kuyruk teorisiyle talep ve işletme yönetim modelinin geliştirilmesi* (Doktora Tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=ripouKv7MSfSJZvTKNogw&no=6Xx1-tVndvmqBGBdnqRARQ>
- Erdoğan, B. (2022). BİST'e Kayıtlı Bankaların Finansal Performansının AHP-SD Tabanlı PIV Yöntemiyle Değerlendirilmesi. *Pamukkale Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 52, 93-109. Erişim adresi: <https://doi.org/10.30794/pausbed.1059473>
- Eren, K. ve Soba, M. (2011). TOPSIS yöntemini kullanarak finansal ve finansal olmayan oranlara göre performans değerlendirilmesi, şehirlerarası otobüs sektöründe bir uygulama. *Selçuk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 11(21), 23-40. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/susead/issue/28414/302372>
- Erkayman, B., Kocadağıstan, M. ve Albayrak, Ö. (2020). Belediyelerde performans ölçümü için D-ANP temelli bir kurumsal performans kartı uygulaması. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 34(4), 1491-1511. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1181674>
- Ersoy, N. (2018). Entropy tabanlı bütünlük ÇKKV yaklaşımı ile kurumsal sürdürülebilirlik performans ölçümü. *Ege Akademik Bakış Dergisi*, 18(3), 367-385. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/eab/issue/41358/499959>
- Esmer, S. ve Çetin, Ç. K. (2013). *Liman işletme yönetimi*. Cerit, A. G., Deveci, A., Esmer, S. (Ed.), *Denizcilik işletmeleri yönetimi* (379-415), Beta Yayınları.
- Estache, A., Gonzalez, M. & Trujillo, L. (2002), Efficiency gains from port reform and the potential for yardstick competition: lessons from Mexico. *World Development*, 30(4), 545-560. doi: [https://doi.org/10.1016/S0305-750X\(01\)00129-2](https://doi.org/10.1016/S0305-750X(01)00129-2)

- Gezen, A. (2019). Türkiye’de faaliyet gösteren katılım bankalarının entropi ve WASPAS yöntemleri ile performans analizi. *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, 84, 213-232. doi: <https://doi.org/10.25095/mufad.625812>
- Han, C. H. (2018). Assessing The impacts of port supply chain integration on port performance. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 34(2), 129-135. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2018.06.009>
- Hlali, A. (2018). Efficiency analysis with different models: the case of container ports. *Journal of Marine Science: Research & Development*, 8(2), 250. doi: <https://doi.org/10.4172/2155-9910.1000250>
- Hung, S. W., Lu, W. M. & Wang, T. P. (2010). Benchmarking the operating efficiency of Asia container ports. *European Journal of Operational Research*, 203(3), 706-713. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.09.005>
- Itoh, H. (2002). Efficiency changes at major container ports in Japan: a window application of data envelopment analysis. *Review of Urban & Regional Development Studies*, 14(2), 133-152. doi: <https://doi.org/10.1111/1467-940X.00052>
- Kalgora, B., Goli, S. Y., Damigou, B., Abdoulkarim, H. T. & Amponsem, K. K. (2019). Measuring West-Africa ports efficiency using data envelopment analysis. *Journal of Transportation Technologies*, 9(3), 287-308. doi: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=92775>
- Kallo, Z. (2015). *Katılım bankalarının performanslarının değerlendirilmesi: TOPSIS ve PROMETHEE yöntemi ile uluslararası karşılaştırma* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: <https://avesis.deu.edu.tr/yonetilen-tez/d071a1db-d3d2-474e-a0a7-fdeb60834ea/katilim-bankalarinin-performanslarinin-degerlendirilmesi-topsi%20s-ve-promethee-yontemi-ile-uluslararasi-karsilastirma>
- Kammoun, R. (2018). The technical efficiency of Tunisian Ports: Comparing data envelopment analysis and stochastic frontier analysis scores. *Logistics & Sustainable Transport*, 9(2), 73-84. doi: <https://doi.org/10.2478/jlst-2018-0011>
- Karaođlan, S. (2016). *BİST kimya petrol plastik endeksi’ndeki (XKMYA) işletmelerinin finansal performanslarının çok kriterli karar verme yöntemleri ile ölçümü* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=w6rBDWh4Ns3LxW3bbkLy8w&no=ysMfuSvFxrRbE_QfW63fD3A
- Kıracı, K. ve Asker, V. (2019). Hava aracı leasing şirketlerinin performans analizi: entropi temelli TOPSIS uygulaması. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 24, 17-28. doi: <https://doi.org/10.18092/ulikidince.580420>
- Kısa, A. C., Çelik, P. ve Peker, İ. (2022). Entropi tabanlı TOPSIS ve aras yaklaşımı ile özelleştirilmiş limanların performans değerlendirmesi. *Benchmarking: An International Journal*, 29(1), 118-135.
- Kumru, M. (2012). kurumsal performans değerlendirmenin önemi, gelişimi ve uygulama örnekleri. *Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği* 32. *Ulusal Kongresi-YAEM*, İstanbul, Türkiye, 20-22 Haziran 2012. Erişim adresi: <https://kutuphane.dogus.edu.tr/mvt/pdf.php?pdf=0014788&lng=0>
- Kutin, N., Nguyen, T. T. & Vallee, T. (2017). Relative efficiencies of ASEAN container ports based on data envelopment analysis. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 33(2), 67-77. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2017.06.004>
- Martinez-Budria, E., Diaz-Armas, R., Navvaro-Ibanez, M. & Ravelo-Mesa, T. (1999). A study of the efficiency of Spanish port authorities using data envelopment analysis. *International Journal of Transport Economics*, 26(2), 237-253. Erişim adresi: https://www.researchgate.net/publication/276204733_A_Study_of_the_Efficiency_of_Spanish_Port_Authorities_Using_Data_Envelopment_Analysis
- Metin, S., Yaman, S. ve Korkmaz, T. (2017). Finansal performansın TOPSIS ve MOORA yöntemleri ile belirlenmesi: BİST enerji firmaları üzerine karşılaştırmalı bir uygulama. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 14(2), 371-394. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/pub/ksusbd/issue/31599/319321>

- Musso, E. & Sciomachen, A. (2020). Impact of megaships on the performance of port container terminals. *Maritime Economics & Logistics*, 22, 432-445. doi: <https://link.springer.com/article/10.1057/s41278-019-00120-y>
- Notteboom, T., Coeck, C. & Van Den Broeck, J. (2000). Measuring and explaining the relative efficiency of container terminals by means of bayesian stochastic frontier models. *International Journal of Maritime Economics*, 2(2), 83-106. doi: <https://link.springer.com/article/10.1057/ijme.2000.9>
- Öznel, A. ve Yavuz, H. (2019). Entropi tabanlı TOPSIS yöntemi ile finansal performans analizi: mobilya ve ağaç işleri sektörlerinde bir uygulama. 5. *Uluslararası Ekonomi Yönetimi ve Pazar Araştırmaları Kongresi*, 175-182, İstanbul.
- Park, R. K. & De, P. (2015). An alternative approach to efficiency measurement of seaports. in port management. *Maritime Economics & Logistics*, 6(1), 273-292. doi: <https://link.springer.com/article/10.1057/palgrave.mel.9100094>
- Rajasekar, T. & Deo, M. (2014). Does size influence the operational efficiency of the major ports of India?-a study. *IUP Journal of Operations Management*, 13(1), 20-39.
- Rios, L. R. & Maçada, A. C. G. (2006). Analysing the relative efficiency of container terminals of mercosur using DEA. *Maritime Economics & Logistics*, 8(4), 331-346. Erişim adresi: [https://www.scirp.org/\(S\(351jmbntvnsjt1aadkozje\)\)/reference/referencespapers.aspx?referenceid=2460521](https://www.scirp.org/(S(351jmbntvnsjt1aadkozje))/reference/referencespapers.aspx?referenceid=2460521)
- Roll, Y. & Hayuth, Y. (1993). Port performance comparison applying data envelopment analysis (DEA). *Maritime Policy and Management*, 20(2), 153-161. doi: <https://doi.org/10.1080/03088839300000025>
- Santos, B. M., Godoy, L. P. & Campos, L. M. S. (2019). Performance Evaluation of Green Suppliers Using Entropy-TOPSIS-F. *Journal of Cleaner Production*, 207, 498-509.
- Schøyen, H. & Odeck, J. (2013). The technical efficiency of Norwegian container ports: a comparison to some Nordic and UK container ports using data envelopment analysis (DEA). *Maritime Economics & Logistics*, 15(2), 197-221. doi: <https://link.springer.com/article/10.1057/mel.2013.3>
- Şen, E., Tama, Ö. (2015). The Effect of Communication Centers on Efficiency in Local Governance: The Case Study of Municipality of Başakşehir. *İstanbul Gelişim Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 2(2), 1-41. Erişim adresi: <https://doi.org/10.17336/igusbd.41127>
- Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, 27(3), 379-423. doi: <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x>
- Song, B. & Cui, Y. (2014). productivity changes in Chinese container terminals 2006–2011. *Transport Policy*, 35, 377-384. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2014.04.011>
- Song, D-W. & Han, C-H. (2004). An Econometric approach to performance determinants of Asian Container Terminals. *International Journal of Transport Economics*, 31(1), 39-53. Erişim adresi: https://www.researchgate.net/publication/267752735_An_Econometric_Approach_to_Performance_Determinants_of_Asian_Container_Terminals
- Suárez-Alemán, A., Sarriera, J. M., Serebrisky, T. & Trujillo, L. (2016). When it comes to container port efficiency, are all developing regions equal?. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 86, 56-77. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.01.018>
- Sun, F. & Yu, J. (2021). Improved energy performance evaluating and ranking approach for office buildings using simple-normalization, entropy-based topsis and k-means method. *Energy Reports*, 7, 1560-1570. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.03.007>
- Süral, S. (2016). The opinions of primary teacher candidates towards evaluation performances of instructors. *International Journal of Assessment Tools in Education*, 3(1), 23-39. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/pub/ijate/issue/22371/239556>

- Şahin, İ. E. ve Karacan, K. B. (2019). BİST'DA işlem gören inşaat işletmelerinin çok kriterli karar verme yöntemleri ile finansal performans ölçümü. *International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies*, 3(2), 162-172. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/pub/ijmsit/issue/50263/654582>
- Temür, A. (2022). Borsa İstanbul Turizm Endeksi (XTRZM) Firmalarının entropi temelli ARAS, COPRAS ve TOPSIS yöntemleri ile finansal performans analizi. *Journal of Productivity*, 2, 183-212. doi: <https://doi.org/10.51551/verimlilik.907897>
- Tongzon, J. (2001). Efficiency measurement of selected Australian and other international ports using data envelopment analysis. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 35(2), 107-122. doi: [https://doi.org/10.1016/S0965-8564\(99\)00049-X](https://doi.org/10.1016/S0965-8564(99)00049-X)
- Tongzon, J. & Heng, W. (2005). Port privatization, efficiency and competitiveness: some empirical evidence from container ports (terminals). *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 39(5), 405-424. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2005.02.001>
- Toprak, M. S. ve Çanakçıoğlu, M. (2019). Banka performansının entropi ve copras yöntemi ile değerlendirilmesi: Türk bankacılık sektörü üzerine bir araştırma. *Mali Çözüm Dergisi*, 29(154), 107-132. Erişim adresi: <http://academicrepository.khas.edu.tr/xmlui/handle/20.500.12469/3206>
- Tunca, M. Z., Ömürbek, N., Cömert, H. G. ve Aksoy, E. (2016). OPEC ülkelerinin performanslarının çok kriterli karar verme yöntemlerinden entropi ve MAUT ile değerlendirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi*. 7(14), 1-12. doi: <https://doi.org/10.21076/vizyoner.245987>
- Tunç, S. (2020). *Borsa İstanbul (BİST)'da işlem gören otomotiv şirketlerinin finansal performans analizi: entropi, TOPSIS ve gri metodları* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: <https://acikerisim.gumushane.edu.tr/xmlui/handle/20.500.12440/2537>
- Tümiş, O. (2008). *Konteyner limanı operasyon yönetimi*, Erdal M. (Ed.) *Konteyner deniz ve liman işletmeciliği* (1st ed.) (96). Beta Basım Yayım A.Ş.
- TÜRKLİM. (2022). Türkiye limancılık sektörü 2022 raporu, *Türkiye Liman İşletmecileri Derneği*, 87-90. Erişim adresi: <https://www.turklim.org/sector-raporu-2022/>
- Trujillo, L., González, M. M. & Jiménez, J. L. (2013). An overview on the reform process of African Ports. *Utilities Policy*, 25, 12-22. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jup.2013.01.002>
- Wang, T. F., Song, D. W. & Cullinane, K. (2003). Container port production efficiency: a comparative study of DEA and FDH approaches. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 5(10), 698-713. Erişim adresi: https://www.researchgate.net/publication/255991329_Container_Port_Production_Efficiency_a_Comparative_Study_of_DEA_and_FDH_Approaches
- Wanke, P. F. (2013). Physical infrastructure and shipment consolidation efficiency drivers in Brazilian port a two-stage network- DEA approach. *Transport Policy*, 29, 145-153. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2013.05.004>
- Wiegmans, B. W., Rietveld, P., Pels, E. & Van Woudenberg, S. (2004). Container terminals and utilisation of facilities. *International Journal of Transport Economics*, 31, 313-339. Erişim adresi: https://www.researchgate.net/publication/46670759_Container_terminals_and_utilisation_of_facilities
- Wu, J. & Goh, M. (2010). Container port efficiency in emerging and more advanced markets. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2010.01.002>
- Yılmaz, A. (2020). *Borsa İstanbul (BİST)'da işlem gören gıda şirketlerinin finansal performans analizi: entropi, TOPSIS ve VIKOR metodları* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: <https://acikerisim.gumushane.edu.tr/xmlui/handle/20.500.12440/2537>

Yoon, K. P. & Hwang, C. L. (1995). *Multiple attribute decision making: an introduction*. doi: <https://methods.sagepub.com/book/multiple-attribute-decision-making>

Yuen, A. C. L., Zhang, A. & Cheung, W. (2013). Foreign participation and competition: a way to improve the container port efficiency in China?. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 49, 220-231. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2013.01.026>

Yurdakul, M. ve İç, Y. (2013). Türk otomotiv firmalarının performans ölçümü ve analizine yönelik TOPSIS yöntemini kullanan bir örnek çalışma. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18(1), 1-18. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/76376>

Zelvi, A. (2019). *Türkiye'deki özel bankaların finansal performanslarının ölçümü: TOPSIS ve PROMETHEE yöntemleri ile bir uygulama* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=c6nTNIJPP8SGDtHqQ_gtGg&no=GGpLQws9fGBcGbow0aVyRg



Journal of Turkish Operations Management

Entropi tabanlı TOPSIS-Sort ile iş güvenliği risklerinin sınıflandırılması

Esra Duygu Durmaz¹, İlker Gölcük^{2*}

¹Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye
e-mail: esradurmaz@gazi.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-8882-333X>

²Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İzmir Bakırçay Üniversitesi, İzmir, Türkiye
e-mail: ilker.golcuk@bakircay.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-8430-7952>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 02.03.2023

Revize: 14.04.2023

Kabul: 17.04.2023

Anahtar Kelimeler:

İSG risk değerlendirme,
TOPSIS-Sort,
Entropi ağırlıklandırma

Özet

İnşaat sektörü, iş kazalarının yaşanma sıklığı ve sonuçlarının ağırlığı sebebiyle iş sağlığı ve güvenliği açısından en yüksek riske sahip sektörlerden birisidir. Bu nedenle sektörde yer alan işletmelerin risk faktörlerini düzenli olarak gözden geçirerek gerekli önlemleri alması büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, risklerin kategorize edilerek, etkin önlemlerin alınabilmesi amacıyla bütünlük bir risk değerlendirme yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen yöntem ile bir inşaat firmasında belirlenen 32 adet risk, şiddet, olasılık ve fark edilebilirlik kriterlerine göre değerlendirilmiştir. Çalışmada grup karar verme yaklaşımı kullanılmış ve üç farklı karar vericinin değerlendirmeleri birleştirilmiştir. Belirlenen üç risk faktörünün önem dereceleri entropi ağırlıklandırma yöntemiyle elde edilmiştir. TOPSIS-Sort B yöntemi kullanılarak riskler, önceden belirlenmiş üç risk sınıfına atanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, 11 riskin yüksek risk sınıfına, 10 riskin orta risk sınıfına ve 11 riskin düşük risk sınıfına atandığı görülmüştür.

Classification of occupational safety risks with entropy-based TOPSIS-Sort

Article Info

Article History:

Received: 02.03.2023

Revised: 14.04.2023

Accepted: 17.04.2023

Keywords:

OHS risk assessment,
TOPSIS-Sort,
Entropy weighting

Abstract

The construction sector is one of the sectors with the highest risk in terms of occupational health and safety due to the frequency of occupational accidents and the significance of their consequences. For this reason, it is of great importance for the enterprises in the sector to regularly review the risk factors and take the necessary precautions. In this study, an integrated risk assessment approach is proposed in order to categorize risks and take effective measures. With the proposed method, 32 risks determined in a construction company were evaluated according to severity, occurrence and detectability criteria. Group decision making approach was used and the evaluations of three decision makers were combined. The importance degrees of three risk factors were obtained by the entropy weighting method. Using the TOPSIS-Sort B method, risks were assigned to three predetermined risk clusters. When the results were examined, it was seen that 11 risks were assigned to the high risk cluster, 10 risks to the medium risk cluster and 11 risks to the low risk cluster.

1. Giriş

Son yıllarda, iş sağlığı ve güvenliği (İSG) konularına olan farkındalığın artması sonucu çalışma ortamında iş güvenliği ile ilgili akademik ve uygulamalı çalışmalarda önemli bir artış olmuştur. İşletmeler faaliyetlerini sürdürürken bu sosyal farkındalığı ve çeşitli yasal kısıtlama ve önlemleri göz önünde bulundurmaları gerekmektedir. Çünkü iş kazaları sadece yaralanmalara ve sağlık sorunlarına neden olmakla kalmamakta, aynı zamanda firmaların güvenilirliğine ve marka imajına da önemli ölçüde zarar vermektedir. Bu nedenle işletmelerin İSG risk düzeylerini düzenli olarak gözden geçirmesi ve önleyici tedbirler alması gerekmektedir.

İSG risklerinin doğru şekilde değerlendirilerek gerekli önlemlerin alınması her ne kadar tüm işletmeler için artık bir zorunluluk haline gelmiş olsa da, özellikle inşaat sektöründe konunun dikkatle ele alınması gerekmektedir. İnşaat yapım sürecinin her aşaması riskli çalışma koşullarına sahiptir. İş kazalarının gerçekleşme olasılığının yüksek olmasının yanı sıra, bu kazaların sonuçlarının da ağır olması nedeniyle inşaat sektörü İSG açısından en tehlikeli sektörlerin başında gelmektedir. Bu nedenle çalışanların şantiye ortamında maruz kaldıkları İSG risklerinin düzgün bir şekilde belirlenmesi için gerekli kontrol ve ölçümlerin yapılması kritik bir önem taşımaktadır.

İSG risklerinin değerlendirilmesi için en çok kullanılan metotlardan biri hata türü ve etkileri analizidir (HTEA). Ancak klasik HTEA'nın bazı dezavantajları ve değerlendirme konusundaki eksiklerinin görülmesi neticesinde, son yıllarda İSG risk analizi için farklı yöntemler önerilmiştir (Gölcük, Durmaz, ve Şahin, 2023). Önerilen çözüm yaklaşımları arasında özellikle çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinin ön plana çıktığı görülmektedir. ÇKKV yöntemleri, bir grup alternatifin birden fazla ölçüte göre değerlendirilmesinde kullanılan analitik yöntemlerdir. Bu yöntemler, yapılan değerlendirme sonucu, alternatiflerin sıralanmasını, derecelendirilmesini veya aralarından en iyisinin seçilmesini sağlamaktadır.

Son zamanlarda, geleneksel ÇKKV yöntemlerinin genişlemeleri üzerinde çalışmalar yapılmış olup bu yöntemlerin sınıflandırma amacıyla kullanılmasını sağlayan çözüm yaklaşımları geliştirilmiştir. Çok kriterli sınıflandırma problemlerinde amaç, karar alternatiflerini, kriterlere göre değerlendirerek, önceden tanımlanmış bir grup kategoriye veya sınıfa atanmalarını sağlamaktır. Bu atama, her bir alternatif yalnızca bir sınıfa yerleşecek şekilde gerçekleştirilmektedir. Söz konusu sınıflar ele alınan problemin ve verinin yapısına göre tanımlanmakta ve tercih edilebilirliklerine ve önemlerine göre sıralanmaktadır. Bu durumda, en çok tercih edilen sınıfa yerleşen alternatiflerin diğer sınıflardaki alternatiflere göre daha iyi alternatifler olduğu söylenebilir. Bu yaklaşım değerlendirildiğinde, İSG risklerinin analizinde ÇKKV tabanlı sınıflandırma yöntemlerinin kullanılmasının uygun olduğu görülmektedir.

Literatürde İSG risk değerlendirme çalışmalarında ÇKKV yöntemleri arasında TOPSIS yönteminin uygunluğu ispatlanmış, yöntem ve farklı versiyonları pek çok çalışmada kullanılmıştır. Ancak, yeni bir yöntem olan sınıflandırma temelli TOPSIS yönteminin İSG risk yönetimi çalışmalarında kullanıldığı sayılı çalışma bulunmaktadır (Gül, 2021). Bu çalışmalar incelendiğinde, TOPSIS-Sort-B yönteminin uygulandığı bir makale bulunmadığı görülmüştür. Bu çalışmanın literatüre temel katkısı, İSG risk yönetiminde ilk kez TOPSIS-Sort-B yönteminin kullanılması, yöntemin entropi ağırlıklandırma yöntemiyle entegre edilerek bir gerçek hayat probleminde uygulanması ve geçerliliğinin gösterilmesidir. Bu yöntemle, işletmeler riskleri önceliklerine göre sınıflandırabilecek ve bu yaklaşım işletmelerin hangi risk gruplarına odaklanarak önlemler alması gerektiğine karar vermelerine destek olacaktır.

Bu çalışmada İSG risklerini önceliklendirmek için entropi ağırlıklandırma yöntemi (Wang ve Lee, 2009) ve TOPSIS-Sort-B (de Lima Silva ve de Almeida Filho, 2020; Sabokbar, Hosseini, Banaitis, ve Banaitiene, 2016) yöntemini entegre eden bir yaklaşım önerilmiştir. Entropi ağırlıklandırma yöntemiyle risk faktörlerinin öncelik değerleri belirlenirken, TOPSIS-Sort B ile de risklerin sıralı sınıflara ataması gerçekleştirilmiştir. Kullanılan her iki yöntem de son yıllarda araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Önerilen modelin temel avantajı, anlaşılmasının ve gerçek hayat problemlerini çözmek için kullanımının kolay ve pratik olmasıdır. Önerilen çözüm yöntemi, Türkiye'de faaliyet gösteren bir inşaat firmasında 32 riski, sıralanmış 3 adet sınıfa atamak için kullanılmaktadır. Bu makalenin ön çalışması 6. International Conference on Engineering Sciences'ta sunulmuştur (Gölcük ve Durmaz, 2023). Sunulan öncül çalışma grup karar verme yaklaşımına genişletilmiş ve önerilen model kapsamlı bir şekilde tartışılmıştır. İşletmede görev alan 3 farklı uzman tarafından gerçekleştirilen değerlendirmeler önerilen yöntemin girdisini oluşturmaktadır.

Makalenin ilerleyen bölümleri şu şekilde düzenlenmiştir: 2. bölümde literatürde ÇKKV ile gerçekleştirilen İSG risk değerlendirme çalışmalarının bir özeti sunulmuştur. 3. bölümde önerilen entegre çözüm yaklaşımının adımları açıklanmıştır. 4. bölümde yöntem bir inşaat firmasında İSG risk değerlendirmesi için uygulanmış ve sonuçlar sunulmuştur. 5. bölümde ise çalışmada elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. Literatür Taraması

Literatürde İSG risklerinin analiz ve etkileri üzerinde çalışan çok sayıda teorik ve uygulamalı yayın bulunmaktadır. Farklı sektörleri inceleyen bu çalışmalarda yöntem olarak genellikle hata türü ve etkileri analizi, L tipi ve X tipi matris yöntemleri, sebep-sonuç analizi, hata ağacı analizi gibi çeşitli risk analiz metotları kullanılmıştır. Bunların yanı sıra son yıllarda çok kriterli karar verme (ÇKKV) yaklaşımlarını kullanarak risk analizlerinin gerçekleştirildiği çalışmalarda artış olduğu gözlenmektedir. Bu bölümde, İSG risklerinin değerlendirilmesinde ÇKKV yöntemlerinin kullanılması hakkında bir literatür taraması yapılarak, çalışmalarda önerilen yöntemler özetlenmiştir.

Makin ve Winder (2008) İSG'yi çalışan, fiziksel çevre ve yönetim açısından ele alarak risk değerlendirmesinde uygulama kolaylığı sağlayacak kavramsal bir çerçeve oluşturmuşlardır. Chen, Feng, Zhang, Yuan, ve Pan (2008) termonükleer deneysel reaktör test modülü tasarımında karşılaşılan güvenlik riskleriyle ilgili HTEA'ya dayalı sistematik bir metodoloji geliştirmişlerdir. Grassi, Gamberini, Mora, ve Rimini (2009), insan davranışı ve çevresel faktörlerin risk düzeyine etkisini de göz önünde bulunduran yeni risk unsurları tanıtmışlar ve risk değerlendirmesi için bulanık TOPSIS yöntemini kullanmışlardır. Önerdikleri yöntemin uygulanabilirliğini ve etkinliğini bir vaka çalışması üzerinde göstermişlerdir. Chen, Wu, Chuang, ve Ma (2009) baskı devre kartı sektöründe yer alan işletmeler üzerinde bir inceleme yaparak İSG yönetim sistemleri uygulamalarında yaşanan zorluklar ve kritik başarı faktörleri üzerinde durmuşlardır. Liu ve Tsai (2012) inşaat sektöründeki İSG uygulamalarına odaklandıkları çalışmalarında, iki aşamalı bir kalite fonksiyon göçerimi (QFD) yaklaşımını kullanarak tehlike türleri ve nedenleri arasındaki ilişkileri ortaya koymuşlardır. Bulanık ANP ile önemli tehlike türlerini ve nedenlerini belirleyerek, bulanık çıkarım yaklaşımı temelli bir HTEA ile tehlike nedenlerinin risk değerlerini hesaplamışlardır.

Feili, Akar, Lotfizadeh, Bairampour, ve Nasiri (2013) HTEA yaklaşımıyla jeotermal enerji santrallerinde risk değerlendirme çalışması gerçekleştirmişlerdir. Mahdevari, Shahriar, ve Esfahanipour (2014) bulanık TOPSIS yöntemini kömür madencilikindeki İSG risklerinin analizi ve değerlendirmesinde kullanmışlardır ve İran'da bulunan üç kömür madeninde bir uygulama çalışması yapmışlardır. Mizrak Özfirat (2014), HTEA'da kullanılan risk faktörlerinin ağırlıklarını bulanık önceliklendirme yöntemi ile hesaplanan entegre bir yöntem önermiş ve önerilen yöntemin madencilik sektöründe bir uygulamasını gerçekleştirmiştir. John ve diğ. (2014) liman operasyonlarında karşılaşılan riskleri analiz etmek için, faktör ağırlık hesaplamasında bulanık AHP kullanan ve bir kanıtsal sonuçlama (evidential reasoning-ER) yaklaşımı ile risk sonuçlarını birleştiren bir yöntem önermişlerdir.

Sousa, Almeida, ve Dias (2015) inşaat projelerinde uygulanmak üzere İSG risk azaltma seçeneklerinin fayda-maliyet analizine yardımcı bir İSG potansiyel risk yönetimi yaklaşımı önermişlerdir. Djapan, Tadic, MacUzic, ve Dragojovic (2015) küçük ve orta ölçekli işletmeler için hiyerarşik yapıya sahip üç grup risk faktörü tanımlamış ve bu risklerin değerlendirilmesinde bulanık AHP yaklaşımını kullanmışlardır. Gul, Ak, ve Guneri (2017) sağlık personeli için risk değerlendirmesi yapmak amacıyla iki aşamalı bir yaklaşım önermişlerdir. Bulanık AHP yöntemi ile risk parametrelerini ağırlıklandırarak bulanık VIKOR yaklaşımıyla tehlike türlerini önceliklendirmişlerdir. Yılmaz ve Senol (2017) metal sektöründe İSG için risk değerlendirmesinde bulanık AHP ve bulanık TOPSIS yöntemlerini entegre etmişlerdir. Risk faktörlerinin ağırlıklarını bulanık AHP yöntemiyle elde etmişler ve bu ağırlıkları kullanarak tehlikelerin ve aynı zamanda önlemlerin önceliklendirilmesini bulanık TOPSIS yaklaşımıyla gerçekleştirmişlerdir.

Adem, Colak, ve Dagdeviren (2018) yeni bir mesleki risk skorlama yöntemi önermişlerdir. Bunun için öncelikle bir SWOT analizi yapılarak belirlenen riskler uzmanlar tarafından puanlanmıştır ve risklerin değerlendirilmesinde kararsız bulanık dilsel terim setleri kullanılmıştır. Önerilen yöntem rüzgar türbinlerinin ürün yaşam döngülerindeki İSG risklerinin değerlendirilmesinde uygulanmıştır. Ersoy, Çelik, Yeşilkaya, ve Çolak (2019) mermer ocağında gerçekleştirdikleri çalışmalarında İSG risk analizi için ilk olarak Fine-Kinney metodunu kullanmışlardır. Sonrasında işletmedeki üretim süreçlerini ve kaza türlerini Borda Sayım yöntemiyle ağırlıklandırılmışlar ve Gri İlişkiler Analizi (GRA) yöntemi yardımıyla değerlendirilmiştir.

Korkusuz ve Inan (2020) sağlık sektöründe İSG performans ölçüm çalışmasında AHP ile ağırlıklarını belirledikleri performans göstergelerini PROMETHEE ve GRA yöntemleri ile ayrı ayrı değerlendirerek, iki yöntemi karşılaştırmışlardır. Gül (2021), alüminyum sektöründe gerçekleştirdikleri İSG risk değerlendirme çalışmasında TOPSIS-Sort-C yöntemini kullanarak, değerlendirdikleri 28 riski 5 grupta sınıflandırmıştır. Adem (2022) tarafından yapılan çalışmada işletmelerde kullanılacak risk analizi tekniklerinin doğru bir şekilde belirlenmesinin önemine değinilerek, en uygun tekniğin seçilebilmesi için bir yöntem önerilmiştir. Risk analizi tekniği için seçim kriterleri belirlenerek, kriterlerin önem dereceleri AHP yöntemiyle elde edilmiştir. Gölcük ve diğ. (2023) çalışmalarında bulanık çizge teorisi-matris yöntemi ile bulanık FUCOM yöntemini entegre eden bir yöntem önermişlerdir. Mobilya sektöründe çalışan bir firmada İSG risklerinin değerlendirilmesi amacıyla kullandıkları bu

entegre yöntemi diğer bulanık ÇKKV yöntemleriyle karşılaştırarak yöntemin avantajlarını değerlendirmişlerdir. Konuyla ilgili detaylı bilgi almak için Gul (2018) tarafından yazılan derleme makalesi incelenebilir.

3. Yöntem

Çalışma kapsamında İSG risklerinin değerlendirilmesi için bütünlük bir yaklaşım önerilmiştir. Bu yaklaşımın ilk aşamasında kriterlerin önem derecelerinin tespitinde entropi ağırlıklandırma yöntemi kullanılmaktadır. Kriterlerin ağırlık değerleri elde edildikten sonra, TOPSIS-Sort B yöntemiyle alternatiflerin önceden belirlenen sınıflara atanması gerçekleştirilmektedir. Yöntemin aşamalarına ait detaylı anlatım ilerleyen alt başlıklarda verilmiştir.

3.1. Entropi ağırlıklandırma yöntemi

Çalışmada kriterlerin önem derecelerinin belirlenmesinde entropi ağırlıklandırma yönteminden faydalanılmaktadır. Entropi kavramı, fizikten istatistiğe, mühendislikten sosyal bilimlere kadar pek çok alanda yer alan bir kavramdır. Termodinamikte entropi, bir sistemin mekanik işe dönüştürülmeyen ve evren boyunca dağılan termal enerjisini temsil eder. Olasılık teorisinde ise entropi, bilgedeki belirsizliğin bir ölçüsüdür. Shannon (1948) tarafından geliştirilen entropi kavramına dayanarak oluşturulan entropi ağırlıklandırma yöntemi, ÇKKV problemlerinde kriter ağırlıklarının hesaplanmasında sıklıkla kullanılmaktadır. Entropi değerinin yüksek olması kriterin önem derecesinin de yüksek olduğunu göstermektedir. Yöntemin adımları aşağıdaki gibi özetlenmiştir (Deng, Yeh, ve Willis, 2000):

Adım 1: Karar matrisi, satırları ve sütunları sırasıyla alternatifleri ve kriterleri temsil edecek şekilde oluşturulur. m sayıda alternatif ve n sayıda kriter olduğu varsayımıyla oluşturulan karar matrisi (1) numaralı eşitlikte gösterildiği gibidir. Bu matrisin elemanları i . alternatifin j . kriter açısından değerlendirilmesi sonucu elde edilen performans skorunu göstermektedir.

$$X = \begin{bmatrix} C_1 & \cdots & C_j & \cdots & C_n \\ x_{11} & \cdots & x_{1j} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ x_{i1} & \cdots & x_{ij} & \cdots & x_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mj} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Adım 2: Değerlendirme kriterlerinin farklı ölçüm birimlerine sahip olmasının etkisini engellemek ve karar matrisi elemanlarını aynı işlemlere tabi tutabilmek için öncelikle normalizasyon işlemi yapılması gerekmektedir. Entropi ağırlıklandırma yönteminin normalleştirme adımında genellikle toplama veya en iyi değerlere dayalı doğrusal normalizasyon kullanılır. Bu adımda, karar vericinin tercihi ve çalışılan verinin yapısı dikkate alınarak uygun bir normalizasyon tekniğinin uygulanması önemlidir. Çalışma kapsamında, normalizasyon işlemi (2) numaralı denklem kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (2)$$

Adım 3: Her bir kriter için E_j ile ifade edilen entropi değeri (3) numaralı eşitlikte görüldüğü şekilde hesaplanır.

$$E_j = \frac{-\sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij}}{\ln m} \quad (3)$$

Adım 4: Her bir kriterin ağırlığı (w_j), (4) numaralı eşitlik kullanılarak belirlenir. $(1-E_j)$ ifadesi kriter için bilginin farklılaşma derecesini temsil etmektedir. Bu değer yüksek olması, o kriterin öneminin de yüksek olduğunu göstermektedir. Son adımda, kriter ağırlıkları bu değerlerin normalizasyonu ile hesaplanır.

$$w_j = \frac{1-E_j}{\sum_{j=1}^n (1-E_j)} \quad (4)$$

3.2. TOPSIS-Sort

TOPSIS, ilk olarak Hwang ve Yoon (1981) tarafından önerilen bir ÇKKV yöntemidir. Yöntem, homojen bir alternatifler kümesini sonlu bir karar kriteri kümesine göre değerlendirerek en iyi alternatifin seçilmesini hedeflemektedir. TOPSIS'in temel ilkesi, pozitif ideal çözüme en kısa mesafeye ve negatif ideal çözüme en uzak mesafeye sahip olan karar alternatifini belirlemektir. Basit, rasyonel ve anlaşılır bir konseptte sahip olması ve hesaplama kolaylığı sebebiyle, önerildiği tarihten itibaren çeşitli alanlarda ÇKKV problemlerinin çözümünde sıklıkla kullanılmıştır. TOPSIS'in yaygın kullanımı ve kolay uygulanabilir yapısı sayesinde, farklı ÇKKV yöntemleriyle kolaylıkla entegre edilirken, yıllar içinde farklı genişletmeleri ve varyasyonları da geliştirilmiştir. TOPSIS yönteminin sık kullanılan ve etkinliği kanıtlanmış bir yöntem olması nedeniyle, bu çalışmada İSG risklerinin sınıflandırılabilmesi için TOPSIS temelli bir sınıflandırma yöntemi kullanılmasına karar verilmiştir.

Çalışma kapsamında ele alınan, TOPSIS tabanlı bir sınıflandırma yöntemi olan TOPSIS-Sort, ilk kez Sabokbar ve diğ. (2016) tarafından çok kriterli sınıflandırma problemlerinin çözümü için önerilmiştir ve uygulama çalışması olarak Tahran şehrindeki bölgelerin çevresel performanslarının değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Sonrasında yöntemin avantaj ve dezavantajlarını inceleyen araştırmacılar TOPSIS-Sort B ve TOPSIS-Sort C varyasyonlarını geliştirmişlerdir (de Lima Silva ve de Almeida Filho, 2020). TOPSIS-Sort B sınır profillerini, TOPSIS-Sort C karakteristik profilleri sınıflandırma sürecinde kullanan sıralama yöntemleridir. TOPSIS-Sort B, yalnızca sınıf sayısı-1 sayıda sınır profili tanımlanmasını gerektirmektedir. Temel TOPSIS-Sort algoritmasının geliştirilmiş bir versiyonu olmasının yanı sıra daha az yapay alternatif eklenmesini ve dolayısıyla daha az işlem yapılmasını gerektirmesi, hesaplama basitliği ve anlama kolaylığı nedeniyle alternatifleri sıralamak için adımları aşağıda sunulmuş olan TOPSIS-Sort B yöntemi kullanılmıştır (de Lima Silva ve de Almeida Filho, 2020):

Adım 1: Karar problemindeki kriterler ve alternatifler belirlenir. (1) numaralı eşitlikte verildiği gibi X karar matrisi oluşturulur.

Adım 2: Alternatiflerin atanacağı q adet sınıf için $p=q-1$ adet sınır profili belirlenir. k , toplam sınır profili sayısını gösterdiği varsayımıyla $k=1, \dots, p$ olacak şekilde $S_{k,j}$ profil matrisi oluşturulur.

Adım 3: Her bir kriter için en az maksimum ve minimum değerlere eşit değer olacak şekilde iki yapay alternatif belirlenir. Karar matrisi (X) ve profil matrisi (S) oluşturulduktan sonra, yapay alternatifleri içeren yeni bir Y matrisi oluşturulur.

Adım 4: S matrisi ve Y matrisi, H karar matrisini oluşturmak için ilk karar matrisi X 'e (5) numaralı eşitlikte görüldüğü şekilde eklenir.

$$H = [h_{ij}]_{(m+p+2) \times n} \quad (5)$$

Adım 5: (6) ve (7) numaralı denklemler kullanılarak H matrisi normalize edilir.

$$r_{ij} = \frac{h_{ij}}{y_i^+} \quad (6)$$

$$r_{ij} = \frac{h_{ij} - y_i^-}{y_i^+ - y_i^-} \quad (7)$$

Adım 6: Normalizasyon işleminden sonra, normalize karar matrisi V 'nin elemanları, (4) numaralı eşitlikte verilen w_j kriter ağırlıkları ve (8) numaralı eşitlik kullanılarak ağırlıklandırılır.

$$v_{ij} = r_{ij} \times w_j \quad (8)$$

Adım 7: Ağırlıklı normalleştirilmiş karar matrisi V 'nin elemanları kullanılarak (9) ve (10) numaralı denklemler yardımıyla ideal ve anti-ideal çözüm vektörleri elde edilir. Denklemlerde yer alan J ve J' sırasıyla fayda ve maliyet kriterlerini temsil etmektedir.

$$A^+ = \{v_1^+, \dots, v_n^+\} = \{\max_i v_{ij} \mid j \in J, \min_i v_{ij} \mid j \in J'\} \quad (9)$$

$$A^- = \{v_1^-, \dots, v_n^-\} = \{\min_i v_{ij} \mid j \in J, \max_i v_{ij} \mid j \in J'\} \quad (10)$$

Adım 8: Alternatiflerin pozitif ve negatif ideal çözümlere olan Öklid uzaklıkları (11) ve (12) numaralı denklemler yardımıyla hesaplanır. Benzer şekilde, (13) ve (14) numaralı denklemler ile profillerin ideal çözümlere olan uzaklıkları elde edilir.

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - A_j^+)^2} \quad (11)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - A_j^-)^2} \quad (12)$$

$$d_{p_k}^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - A_j^+)^2}, \quad k = 1, 2, \dots, p; \quad i = k + m \quad (13)$$

$$d_{p_k}^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - A_j^-)^2}, \quad k = 1, 2, \dots, p; \quad i = k + m \quad (14)$$

Adım 9: Alternatiflerin ideal çözüme yakınlığı (15) numaralı eşitlik ile hesaplanır.

$$u(x_i) = \frac{d_i^-}{(d_i^- + d_i^+)} \quad (15)$$

Benzer şekilde, sınır profillerinin ideal çözüme yakınlığı (16) numaralı eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$$u(p_k) = \frac{d_{p_k}^-}{(d_{p_k}^- + d_{p_k}^+)} \quad (16)$$

Adım 10: Alternatiflerin yakınlık değerleri $u(x_i)$ ve profillerinin yakınlık değerleri $u(p_k)$ sınıflandırma işleminde kullanılır. Alternatiflerin sınıflara atanması (17-19) numaralı denklemlerle gerçekleştirilir.

$$x_i \in S_1, \text{ if } u(x_i) \geq u(p_1) \quad (17)$$

$$x_i \in S_k, \text{ if } u(p_k) \leq u(x_i) < u(p_{k-1}), \quad k = 2, \dots, (q - 1) \quad (18)$$

$$x_i \in S_q, \text{ if } u(x_i) < u(p_{q-1}) \quad (19)$$

4. Uygulama

Önerilen entegre çözüm yöntemi Türkiye’de faaliyet gösteren bir inşaat firmasında tespit edilen İSG risklerinin sınıflandırılması amacıyla kullanılmıştır. Öncelikle işletmede uygulanan İSG performans çalışmaları incelenerek, işletmenin bir İSG risk çalışması gerçekleştirmeye istekli olduğu görülmüştür. Bunun üzerine farklı kademelerde çalışan 3 karar verici belirlenmiştir. 3 karar vericinin tecrübelerinden ve işletmenin halihazırdaki İSG çalışmalarından faydalanılarak, inşaat sektöründe farklı süreçlerde meydana gelen iş kazaları değerlendirilmiş ve 32 adet risk kalemi ortaya koyulmuştur. Bu risklerin olası etkileri karar verici 3 uzman tarafından belirlenmiştir. Ele alınan risklerin tanımları ve etkileri Tablo 1’de görülmektedir. Önerilen yaklaşımda karar alternatiflerinin yerine risk kalemleri yer almaktadır. Risklerin değerlendirileceği kriterler olarak üç risk faktörü dikkate alınmıştır. Çalışmada kullanılan üç risk faktörü şiddet (S), olasılık (O) ve fark edilebilirliktir (F). Bu faktörler, literatürde FMEA ile risk skorlarının hesaplanmasında ve ÇKKV yöntemleriyle gerçekleştirilen İSG risk değerlendirme uygulamalarında en çok kullanılan risk faktörleri olduğu için çalışma kapsamında ele alınan risklerin değerlendirilmesi amacıyla seçilmiştir. Şiddet, potansiyel bir istenmeyen kaza olayının gerçekleşmesi durumunda olası sonucu ve zararın büyüklüğünü ifade eder. Olasılık, tehlikenin meydana gelme sıklığı olarak tanımlanır. Fark edilebilirlik ise, riskin gerçekleşmeden önce, istenmeyen sonuçlara yol açmadan önce tespit edilebilme derecesini gösterir. Uygulama çalışmasının adımları aşağıda verilmiştir.

Tablo 1. Ele alınan riskler ve etkileri

No	Risk tanımı	Risk etkisi
R1	Tozlu ortamda çalışma sonucu toza maruziyet	Göz rahatsızlıkları
R2	Beton dökümünde kullanılan pompanın patlaması	Yaralanma
R3	Acil durumlara müdahale edememe	Uzuv kaybı ve yaralanma
R4	Çalışma ortamının ergonomik olmaması	İskelet ve kas sistemi rahatsızlıkları
R5	Şantiye ve sosyal tesislerde trafik kazası	Yaralanma
R6	Çatı işlemleri sırasında çalışanların düşmesi	Yaralanma ve ölüm
R7	Ele demir batması	Yaralanma
R8	Yüksekte demir bağlanması sırasında aşağıda çalışanların üzerine demir düşmesi	Şiddetli yaralanma
R9	Ağır boru ve demirin çalışanların üzerine düşmesi	Uzuv ezilmesi
R10	Depolardaki malzemelerin çalışanların üzerine düşmesi	Yaralanma ve ölüm
R11	Depolarda bulunan yanıcı ve kimyasal malzemeler sebebiyle yangın çıkması	Yaralanma ve ölüm
R12	Malzeme ve ekipmanın yanlış şekilde kullanılması	Yaralanma
R13	Personelin gerekli önlemleri almadan çalışması	İş kazası
R14	Elin matkap ile teması	Yaralanma ve uzuv kaybı
R15	Çalışanları elektrik çarpması	Yaralanma

R16	İskele göçmesi, devrilmesi	Şiddetli yaralanma ve ölüm
R17	İskele kurulumu sırasında aşağıda çalışanların üzerine malzeme düşmesi	Şiddetli yaralanma
R18	Tehlikeli kimyasalların uygunsuz kullanımı veya depolanması	Zehirlenme, cilt ve göz komplikasyonları, solunum yolu hastalıkları
R19	Kalıp sökümü sırasında yüksekten düşme	Yaralanma ve ölüm
R20	Kalıp malzemelerinin işçilerin üzerine düşmesi	Yaralanma ve ölüm
R21	Kaynak ışınlarının göze zarar vermesi	Göz rahatsızlıkları
R22	Kaynak işlemi sırasında yangın ve patlama	Şiddetli yaralanma ve ölüm
R23	Kazı çalışmalarında su baskını	Boğulma
R24	Kazı çalışmalarında toprak kayması	Yaralanma
R25	Çelik malzemelerin çalışanların üzerine devrilmesi	Yaralanma
R26	Merdivenin kayması	Yaralanma
R27	Şiddetli rüzgar sebebiyle malzemelerin çalışanların üzerine devrilmesi	Şiddetli yaralanma
R28	Sağlık kontrolü yapılmamış çalışanların hastalanması	Mesleki hastalıklar ve yaralanma
R29	Şantiye güvenliğinin sağlanamaması	İş kazası
R30	Çalışanların sınırlı hava hacmi olan ortamlarda çalışması	Solunum yolu hastalıkları
R31	Çalışanların gürültü ortamlarda çalışması	İşitme kaybı
R32	Aşındırıcı malzemelerle temas	Alerjik solunum yolu rahatsızlıkları, dermatit

Öncelikle, değerlendirme kriteri olarak belirlenen üç risk faktörü ile 32 risk değerlendirilerek her bir karar verici tarafından karar matrisi oluşturulmuştur. Her bir risk kaleminin, faktörler açısından aldığı değerler karar verici 3 uzman tarafından ayrı ayrı belirlenmiştir. Her bir risk maddesi 1-10 arası puanlar üzerinden değerlendirilmiş ve en riskli madde 10 ile gösterilmiştir. Karar matrisi elemanları uzman değerlendirmelerinin birleştirilmesiyle son haline getirilmiştir. Bu aşamada, uzman karar vericilerin değerlendirmeleri aritmetik ortalama yöntemiyle birleştirilerek tek bir karar matrisi elde edilmiştir. Karar matrisi oluşturulduktan sonraki adım entropi yönteminin ikinci adımında gerçekleştirilen normalizasyon işlemidir. (2) numaralı eşitlikle karar matrisi normalize edilmiştir. Hesaplanan p_{ij} değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Hesaplanan normalize p_{ij} değerleri

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
S	0.022	0.022	0.020	0.013	0.052	0.022	0.020	0.048
O	0.024	0.014	0.028	0.035	0.031	0.028	0.031	0.035
F	0.039	0.037	0.024	0.037	0.015	0.039	0.026	0.019
	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R16
S	0.022	0.050	0.048	0.020	0.022	0.025	0.023	0.052

O	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.031	0.031	0.035
F	0.022	0.037	0.035	0.039	0.039	0.039	0.039	0.039
	R17	R18	R19	R20	R21	R22	R23	R24
S	0.023	0.048	0.050	0.050	0.020	0.023	0.023	0.050
O	0.031	0.031	0.035	0.035	0.031	0.031	0.031	0.031
F	0.039	0.039	0.039	0.024	0.037	0.039	0.019	0.026
	R25	R26	R27	R28	R29	R30	R31	R32
S	0.023	0.022	0.023	0.047	0.022	0.022	0.022	0.054
O	0.024	0.035	0.031	0.031	0.031	0.031	0.028	0.031
F	0.032	0.039	0.035	0.017	0.019	0.024	0.022	0.028

Tablo 2’de verilen değerler ve (3) ve (4) numaralı eşitlikler kullanılarak risk faktörlerine ait entropi (E) ve ağırlık (w) değerleri entropi ağırlıklandırma yöntemiyle elde edilmiştir. Bu değerler Tablo 3’te görülmektedir. Elde edilen değerlere göre, en önemli risk faktörü şiddet, ikinci önemli risk faktörü ise fark edilebilirlik olmuştur. En az önemli risk faktörü ise olasılıktır.

Tablo 3. Risk faktörlerine ait entropi (E) ve ağırlık (w) değerleri

	S	O	F
E	0.973	0.997	0.989
w	0.663	0.075	0.262

Risk faktörlerine ait ağırlık değerleri elde edildikten sonra, önerilen yöntemin TOPSIS-Sort B aşamasına geçilir. İlk olarak, yapay değişkenleri (y^+ , y^-), sınır profillerini ($p1$, $p2$) ve 32 adet risk birimini içeren bütünleşik karar matrisi (H), (5) numaralı eşitlikte gösterildiği şekilde oluşturulmuştur. Daha sonra (6) ve (7) numaralı eşitlikler kullanılarak bu matris normalize edilmiştir. Normalize edilmiş H matrisi Tablo 4’te görüldüğü gibidir.

Tablo 4. Normalize karar matrisi

	y^+	y^-	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
S	1.00	0.00	0.40	0.40	0.37	0.23	0.97	0.40	0.37	0.90	0.40	0.93
O	1.00	0.00	0.23	0.13	0.27	0.33	0.30	0.27	0.30	0.33	0.33	0.33
F	1.00	0.00	0.60	0.57	0.37	0.57	0.23	0.60	0.40	0.30	0.33	0.57
	R11	R12	R13	R14	R15	R16	R17	R18	R19	R20	R21	R22
S	0.90	0.37	0.40	0.47	0.43	0.97	0.43	0.90	0.93	0.93	0.37	0.43
O	0.33	0.33	0.33	0.30	0.30	0.33	0.30	0.30	0.33	0.33	0.30	0.30
F	0.53	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.37	0.57	0.60
	R23	R24	R25	R26	R27	R28	R29	R30	R31	R32	$p1$	$p2$
S	0.43	0.93	0.43	0.40	0.43	0.87	0.40	0.40	0.40	1.00	0.75	0.45
O	0.30	0.30	0.23	0.33	0.30	0.30	0.30	0.30	0.27	0.30	0.25	0.15
F	0.30	0.40	0.50	0.60	0.53	0.27	0.30	0.37	0.33	0.43	0.45	0.27

(8) numaralı eşitlik yardımıyla, Tablo 4'te verilen değerler, risk faktörlerinin ağırlık değerleriyle çarpılarak ağırlıklı normalize karar matrisi (V) oluşturulur. Bu değerler Tablo 5'te sunulmuştur.

Tablo 5. Ağırlıklı normalize karar matrisi

	y+	y-	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
S	0.66	0.00	0.27	0.27	0.24	0.15	0.64	0.27	0.24	0.60	0.27	0.62
O	0.08	0.00	0.02	0.01	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03
F	0.26	0.00	0.16	0.15	0.10	0.15	0.06	0.16	0.10	0.08	0.09	0.15
	R11	R12	R13	R14	R15	R16	R17	R18	R19	R20	R21	R22
S	0.60	0.24	0.27	0.31	0.29	0.64	0.29	0.60	0.62	0.62	0.24	0.29
O	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02
F	0.14	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.10	0.15	0.16
	R23	R24	R25	R26	R27	R28	R29	R30	R31	R32	p1	p2
S	0.29	0.62	0.29	0.27	0.29	0.57	0.27	0.27	0.27	0.66	0.50	0.30
O	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01
F	0.08	0.10	0.13	0.16	0.14	0.07	0.08	0.10	0.09	0.11	0.12	0.07

(9) ve (10) numaralı eşitlikler kullanılarak, öncelikle ideal ve anti-ideal çözüm vektörleri elde edilmiştir. Sonrasında (11-14) numaralı denklemler ile alternatiflerin ve sınır profillerinin ideal çözümlere olan uzaklıkları Tablo 6'daki gibi hesaplanmıştır.

Tablo 6. Alternatiflerin ve sınır profillerinin pozitif ve negatif ideal çözümlere olan uzaklıkları

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
d_i^+	0.415	0.419	0.455	0.523	0.209	0.415	0.451	0.201
d_i^-	0.309	0.304	0.262	0.216	0.644	0.309	0.266	0.602
	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R16
d_i^+	0.437	0.132	0.148	0.436	0.414	0.373	0.394	0.118
d_i^-	0.280	0.637	0.613	0.291	0.309	0.348	0.328	0.660
	R17	R18	R19	R20	R21	R22	R23	R24
d_i^+	0.394	0.135	0.124	0.179	0.438	0.394	0.421	0.172
d_i^-	0.328	0.617	0.639	0.627	0.286	0.328	0.299	0.628
	R25	R26	R27	R28	R29	R30	R31	R32
d_i^+	0.402	0.414	0.399	0.218	0.441	0.434	0.438	0.157
d_i^-	0.316	0.309	0.320	0.579	0.278	0.283	0.280	0.673
	p1	p2						
d_i^+	0.227	0.417						
d_i^-	0.511	0.307						

Son olarak karar alternatiflerine ait (15) ve (16) numaralı eşitliklerle hesaplanan yakınlık değerleri Tablo 7’de özetlenmiştir. Yakınlık değerleri sonuçlara göre en yüksek yakınlık derecelerine sahip riskler R16 iskele göçmesi/devrilmesi, R19 kalıp sökümünde yüksekten düşme, R10 depolarda uygunsuz istiflenen malzemelerin çalışanların üzerine devrilmesi, R18 tehlikeli kimyasalların uygunsuz kullanımı ve depolanması, R32 aşındırıcı malzemelerle temas ve R11 depolardaki yanıcı ve kimyasal malzemeler sebebiyle oluşan yangın olarak ortaya çıkmıştır.

Tablo 7. Yakınlık değerleri

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
YD	0.426	0.421	0.366	0.292	0.755	0.427	0.370	0.750
	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R16
YD	0.391	0.829	0.806	0.400	0.427	0.483	0.455	0.848
	R17	R18	R19	R20	R21	R22	R23	R24
YD	0.455	0.821	0.837	0.778	0.395	0.455	0.415	0.785
	R25	R26	R27	R28	R29	R30	R31	R32
YD	0.440	0.427	0.446	0.727	0.386	0.395	0.390	0.810
	p1	p2						
YD	0.693	0.424						

Algoritmanın sıralama aşamasında, sıralı sınıflara alternatifler atamak için Tablo 7’de verilen yakınlık değerleri ve (17-19) numaralı ifadeler kullanılır. Sınır profillerine göre riskler 3 kategoriye ayrılmıştır. Atama sonuçları yakınlık değerlerine göre sıralı olarak Tablo 8’de verilmiştir. Sonuçlara göre 11 risk, risk puanı en yüksek risk faktörlerini içeren 1. sınıfa atanmıştır. Öte yandan, 10 risk, orta seviyede risklerin bulunduğu 2. sınıfa atanmıştır. Son olarak, en az riskli maddeler olan 11 risk, 3. sınıfta yer almıştır. Sonuçlara göre karar vericiler yüksek risk grubu olan 1. risk sınıfındaki maddelere odaklanmalı ve risk etkilerini azaltmak için aksiyon planları hazırlanmalıdır. Yüksek risk sınıfındaki riskler incelendiğinde, özellikle şiddetli yaralanma ve ölüm gibi ağır sonuçlara yol açan risklerin bu sınıfa girdiği görülmektedir.

Tablo 8. Risklerin sınıflara atanması

Sınıf 1	R16, R19, R10, R18, R32, R11, R24, R20, R5, R8, R28
Sınıf 2	R14, R15, R17, R22, R27, R25, R6, R13, R26, R1
Sınıf 3	R2, R23, R12, R21, R30, R9, R31, R29, R7, R3, R4

Elde edilen her bir sınıf için ayrıca sıralamalar da elde edilebilmektedir. İlk sınıfta yer alan riskler içerisinde en önemli risk iskele göçmesi ve devrilmesi (R16) olarak bulunmuştur. Bu riski sırasıyla kalıp sökümü sırasında yüksekten düşme (R19) ve depolardaki malzemelerin çalışanların üzerine düşmesi (R10) takip etmektedir. Tehlikeli kimyasalların uygunsuz kullanımı veya depolanması (R18) ile aşındırıcı malzemelerle temas (R32) riskleri sırasıyla dördüncü ve beşinci sırada yer almaktadır. Tehlikeli kimyasalların uygunsuz kullanımı ve depolanması riskinin ön plana çıkmasının önemli nedeni kimyasal maddelerin yutulması veya solunmasının zehirlenme, cilt ve göz tahrişi, solunma problemleri gibi pek çok rahatsızlığa yol açmasıdır. Ayrıca uzun dönemde üreme ve gelişimsel problemler ile vücut sistemlerinde hasara yola açması gibi faktörler sebebiyle karar vericilerin yüksek şiddet değerleri atadığı görülmüştür.

Öte yandan, ikinci sınıfta yer alan riskler incelendiğinde yakınlık değerlerinin 0,42 ve 0,48 arasında olduğu görülmüştür. Orta riskli olarak nitelendirilen bu grupta ön plana çıkan riskler elin matkap ile teması (R14),

çalışanları elektrik çarpması (R15), iskele kurulumu sırasında aşağıda çalışanların üzerine malzeme düşmesi (R17) ve kaynak işlemi sırasında yangın ve patlama (R22) şeklindedir. Son olarak az riskli olan üçüncü sınıfta yer alan kriterlerin yakınlık katsayıları 0,29 ve 0,42 arasında olup en önemli risklerin sırasıyla beton dökümünde kullanılan pompanın patlaması (R2), kazı çalışmalarında su baskını (R23) ve malzeme ve ekipmanın yanlış şekilde kullanılması (R12) şeklinde olduğu görülmüştür.

Çalışmada elde edilen sonuçlar, karar vericilerin subjektif görüşlerine dayanmaktadır. Bu nedenle, sektöre özgü genel çıkarımlar yapmak doğru sonuçları vermeyecektir. Karar vericilerin verdikleri puanlar, riskin firma özelinde ne ölçüde tehlikeli olarak değerlendirildiğini ortaya koymaktadır. Buna ek olarak, firmanın aldığı tedbirler ve özel durumlar firmanın riskler hakkında yaptıkları değerlendirmeleri etkilemektedir. Böylece, bazı riskler yüksek risk sınıfına atanırken, aynı riskin farklı bir firma için daha az risk puanına sahip olması mümkündür. Dolayısıyla, karar vericiler ve politika yapıcılar firmanın koşullarını dikkate alarak düzenli bir biçimde risk analizi çalışmaları yapmalıdır. Önerilen çok kriterli sınıflandırma modeli, risk analizi çalışmalarında karar vericilere destek olacak önemli bir araç olarak hizmet edecektir.

5. Sonuç

Bu çalışmada işletmelerde İSG risklerinin değerlendirilmesi için bütünlük bir yaklaşım geliştirilmiştir. İki aşamalı bu çözüm yaklaşımının ilk aşamasında, değerlendirme kriteri olarak belirlenmiş olan 3 risk faktörünün önem derecelerinin tespiti için entropi ağırlıklandırma yöntemi kullanılmıştır. Yöntemin ikinci aşamasında ise, bulunan faktör ağırlıkları göz önüne alınarak, bir çok kriterli sınıflandırma yöntemi olan TOPSIS-Sort B yaklaşımıyla risklerin belirlenen sıralı sınıflara atanması gerçekleştirilmiştir.

Çalışma kapsamında İSG açısından oldukça riskli bir sektör olan inşaat sektöründe bir uygulama yapılmıştır. Türkiye’de faaliyet gösteren bir inşaat firmasında çalışanların maruz kaldıkları 32 adet risk tanımlanmıştır. Uzmanlar tarafından bu risklerin, belirlenen 3 risk faktörüne göre değerlendirilmesi yapılarak bir karar problemi oluşturulmuştur. Çalışmada grup karar verme yaklaşımı kullanılmıştır. İşletmede farklı düzeylerde çalışan üç karar vericiden alınan değerlendirmeler entegre edilerek kullanılmıştır. Entropi ağırlıklandırma yöntemiyle en önemli risk faktörünün şiddet olduğu bulunmuştur. Diğer kriterler sırasıyla tespit edilebilirlik ve olasılık olarak sıralanmıştır.

Değerlendirilen 32 adet riskin, önem derecelerine göre sıralanmış olan 3 risk sınıfına atanması TOPSIS-Sort B ile gerçekleştirilmiş olup, karar vericilerin ve yöneticilerin etkin önlemler alabilmesi için odaklanması gereken riskler ortaya koyulmuştur. Sonuçlara göre R5, R8, R10, R11, R16, R18, R19, R20, R24, R28 ve R32 birinci risk sınıfında yer almaktadır. R1, R6, R13, R14, R15, R17, R22, R25, R26 ve R27 ikinci risk sınıfında ve R2, R3, R4, R7, R9, R12, R21, R23, R29, R30 ve R31 üçüncü risk sınıfında bulunmaktadır.

Çalışmadaki en büyük sınırlılık, önerilen yaklaşımda karar verici uzmanların bilgi ve tecrübelerinden faydalanılması ve sonuçların söz konusu karar vericilerden alınan bilgilere dayalı olmasıdır. Bu nedenle sonuçlar, bahsedilen karar vericilere özeldir ve diğer inşaat işletmeleri için genellenmesi uygun olmayacaktır. Gelecek çalışmalarda, karar vericilerin değerlendirmelerindeki belirsizliklerin daha iyi bir şekilde ifade edilerek kullanılan yöntemle yansıtılabilmesi amacıyla, önerilen yöntemin bulanık mantık yaklaşımlarıyla ele alınabileceği düşünülmektedir. Burada önerilen ÇKKV yaklaşımı, farklı bulanık küme uygulamaları ile genişletilebilir. Ayrıca, önerilen entegre çözüm yaklaşımı, farklı sektörlerde gerçekleştirilecek İSG risk değerlendirme çalışmalarında kullanılabilir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada Esra Duygu DURMAZ, problemin tanımlanması, literatür araştırması, yöntemin belirlenmesi ve uygulanması, sonuçların analizi, makalenin yazımı; İlker GÖLCÜK problemin tanımlanması, yöntemin belirlenmesi ve uygulanması, sonuçların analizi, makalenin incelenmesi konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Adem, A. (2022). İş sağlığı ve güvenliğinde kullanılan risk analizi tekniklerinin değerlendirilmesi için bir rehber önerisi. *Politeknik Dergisi*, 25(3), 1319-1328. doi:<https://doi.org/10.2339/politeknik.1114897>
- Adem, A., Colak, A., & Dagdeviren, M. (2018). An integrated model using SWOT analysis and Hesitant fuzzy linguistic term set for evaluation occupational safety risks in life cycle of wind turbine. *Safety Science*, 106, 184-190. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.02.033>
- Chen, C. Y., Wu, G. S., Chuang, K. J., & Ma, C. M. (2009). A comparative analysis of the factors affecting the implementation of occupational health and safety management systems in the printed circuit board industry in Taiwan. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 22(2), 210-215. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jlp.2009.01.004>
- Chen, Z., Feng, K. M., Zhang, G. S., Yuan, T., & Pan, C. H. (2008). Preliminary safety research for CH HCSB TBM based on FMEA method. *Fusion Engineering and Design*, 83(5), 743-746. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2008.05.046>
- de Lima Silva, D. F., & de Almeida Filho, A. T. (2020). Sorting with TOPSIS through boundary and characteristic profiles. *Computers & Industrial Engineering*, 141, 106328. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106328>
- Deng, H., Yeh, C.-H., & Willis, R. J. (2000). Inter-company comparison using modified TOPSIS with objective weights. *Computers & Operations Research*, 27(10), 963-973. doi:[https://doi.org/10.1016/S0305-0548\(99\)00069-6](https://doi.org/10.1016/S0305-0548(99)00069-6)
- Djapan, M. J., Tadic, D. P., MacUzic, I. D., & Dragojovic, P. D. (2015). A new fuzzy model for determining risk level on the workplaces in manufacturing small and medium enterprises. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability*, 229(5), 456-468. doi:<https://doi.org/10.1177/1748006X15581219>
- Ersoy, M., Çelik, M. Y., Yeşilkaya, L., & Çolak, O. (2019). Combination of Fine-Kinney and GRA methods to solve occupational health and safety problems. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34(2), 751-770. doi:<https://doi.org/10.17341/gazimmfd.416534>
- Feili, H. R., Akar, N., Lotfizadeh, H., Bairampour, M., & Nasiri, S. (2013). Risk analysis of geothermal power plants using Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) technique. *Energy Conversion and Management*, 72, 69-76. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2012.10.027>
- Gölcük, İ., & Durmaz, E. D. (2023). An integrated decision-making model with entropy weighting and TOPSIS-Sort for occupational risk assessment. 6. *International Conference on Engineering Sciences Abstract Book*, 56, Ankara, Türkiye.
- Gölcük, İ., Durmaz, E. D., & Şahin, R. (2023). Prioritizing occupational safety risks with fuzzy FUCOM and fuzzy graph theory-matrix approach. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 38(1), 57-70. doi:<https://doi.org/10.17341/gazimmfd.970514>
- Grassi, A., Gamberini, R., Mora, C., & Rimini, B. (2009). A fuzzy multi-attribute model for risk evaluation in workplaces. *Safety Science*, 47(5), 707-716. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2008.10.002>
- Gul, M. (2018). A review of occupational health and safety risk assessment approaches based on multi-criteria decision-making methods and their fuzzy versions. *Human and Ecological Risk Assessment*, 24(7), 1723-1760. doi:<https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1424531>
- Gül, M. (2021). A quantitative occupational risk assessment methodology based on TOPSIS-Sort with its application in aluminum extrusion industry. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 7(1), 163-172.
- Gul, M., Ak, M. F., & Guneri, A. F. (2017). Occupational health and safety risk assessment in hospitals: A case study using two-stage fuzzy multi-criteria approach. *Human and Ecological Risk Assessment*, 23(2), 187-202. doi:<https://doi.org/10.1080/10807039.2016.1234363>

- Hwang, C.-L., & Yoon, K. (1981). Methods for multiple attribute decision making. *Multiple attribute decision making: methods and applications a state-of-the-art survey*, 58-191.
- John, A., Paraskevakis, D., Bury, A., Yang, Z., Riahi, R., & Wang, J. (2014). An integrated fuzzy risk assessment for seaport operations. *Safety Science*, 68, 180-194. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2014.04.001>
- Korkusuz, A. Y., & Inan, U. H. (2020). Occupational health and safety performance measurement in healthcare sector using integrated multi criteria decision making methods. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35(1), 81-96. doi:<https://doi.org/10.17341/gazimmfd.441032>
- Liu, H. T., & Tsai, Y. L. (2012). A fuzzy risk assessment approach for occupational hazards in the construction industry. *Safety Science*, 50(4), 1067-1078. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2011.11.021>
- Mahdevari, S., Shahriar, K., & Esfahanipour, A. (2014). Human health and safety risks management in underground coal mines using fuzzy TOPSIS. *Science of the Total Environment*, 488-489(1), 85-99. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.04.076>
- Makin, A.-M., & Winder, C. (2008). A new conceptual framework to improve the application of occupational health and safety management systems. *Safety Science*, 46(6), 935-948. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2007.11.011>
- Mizrak Özfirat, P. (2014). A new risk analysis methodology integrating fuzzy prioritization method and failure modes and effects analysis. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 29(4), 755-768. doi:<https://doi.org/10.17341/gummfd.04423>
- Sabokbar, F. H., Hosseini, A., Banaitis, A., & Banaitiene, N. (2016). A novel sorting method TOPSIS-SORT: an applicaiton for Tehran environmental quality evaluation. *E & M Ekonomie a Management*, 19 (2) (2016), 87-104, doi:<https://doi.org/10.15240/tul/001/2016-2-006>
- Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *The Bell system technical journal*, 27(3), 379-423. doi:<https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x>
- Sousa, V., Almeida, N. M., & Dias, L. A. (2015). Risk-based management of occupational safety and health in the construction industry - Part 2: Quantitative model. *Safety Science*, 74, 184-194. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.01.003>
- Wang, T.-C., & Lee, H.-D. (2009). Developing a fuzzy TOPSIS approach based on subjective weights and objective weights. *Expert Systems with Applications*, 36(5), 8980-8985. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.11.035>
- Yilmaz, N., & Senol, M. B. (2017). A model and application of occupational health and safety risk assessment. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32(1), 77-87. doi:<https://doi.org/10.17341/gazimmfd.300597>



Journal of Turkish Operations Management

A review of workload challenges in fog computing environment

Omar Anwer Nafea^{1*}, Turkan Ahmed Khaleel²

¹Department of Computer Engineering, College of Engineering, University of Mosul, Mosul, Iraq
e-mail: omar.21enp5@student.uomosul.edu.iq, ORCID No: <https://orcid.org/0009-0002-5966-3602>

²Department of Computer Engineering, College of Engineering, University of Mosul, Mosul, Iraq
e-mail: turkan@uomosul.edu.iq, , ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-4047-8100>

Article Info

Article History:

Received: 29.03.2023

Revised: 15.04.2023

Accepted: 26.04.2023

Keywords

Fog Computing,
Workload,
Cloud,
Quality of Service,
Load-Balancing,
IoT.

Abstract

Users nowadays in environments with fog computing require applications that respond quickly to their requests for everything they want to access and work quickly and require to increase in the Quality of Service metrics such as minimum energy consumption, bandwidth efficiency, and reduction latency in a fog network, resulting in an improvement in the system's performance, that is done by getting to know the workload on the network and how to deal with it. In this paper, the various fog computing workloads are described, along with where each one should be executed, in addition, discuss the load-balancing techniques and strategies count as a very important issue and one of the important challenges in the fog computing environment, that play a significant role in resource management like resource provisioning, task offloading, resource scheduling, and resource allocation this will be done based on reviewing previous research and discussing the most important concepts in it.

1. Introduction

Globally, the number of Internet of Things (IoT) devices is constantly growing day by day worldwide and is forecast to almost triple from 9.7 billion in 2020 to more than 29 billion IoT devices in 2030 (Vailshery 2022) as shown in figure 1. Each IoT device has sensors that gather information about the environment in real time. At the IoT layer, huge amounts of data are produced and for processing, this data is sent to a cloud computing system. However, in some applications that are sensitive to time such as health, military operations, and fire control systems a quick response is essential and latency is a major factor. So, to get over this restriction, fog computing is placed between the two layers (the cloud and the end-user layer). In this case, only necessary data will go to the cloud after being quickly processed and responded to by fog computing. fog computing uses edge devices for computing, communication, and storage (Lyu et al. 2018).

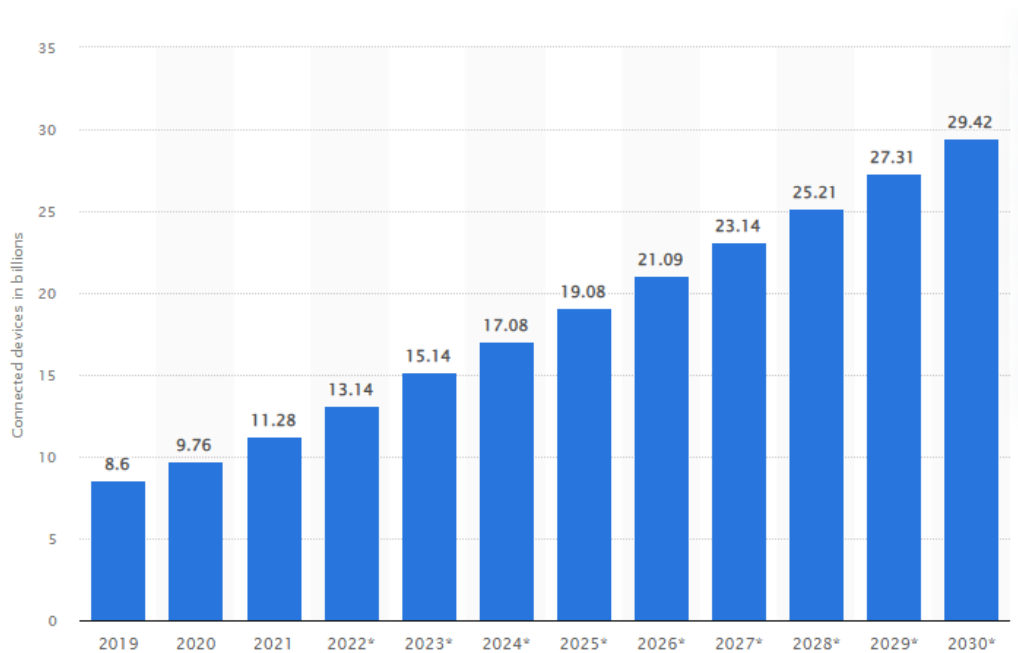


Figure 1. No. of IoT Devices (Vailshery 2022)

In the fog computing layer, the fog nodes receive data that IoT devices have sensed, and with the increased rate of data production, some fog nodes get overloaded. Due to this, processing tasks (data processing) take longer to compute, which affects delivery times. To resolve this problem, fog nodes must successfully collaborate to offload tasks to less overloaded nodes, and the workload should also be distributed through an algorithm of load balancing or approach to the less overloaded nodes. This decreases response time, reduces resource consumption, and improves resource utilization. The load balancing function of fog nodes spreads the workload over all of their resources. It is used to increase resource usage and user satisfaction while ensuring that no single node is overloaded, which enhances system performance as a whole.

The remaining sections are arranged as follows: Section 2 describes fog computing (Characteristics, Architecture, Services), and describes the Challenges with fog computing. Computing workload and Classification of workloads in the cloud and fog are presented in section 3. Section 4 of the paper reviews techniques and strategies of load balancing used in fog computing.

2. Fog computing

A brief description of the fog computing environment, its characteristics, architecture, and the services it provides will be given in this section:

2.1 The Characteristics of Fog Computing

As a compute layer that is located closer to the user layer, where the IoT devices are placed, fog computing provides computing, networking, and storage capabilities. The following features and characteristics of the fog computing layer are presented compared to the cloud computing and edge-network layers to provide these services and achieve the requirements of IoT systems (Costa et al. 2022) (Tim Mell 2009) (Rahul and Aron 2021) (Kumari, Singh, and April 2017):

- **Geographical Distribution:** Unlike cloud computing, fog computing architecture requires geo-distributed deployment and administration of services and applications (He et al. 2018).
- **low latency:** In comparison to activities performed by a cloud service, since fog computing nodes are located closer to the users, they can analyze and respond to generated and requested data more quickly (Shi et al. 2018).
- **Heterogeneity:** The ability to collect and process data from various sources and through a variety of network connection methods.

- **Real-time interactivity:** Unlike cloud computing, where batch processing is the norm, real-time interactions are possible due to the proximity of devices and fog nodes.
- **Scalability:** supports resource flexibility by enabling quick detection of changes in network and device conditions and variations in workload response times.
- **Support for mobility:** Many fog applications demand direct communication with mobile devices; therefore, they must support mobility techniques.
- **Improved service quality (QoS):** When compared to cloud computing numerous parameters including reliability, bandwidth, and connection health fared better in fog computing (Mahmud et al. 2019). As a result, the fog computing technique hence improving the Quality of Service (QoS).
- **Increased security:** fog computing offers increased security. It is possible to create policies and procedures to safeguard the network's fog nodes (P. Zhang et al. 2018).

2.2 Fog Computing Architecture

Fog computing expands on cloud computing by offering computational resources to execute services closer to the end users or the end device layer (IoT). Architecture with three layers is one of the common architectures which include (IoT or end device layer, fog computing layer, and cloud computing layer), where the fog layer comprises everything between the cloud and the end users (Habibi et al. 2020) (Rahimi, Songhorabadi, and Kashani 2020):

- **Tier 1:** In this lowest level layer (End devices layer) you can find all IoT devices that can store and communicate unprocessed data to its upper layer.
- **Tire 2:** It's the middle layer (fog layer), is made up of numerous network devices that can process and temporarily store data, including computing devices, switches, and routers, these units are linked to the cloud network and will keep sending data there regularly.
- **Tire 3:** The top layer (cloud layer) has numerous servers and data centers. which are capable to handle a high amount of data and capacity to store it too. Figure 2 shows the fog computing architecture with its three layers.

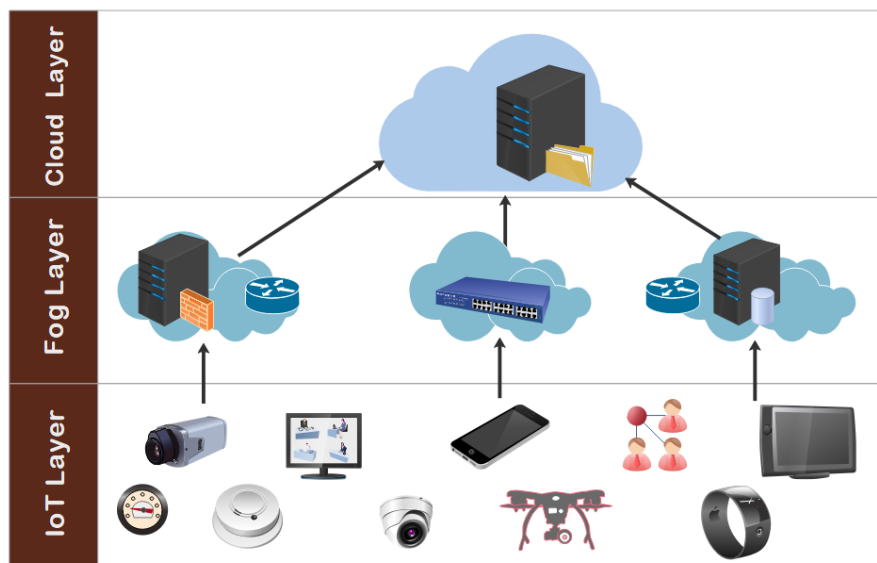


Figure 2. Fog Computing Architecture

2.3 Services in Fog Computing

The fog computing layer, being close to the Internet of Things-IoT layer, is used to provide many services that are an extension of cloud computing services, this section offers a summary of several services at the fog layer, which are divided into three categories: processing, storing, and network services(Negash et al. n.d.):

- **Storage Services**

The sensor nodes can produce enormous amounts of data. When you take into account the rate of data generation, the storage space offered by the devices at the perception layer is frequently insufficient to retain even a day's worth of data. As was previously mentioned, it is not required to transmit all data directly to the cloud, especially when there are redundant or irrelevant data. In these situations, it would be prudent to filter the data and temporarily store it in the intermediate fog layer (Rahmani et al. 2017).

- **Computing services**

The advent of remote processing techniques is a result of the computing capabilities of the devices in the perception layer being constrained. Processing at the fog layer is motivated by the need to better meet system requirements and maintain energy efficiency, as well as to provide local processing and a faster response, that reduces processing available in the cloud can be brought down into the fog computing layer (Hu et al. 2016) (Datta, Bonnet, and Haerri 2015).

- **Communication Services**

Wireless nodes are largely responsible for communication in the Internet of Things (IoT), because of resource limitations in the IoT layer these wireless protocols are optimized for low power operation, narrowband transmission, or greater range of coverage. The market currently offers a wide variety of alternative protocols (Sheng et al. 2013).

2.4 Challenges

Fog computing still faces numerous difficulties in its early stages, even though it brings cloud computing services closer to the user and offers several extra advantages over cloud computing. The following issues face fog computing, according to (Hao et al. 2017) (Singh et al. 2019):

- **Heterogeneity:** because fog computing nodes are made up of a variety of devices, including sensors, laptops, mobile phones, and desktop computers, heterogeneity is a challenge with how different devices communicate with one another to execute tasks(Cinzia Cappiello 2018).
- **Load balancing:** is an expression in cloud and fog computing that is essential to achieving a time- and energy-efficient system., we will discuss this in the next sections.
- **Resource management:** to enhance resource scheduling, resource management may require to be properly planned (Yi et al. 2016). where the performance of fog computing applications depends on resource discovery and sharing. For maximizing resource availability and reducing energy consumption, resource-sharing optimization algorithms can be developed (Yi et al. 2016) (Dastjerdi and Buyya 2016).
- **The policy of connection:** additional difficulties include how the fog nodes are interconnected and how to use the fog nodes that are available to handle the workload (Aazam, Zeadally, and Harras 2018).
- **Strategy for deployment:** The deployment plan is the largest obstacle. How are the workloads distributed across the fog nodes that make up the fog network? (Lin and Yang 2018).
- **Offloading of tasks:** Offloading of tasks is the process of carrying tasks from the cloud and fog nodes to another node. This choice of execution is based on several factors, such as the amount of computing power required for the task, which is offloaded to the cloud for execution, and the amount of computing power needed for the task, which is handled on the fog nodes. Task offloading can also take into account latency, with latency-sensitive tasks running on fog nodes and non-latency-sensitive tasks being sent to the cloud (Qiao et al. 2018) (G. Zhang et al. 2018).

3. Comparison between Fog and Cloud Computing Workload

Any program or application that is active on a computer is considered a workload in the field of computing. A workload can be as simple as a contact app running on a smartphone or as complex as an enterprise application that runs on one or more servers and communicates with several client systems over a large network. The workload can also be used to describe how much amount of work puts on the underlying computational resources. The amount of time and computing power needed to complete a certain activity or create an output from given inputs is generally referred to as an application's workload. A light workload uses few computing resources, such as processors, CPU clock cycles, storage I/O (input/output), and other components, to complete its specified tasks or performance objectives. Significant amounts of computing resources are needed to handle a big workload. It is challenging to group all workloads into a single set of consistent criteria because workloads are intended to execute a myriad of distinct jobs in a multitude of various ways, Workloads, for instance, could be classed as static or dynamic. An operating system (OS) is an example of a static workload that is constantly active. A dynamic workload is transient and only loads and runs when necessary. Numerous new workload classifications have been created as a result of the enormous diversification of software development (Bigelow n.d.).

3.1 The Workload in Cloud Computing

"Cloud workload" is the term used to describe the amount of work produced by a variety of apps and services deployed on cloud infrastructures. Or is a particular program, service, function, or amount of work that can be executed on a cloud resource? cloud workloads include virtual machines, databases, containers, and applications. The cloud computing paradigm has recently seen a substantial increase in popularity due to virtualization technologies. However, due to the heterogeneity and varying needs for resources in cloud applications, new difficult problems with workload allocation and scheduling solutions have emerged. cloud computing workload can be characterized by focusing on (Calzarossa, Maria Carla, Luisa Massari 2016):

- Virtual data centers
- cloud infrastructures
- Services for computers and storage

3.2 Classification of Workloads in The Cloud

Workloads must be categorized according to their design, resource requirements, and usage patterns to determine whether private, public, or hybrid cloud environments are the most appropriate for them. So, according to their resource requirements, cloud workloads can be divided into the following categories(Stephanie Vozza 2022):

- Workloads that don't require specialized computation and run on the cloud's default setup are referred to as general computing. Web servers, distributed data stores, common web programs, and containerized microservices are some of them.
- Workloads that require a lot of processing power and can manage several users at once are referred to as CPU-intensive. Deep learning applications and massively multiplayer online games that require processing-intensive tasks like video encoding, large data analytics, 3D modeling, etc. fall under this category.
- Workloads that require a lot of memory and processing capacity to execute, are referred to be memory-intensive. Caches, distributed databases, and real-time streaming data are examples.
- Some workloads that need GPU-accelerated computing, including seismic analysis, self-driving cars, navigation systems, and speech recognition, have extremely high processing demands. Do real-time operations, that require the strength of GPUs in addition to CPUs.
- Workloads like in-memory databases are storage optimized.

Workload availability and the Volume of traffic are more significant. So, the following patterns can be used to categorize cloud workloads:

- **Static Workload:** In general, the requirements for resources, demand, and uptime are well defined. These include crucial enterprise services including CRM, ERP, and email.

- **Periodic workloads:** During specific hours of the day, week, month, or year, these see an increase in traffic, such as payment for bills or using accounting and tax software. The workloads that serverless computing, in which clients do not pay for flawless instances, is most suited to handle.
- **Unpredictable workloads:** Popular platforms and apps like online multiplayer games, video streaming websites, social networks, etc., might experience a rapid rise in traffic. clouds' auto-scaling capabilities can manage these spikes by dynamically adding instances as needed.

3.3 Fog Computing Workload

The workload is helpful when assessing a system's performance, the system's capacity to handle the burden can be translated into evaluating performance. A single computer or a network of computers can make up the system. The time it takes between a user request and the system's response is one way to evaluate the performance of such a system. The system's throughput, which shows how much work can be done each time, is another critical metric. Similar measurements like availability, reliability, etc. However, the user's needs are the factor that should be taken into account when choosing performance measures. There is no accurate definition of workload in the literature because different researchers have described and used different definitions to depict it. The workload has been popularly referred to as a task or a job. From the literature, it may be assumed that a workload can be viewed as an application or service that has been deployed to the cloud or fog. As a result, the workload could range from a simple single service to one that is enormous and made up of hundreds of micro-services cooperating.

The distribution of computing tasks among the available resources determines the effectiveness of the system as a whole. The workload itself affects the relationship between the job and the resources. Thus, according to the task's requirements, workload classification plays a crucial part in identifying the proper resource allocation, which enhances QoS. As a result, in the fog and cloud computing environments, a systematic and structured approach to workload classification may aid in an accurate prediction of incoming resource requests that comply with QoS criteria. (Singh and Chana 2016).

According to Z. Raza, et al. (Raza and Jangu 2022) to understand the workload, it was divided into three classifications, according to their characteristics:

- **Quantitative attributes:** refer to the characteristics of request/workload that determine the number of resources required by them. These resources may include the computing, networking, or storage requirements necessary to finish or properly manage requests.
- **Qualitative attributes:** refer to the non-quantifiable characteristics that a workload holds, such as a deadline, sensitivity to delay, tolerance to latency, priority, and many more that specify the characteristics of a workload.
- **Non-functional requirements:** like performance, security, availability, and privacy that are connected to (SLA) and improve QoS.

4. Load Balancing

In computing networks, some nodes can occasionally carry all of the network's load while others can occasionally remain underloaded. The servers' uneven load may cause problems such as system failure, energy consumption, network failure, and longer execution times (Mishra, Sahoo, and Parida 2020) (Sultan and Khaleel 2022), as a result, Load-balancing becomes crucial to managing the load on computational nodes.

In general Load Balancing is a technique for evenly distributing incoming requests among several servers, so the workload is distributed equally (Kaur and Aron 2021). The employment of load Balancing methods helps to prevent overloaded servers. The load balancer is used to monitor traffic between servers and user requests as a traffic monitoring program. Incoming requests will be routed to the remaining available servers whenever a server goes offline, according to the load balancer, the load balancer will instantly forward requests to any new servers when they are introduced (Talaat et al. 2020). Utilizing Load Balancing methods has the following benefits: reduce waiting times; reduce response times; maximize resource use; boost throughput; enhance reliability; and improve performance.

The process of workload load-balancing in fog computing and the most important related algorithms will be the main topic of the next section.

4.1 Balancing Workload in Fog computing

As previously mentioned by the researchers, load balancing is required to control or to evenly spread the workload equally in computing nodes according to their capability, which leads to making effective use of all available resources, this guarantees that are no over-utilized or underutilized resources (Télez et al. 2018) (Velde and Rama 2017). Among the few properties of load balancing, the Workload is evenly distributed across all nodes, resources are efficiently used, the system performs better, less energy is consumed, the user is more satisfied, and the response time is sped up (Sumathy and Manju 2019).

In a fog environment, load balancing enhances the throughput of task processing at fog nodes. fog nodes contain resources from both the network and end users and have distributed geographical locations; they preprocess the work before forwarding it to a cloud data center. It is the responsibility of the service broker to route user requests to the appropriate data centers, where they must be handled by their priority and related processing expense, The network resource at each location in this manner is the service broker (Chiang and Zhang 2016). While some applications need to complete the work at the lowest possible cost, others need to respond quickly regardless of the cost of processing. The data center nearby becomes overcrowded when a large number of requests originate from the same geographic region, hence load balancing measures are required to distribute the workload to prevent overload at the same data center, the same scenario in the fog environment, to evenly distribute the load, correct load distribution rules must be implemented whenever a user's work at a specific location becomes overwhelmed due to a particular fog cluster. The ultimate goal in a fog environment is real-time computing and fast response, thus the load-balancing strategy shouldn't take too long. A load balancing technique in a fog environment must be adaptive for any changes in resources of the fog computing environment (Sumathy and Manju 2019). Although it is possible to apply the load-balancing strategies used in the cloud to the fog computing environment, they must be changed to take into consideration the resources and tasks that are available there. fog networking and its architecture have drawn more scholarly attention as the number of Internet of Things devices has increased (Mao et al. 2017).

Figure 3 shows how a load balancer distributes workload to the compute servers by taking it from various users. The available servers on the network are routinely observed by a load-balancer, when it receives workload from several users, it first checks to see if resources are available before distributing the workload between all the computing resources to minimize network overload.

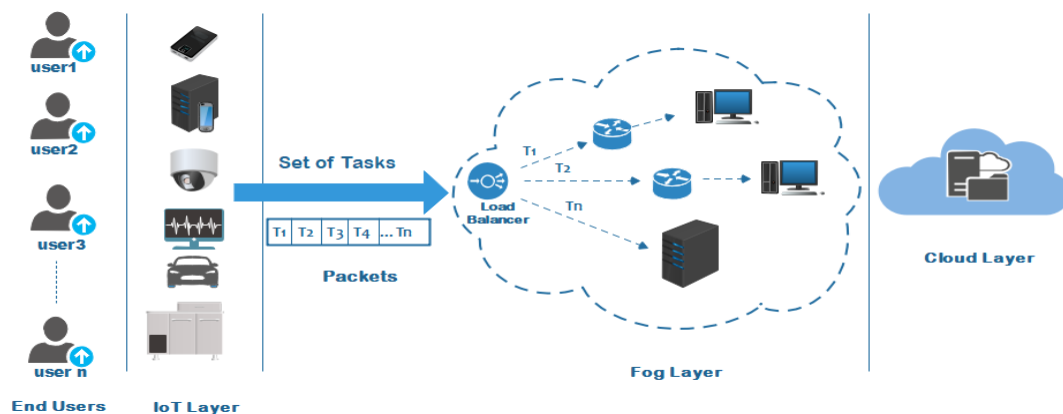


Figure 3. Load-Balancing in fog network

The load was separated into several categories, including CPU load, storage device load, and network load. Load balancing is the process of identifying overloaded and lightly laden nodes and then distributing the workload evenly across them all. System performance can be enhanced by using fog resources effectively. Resources used in fog can be physical (hardware) or virtual (Milani and Navimipour 2016). according to (Kaur and Aron 2021) The procedure of load balancing used in fog is shown in the flow diagram in Figure 4.

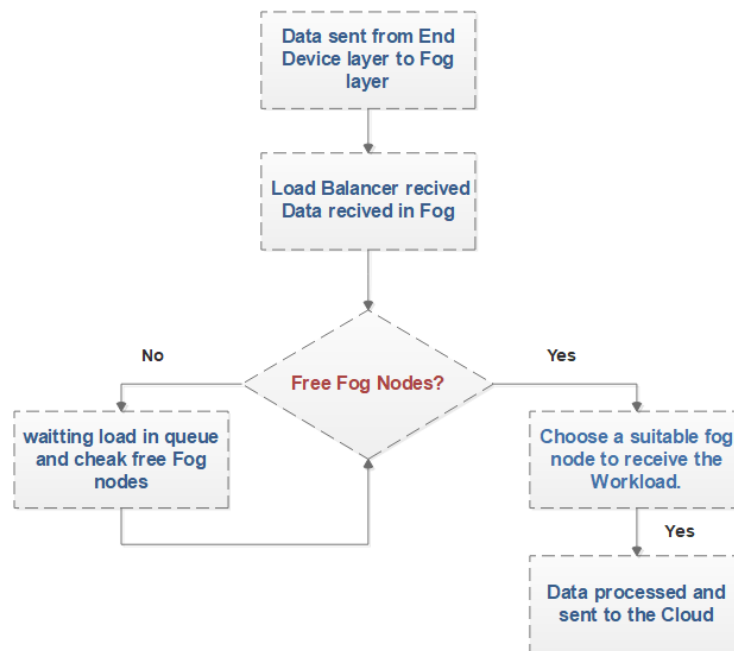


Figure 4. Load Balancing Flow Diagram in a fog Environment.

4.2 Load Balance Techniques in Fog Environment

The load balancing has a few objectives, such as traffic optimization, response time reduction, throughput maximization, reduction request processing times, optimize server-side resource consumption, and increase scalability in distributed environments(Adhianto et al. 2017), this led to improving the pace at which programs executed on resources due to the unpredictability of their execution times at runtime. In fog computing, load balancing is utilized on both virtual machines and physical nodes (fog nodes), and all of the processing nodes receive an equal share of the load. In fog networks different load balancing techniques can be used or done in two ways static and dynamic(Neghabi et al. 2018) (Verma, Bhardawaj, Yadav 2015):

- **static techniques** (Singh et al. 2020) (Baek et al. 2019): In fog computing, the load is balanced by splitting the traffic into equal amounts and distributing them among the servers. The equal distribution of load among the servers in static load balancing provides prior knowledge of the applications, statistical data, and the system's resources that will be used. This kind of load balancing is not movable as soon as the process starts, it cannot be transferred to another machine while it is in operation because the tasks are not assigned to the processor until they have been created.
- **Dynamic techniques**(Singh et al. 2020) (Baek et al. 2019): In the case of dynamic balancing, the server that manages the least amount of load is checked for and chosen for load balancing. These algorithms make use of real-time network communication and consider the current system state to be in control of the network load. The dynamic load balancing method finds out how to look for servers that aren't overloaded before assigning the right amount of work to them. Real-time load balancing occurs between unused and overused fog nodes. The workload is distributed across the processors during operation. Although the algorithms used in this method are thought to be complex, their fault tolerance and overall performance are superior.

We will provide a brief review of load balancing techniques done by several researchers given as follows:

- M. Verma et al. (Verma 2016) developed a real-time efficient scheduling (RTES) load balancing algorithm in a fog computing environment, that has been suggested and implemented in the cloudSim tool. In comparison to other algorithms used in the fog computing environment, such as FCFS, Priority, and Multi-Objective Tasks Scheduling Algorithm, the results obtained after implementing the proposed architecture and algorithm are good. They have provided minimal execution time, quick response to client

requests, and completion of real tasks ahead of schedule, while maintaining data consistency and proper resource and bandwidth utilization. The suggested algorithm is 90% effective, and in the future, it can be further enhanced by adding other QoS aspects like security, etc.

- S. Hamrioui et al. (Hamrioui, Lorenz, and Grtc 2017) The suggested technique, known as “LBA-Ie (Load Balancing Algorithm for IoT Communications inside e-Health Environment)”, is based on the integration of IoT communication characteristics in the flow management process provided by TCP. “LBA-Ie” is a self-organizing and adaptable algorithm that takes into account network changes, link conditions, and object properties. Energy efficiency and QoS (Quality of Service) are measured when evaluating “LBA-Ie”. The simulation's output is contrasted with three alternative solutions' findings. By enhancing data reliability, “LBA-Ie” raises the quality of service (QoS) of IoT communications, which enhances e-health applications. LBA-Ie enables objects to use less energy overall, extending their typical lifespan in the process.
- D. Puthal, et al. (Puthal et al. 2018) suggested a novel load-balancing approach for “EDCs” (Edge Data Centers) in a fog computing environment. It is secure and long-lasting. The suggested load-balancing technique is essentially split into two parts, the first of which focuses on the secure authentication of the region's EDCs using cloud-initiated credentials, and the second of which focuses on the sustainable load balancing architecture by obtaining load information from the destination EDCs. Utilizing both theoretical analysis and experimental evaluation, the suggested solution has been assessed in two distinct methods. According to the performance evaluation and comparison results, the suggested method is safe and tenable because it uses the destination EDC's load during authentication.
- Q. Fan et al (Fan, Member, and Ansari 2018) suggested the load balancing “(LAB)” scheme for the fog network, to reduce the average latency of data flows from IoT devices, By connecting IoT devices to appropriate Base stations BSs/fog nodes, LAB accounts for both the distribution of computation and traffic loads. The IoT device association concentrates on balancing the traffic loads among BSs when the network's traffic demand is greater than its processing load. Similarly, to this, compute latency becomes the dominant factor in the average latency ratio when the network's computing demand is high, making the fog nodes the bottleneck. However, LAB may still lower the average latency by modifying the IoT device association to balance the traffic load and computation load simultaneously, this is accomplished by creating a distributed algorithm that iteratively finds the best solution.
- M. Jimeno et al. (Jimeno et al. 2018) suggested a “Tabu” Search method for the optimal load balancing across cloud and fog nodes that takes into account resource constraints. For job scheduling and execution, the suggested design supports the integration of fog and cloud Nodes. The architecture can be modified to support more coordinator nodes. Adopting the Tabu Search Method has the primary benefit that certain layers' online calculations are efficient, and jobs should be handled as they come in.
- H. Zhuang, et al. (Zhuang et al. 2018) present “SSLB”, a self-similarity-based load balancing strategy for large-scale fog computing. It fully exploits the benefits of both centralized and decentralized systems. Even as the fog increases in size, load balancing overhead may be kept to a minimum with this structure. We suggest an adaptive threshold strategy that properly and dynamically determines the load threshold on each node to ensure SSLB's efficiency. Furthermore, work distribution and task grasping are two proposed scheduling techniques. Results from experiments indicate that SSLB performs better than conventional systems, particularly when the fog scale is quite large.
- A mathematical search optimization method called the HCLB (Hill Climbing Load Balancing) algorithm was proposed by K. Hassan, et al (Hassan et al. 2019). Finding accessible VMs relies on a random solution. This algorithm depends on the repetition of execution until the ideal answer to a problem is discovered. The loop in HCLB is increased until the closest available VM is identified. The best VM is then chosen and given the task of processing requests.
- According to S. Sumathy et al. (Sumathy and Manju 2019) the main objective is to divide the workload across available fog devices, with task processing being minimized reaction time. The min-min method was applied to each cluster with success. A few of the many variables that the authors take into account include the distance between the cloud server and the closest cluster node and the capacity of each cluster to manage a waiting queue of work. The efficiency of the framework is higher and better for smaller cluster nodes. In the future, the proposed framework might be used in conjunction with an appropriate cloud computing environment.
- The priority-based request serving at fog computing centers was discussed by G. Chowdhary, et al. (Chowdhary and Rathod 2019), by focusing on the scenario in which a fog node in a fog computing center (FCC) is overloaded with the workload. The increased workload is transferred to nearer fog nodes instead

of the distant cloud. The originality of the suggested method is demonstrated by the ability to reduce the offloading of high-priority requests to other nodes by 11%.

- M. Maywood et al. (Mohd, Maswood, and Alharbi 2020) addressed load balancing strategies by proposing a novel Mixed-Integer Linear Programming (MILP) based optimization model in a three-tire cloud-fog computing system. The major goals of this work were to balance workloads (CPUs' processing capacity) and reduce bandwidth costs (network resources) in a "three-layer cloud -fog computing environment". Utilizing simulation tools, the suggested method's efficacy was assessed.
- F. Alqahtani (Alqahtani and Amoon 2021) suggests a dependable scheduling approach using the resources in cloud-fog environments, To better allocate requests to resources, the Load Balanced Service Scheduling Approach (LBSSA) classifies requests into three categories: real-time, important, and time-tolerant. The recommended approach also considers the resource failure rate when scheduling requests to ensure high reliability for requested services. To handle different requests, the approach provides several algorithms. cloudSim simulation tests are run to assess the LBSSA approach's performance in terms of computing resources available, how well they are being used, how load balance varies, and how long it takes to operate.
- M.Kaur, et al. (M.Kaur and Aron, R. 2021) proposed a load-balancing model for scientific workflow applications in the fog computing environment, the proposed algorithm Tabu-GWO-ACO combines the three algorithms Tabu search, Grey Wolf Optimization (GWO), and Ant Colony Optimization (ACO) into one hybrid form. The underloaded and overloaded fog nodes are identified using the Tabu search algorithm, and the fog nodes are subsequently optimized using GWO and ACO. This paper also suggested fog computing architecture of load balancing (FOCALB), a fog computing framework based on load balancing. This study takes into account scientific process applications to evaluate the effectiveness of the suggested strategy. The performance of Tabu-GWO-ACO is compared to that of other existing techniques to outperform them. By effectively balancing the load in the setting of fog computing, the suggested approach primarily seeks to improve resource usage.

Table 1: Provides a summary review of load balancing technique done by several researchers.

Author	Year	Algorithm	Main Focus
M. Verma et al.	2016	Real-time efficient scheduling "(RTES)"	_____
S. Hamrioui et al.	2017	"The Load-Balanced Service Scheduling Approach (LBSSA)"	Reduce latency and improve service quality.
D. Puthal, et al	2018	novel load balancing approach for "Edge Data Centers (EDCs)"	Improved quality of service and energy efficiency, but low scalability and specific to e-health.
Q. Fan et al	2018	Load Balancing (LAB)	Increasing security is More effective but with limited scalability.
M. Jimeno et al	2018	"(Tabu)" Search technique for the best load balancing across cloud and fog nodes	Reduce latency in computing and communications but don't take energy efficiency, cost, and bandwidth into account
H. Zhuang, et al	2018	"A self-similarity-based load balancing strategy for large-scale fog computing (SSLB)"	Reduce the amount of memory used and the cost of computing, however, complexity is great and scalability is not being considered.

K. Hassan, et al	2019	“(HCLB) Hill Climbing Load Balancing algorithm”	Low Overhead and High Scalability, but Energy consumption and Throughput research are needed.
S. Sumathy et al.	2019	Centralized load balancing algorithm	Reduced response and processing time and decreased network delay, however, security concerns are not taken into account.
G. Chowdhary, et al	2019	The priority-based request serving at fog computing centers	Reduce task processing response times and costs, however, centralized approaches use more energy.
M. Maswood et al.	2020	“Mixed-Integer Linear Programming (MILP)”	Minimize offloading but need to work on modeling techniques.
F. Alqahtani	2021	“The Load-Balanced Service Scheduling Approach (LBSSA)”	Reduce bandwidth costs but the energy consumption is not taken into account.
M.Kaur, et al.	2022	“The proposed algorithm Tabu-GWO-ACO”	efficient resource load balancing and scheduling but it is high Complexity.

5. Conclusions

Fog and the cloud have both been included in a computing environment. In this article, we look at the fog computing environment's traits, architecture, and services. fog computing is used as a system with a quick response time. Therefore, it should be used before cloud computing to get a quick response. The architecture of fog computing is described, which is three-layer: cloud computing, fog computing, and the Internet of Things. A fog computing environment is different from a cloud and according to this difference between both fog and cloud, to get the most out of fog architecture, it is crucial to intelligently distribute the workload by choosing the resources that are most appropriate for the task's characteristics. By dividing the workload between the two tiers (the cloud and the fog), a well-defined characterization and classification increase system performance and raise the attainable QoS. We also demonstrated the load-balancing strategies and methods currently employed in fog computing.

6. Acknowledgments

The authors are fully grateful to the University of Mosul – college of engineering - Computer Engineering department for their help in raising the standard of this paper.

Contribution of researchers

Authors have equal contribution in all the sections as shown:

- The fog environment has been described, including its characteristics, architecture, and services as described in paragraph 2.
- Classification of the Workload in cloud – fog computing as described in paragraph 3.
- Review and discuss some earlier research on load-balancing strategies in the fog environment as described in paragraph 4.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

References

- Aazam, M., Zeadally, S., & Harras, K. A. (2018). Deploying Fog Computing in Industrial Internet of Things and Industry 4.0. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 14(10), 4674–4682. doi <https://doi.org/10.1109/TII.2018.2855198>.
- Adhianto, L., Banerjee, S., Fagan, M., Krentel, M., Marin, G., Mellor-Crummey, J., & Tallent, N. R. (2017). A survey on load balancing algorithms for virtual machines placement in cloud computing. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 22(6), 685–701. doi <https://doi.org/10.1002/cpe.4123>.
- Alqahtani, F., & Amoon, M. (2021). Reliable scheduling and load balancing for requests in cloud-fog computing. *Peer-to-Peer Networking and Applications*, 14, No. 4. doi <https://doi.org/10.1007/s12083-021-01125-2>.
- Baek, J., Kaddoum, G., Garg, S., Kaur, K., & Gravel, V. (2019). Managing Fog Networks using Reinforcement Learning Based Load Balancing Algorithm. April, 15–18. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8885745>
- Bigelow, S. J. (n.d.). Workload. Retrieved November 6, 2022, from <https://www.techtarget.com/searchdatacenter/definition/workload>
- Calzarossa, Maria Carla, Luisa Massari, D. T. (2016). Workload Characterization: A Survey Revisited. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, Vol. 48, N(3), pp 1–43. <https://doi.org/10.1145/2856127>.
- Chiang, M., & Zhang, T. (2016). Fog and IoT: An Overview of Research Opportunities. *IEEE Internet of Things Journal*, 3(6), 854–864. doi <https://doi.org/10.1109/JIOT.2016.2584538>.
- Chowdhary, G., & Rathod, D. (2019). Load Balancing of Fog Computing Centers : Minimizing Response Time of High Priority Requests. *Int. J. Innov. Technol. Explor. Eng.*, 8,(October), no. 11, pp. 2713–2716. doi <https://doi.org/10.35940/ijitee.K2171.0981119>.
- Cinzia Cappiello, P. P. and M. V. (2018). A Data Utility Model for Data-Intensive Applications in Fog Computing Environments. In *Fog Computing: Concepts, Frameworks and Technologies*. Springer International Publishing. doi <https://doi.org/10.1007/978-3-319-94890-4>.
- Costa, B., Bachiega, J., De Carvalho, L. R., & Araujo, A. P. F. (2022). Orchestration in Fog Computing: A Comprehensive Survey. *ACM Computing Surveys*, 55(2).doi <https://doi.org/10.1145/3486221> .
- Dastjerdi, A. V., & Buyya, R. (2016). Fog Computing: Helping the Internet of Things Realize Its Potential. *Computer*, 49(8), 112–116. doi <https://doi.org/10.1109/MC.2016.245> .
- Datta, S. K., Bonnet, C., & Haerri, J. (2015). Fog Computing architecture to enable consumer centric Internet of Things services. *Proceedings of the International Symposium on Consumer Electronics, ISCE*, 1–2. doi <https://doi.org/10.1109/ISCE.2015.7177778>
- Fan, Q., Member, S., & Ansari, N. (2018). Towards Workload Balancing in Fog Computing Empowered IoT. *IEEE Transactions on Network Science and Engineering*, PP(X), 1. doi <https://doi.org/10.1109/TNSE.2018.2852762>.
- Habibi, P., Member, S., Farhoudi, M., Leon-garcia, A., & Fellow, L. (2020). Fog Computing : A Comprehensive Architectural Survey. 69105–69133. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9046806>.
- Hamrioui, S., Lorenz, P., & Grtc, M. (2017). Load Balancing Algorithm for Efficient and Reliable IoT Communications within E-health Environment. *IEEE Global Communications Conference*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/GLOCOM.2017.8254435>.
- Hao, Z., Novak, E., Yi, S., & Li, Q. (2017). Challenges and Software Architecture for Fog Computing. *IEEE Internet Computing*, 21(2), 44–53. doi <https://doi.org/10.1109/MIC.2017.26>.
- Hassan, K., B, N. J., Zahid, M., & Ansar, K. (2019). Hill Climbing Load Balancing Algorithm on Fog Computing: Vol. vol 24. Springer International Publishing. doi <https://doi.org/10.1007/978-3-030-02607-3>.
- He, S., Cheng, B., Wang, H., Xiao, X., Cao, Y., & Chen, J. (2018). Data security storage model for fog computing in large-scale IoT application. *INFOCOM 2018 - IEEE Conference on Computer Communications Workshops*,

39–44. doi <https://doi.org/10.1109/INFCOMW.2018.8406927>.

Hu, P., Member, S., Ning, H., Member, S., Qiu, T., & Member, S. (2016). Fog Computing-Based Face Identification and Resolution Scheme in Internet of Things. 3203(c), 1–11. doi <https://doi.org/10.1109/TII.2016.2607178>.

Jimeno, M., Téllez, N., Salazar, A., & Nino-ruiz, E. D. (2018). A Tabu Search Method for Load Balancing in Fog Computing. *Int. J. Artif. Intell.*, 16,(September), no. 2, pp. 106–135. https://www.researchgate.net/publication/327752530_A_Tabu_Search_Method_for_Load_Balancing_in_Fog_Computing.

Kaur, M., & Aron, R. (2021). A systematic study of load balancing approaches in the fog computing environment. In *Journal of Supercomputing* (Vol. 77, Issue 8). Springer US. doi <https://doi.org/10.1007/s11227-020-03600-8>.

Kumari, S., Singh, S., & April, M. (2017). Fog Computing : Characteristics and Challenges. Vol.6(2), 113–117. https://www.researchgate.net/publication/340272352_Fog_Computing_Characteristics_and_challenges.

Lin, C. C., & Yang, J. W. (2018). Cost-Efficient Deployment of Fog Computing Systems at Logistics Centers in Industry 4.0. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 14(10), 4603–4611. doi <https://doi.org/10.1109/TII.2018.2827920>.

Lyu, X., Ren, C., Ni, W., Tian, H., & Liu, R. P. (2018). Distributed Optimization of Collaborative Regions in Large-Scale Inhomogeneous Fog Computing. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 36(3), 574–586. doi <https://doi.org/10.1109/JSAC.2018.2815359>.

M.Kaur and Aron, R. (2021). FOCALB : Fog Computing Architecture of Load Balancing for Scientific FOCALB : Fog Computing Architecture of Load Balancing for Scientific Workflow Applications. *Journal of Grid Computing*, Vol 19, No(January 2022), 1-22. doi <https://doi.org/10.1007/s10723-021-09584-w>.

Mahmud, R., Srirama, S. N., Ramamohanarao, K., & Buyya, R. (2019). Quality of Experience (QoE)-aware placement of applications in Fog computing environments. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 132(August 2019), 190–203. doi <https://doi.org/10.1016/j.jpdc.2018.03.004>.

Mao, Y., You, C., Zhang, J., Huang, K., & Letaief, K. B. (2017). A Survey on Mobile Edge Computing: The Communication Perspective. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 19(4), 2322–2358. doi <https://doi.org/10.1109/COMST.2017.2745201>.

Milani, A. S., & Navimipour, N. J. (2016). Load balancing mechanisms and techniques in the cloud environments: Systematic literature review and future trends. *Journal of Network and Computer Applications*, 71, 86–98. doi <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2016.06.003>.

Mishra, S. K., Sahoo, B., & Parida, P. P. (2020). Load balancing in cloud computing: A big picture. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 32(2), 149–158. doi <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2018.01.003>.

Mohd, M., Maswood, S., & Alharbi, A. G. (2020). A Novel Strategy to Achieve Bandwidth Cost Reduction and Load Balancing in A Cooperative Three-Layer Fog-Cloud Computing Environment. *IEEE Access*, 8, 113737–113750. doi <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3003263>.

Negash, B., Rahmani, A. M., Liljeberg, P., & Jantsch, A. (2018). Fog Computing Fundamentals in the Internet-of-Things. In *Fog Computing in the Internet of Things* (pp. 3–13). Springer International Publishing. doi https://doi.org/10.1007/978-3-319-57639-8_1.

Neghabi, A. A., Navimipour, N. J., Hosseinzadeh, M., & Rezaee, A. (2018). Load Balancing Mechanisms in the Software Defined Networks: A Systematic and Comprehensive Review of the Literature. *IEEE Access*, 6, 14159–14178. doi <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2805842>.

Puthal, D., Obaidat, M. S., Nanda, P., Prasad, M., Mohanty, S. P., & Zomaya, A. Y. (2018). Secure and Sustainable Load Balancing of Edge Data Centers in Fog Computing. May, 60–65. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8360851>.

Qiao, G., Leng, S., Zhang, K., & He, Y. (2018). Collaborative task offloading in vehicular edge multi-access networks. *IEEE Communications Magazine*, 56(8), 48–54. doi <https://doi.org/10.1109/MCOM.2018.1701130>.

Rahimi, M., Songhorabadi, M., & Kashani, M. H. (2020). Fog-based smart homes: A systematic review. *Journal of Network and Computer Applications*, 153(March). doi <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2020.102531>

- Rahmani, A. M., Gia, T. N., Negash, B., Anzanpour, A., Azimi, I., Jiang, M., & Liljeberg, P. (2017). Exploiting Smart E-Health Gateways at the Edge of Healthcare Internet-of-Things : A Fog Computing Approach. *Future Generation Computer Systems*.doi <https://doi.org/10.1016/j.future.2017.02.014>.
- Rahul, S., & Aron, R. (2021). Fog computing architecture, application and resource allocation: a review. In *CEUR Workshops* (Vol. 4638, pp. 0-2).
- Raza, Z., & Jangu, N. (2022). Workload Classification For Better Resource Management in Fog-Cloud Environments. *International Journal of Systems and Service-Oriented Engineering*, 12(1), 1–14. doi <https://doi.org/10.4018/ijssoe.297135>.
- Sheng, Z., Yang, S., Yu, Y., Vasilakos, A., McCann, J., & Leung, K. (2013). A Survey on The Ietf Protocol Suite for The Internet of Things: Standards, challenges, and Opportunities. *IEEE Wireless Communications*, 20(6), 91–98. doi <https://doi.org/10.1109/MWC.2013.6704479>.
- Shi, C., Ren, Z., Yang, K., Chen, C., Zhang, H., Xiao, Y., & Hou, X. (2018). Ultra-low latency cloud-fog computing for industrial Internet of Things. *IEEE Wireless Communications and Networking Conference, WCNC*, 2018-April, 1–6. doi <https://doi.org/10.1109/WCNC.2018.8377192>.
- Singh, S., & Chana, I. (2016). Cloud resource provisioning: survey, status and future research directions. *Knowledge and Information Systems*, 49(3), 1005–1069. doi <https://doi.org/10.1007/s10115-016-0922-3>.
- Singh, S. P., Kumar, R., Sharma, A., & Nayyar, A. (2020). Leveraging energy-efficient load balancing algorithms in fog computing. March, 1–16. doi <https://doi.org/10.1002/cpe.5913>.
- Singh, S. P., Nayyar, A., Kumar, R., & Sharma, A. (2019). Fog computing: from architecture to edge computing and big data processing. *Journal of Supercomputing*, 75(4), 2070–2105. doi <https://doi.org/10.1007/s11227-018-2701-2>.
- Stephanie Vozza. (2022). Redefining Workloads in Cloud Environments. <https://www.nutanix.com/forecastbynutanix/technology/rethinking-cloud-workloads>.
- Sultan, O. H., & Khaleel, T. (2022). Challenges of Load Balancing Techniques in Cloud Environment: A Review. *Al-Rafidain Engineering Journal (AREJ)*, 27(2), 227–235. doi <https://doi.org/10.33899/rengi.2022.134056.1179>
- Sumathy, S., & Manju, A. B. (2019). Efficient load balancing algorithm for task preprocessing in fog computing environment. In *Smart Innovation, Systems and Technologies* (Vol. 105). Springer Singapore. doi https://doi.org/10.1007/978-981-13-1927-3_31.
- Talaat, F. M., Saraya, M. S., Saleh, A. I., Ali, H. A., & Ali, S. H. (2020). A load balancing and optimization strategy (LBOS) using reinforcement learning in fog computing environment. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 11(11), 4951–4966. doi <https://doi.org/10.1007/s12652-020-01768-8>.
- Télléz, N., Jimeno, M., Salazar, A., & Nino-Ruiz, E. D. (2018). A Tabu search method for load balancing in fog computing. *International Journal of Artificial Intelligence*, 16(2), 106–135. https://www.researchgate.net/publication/327752530_A_Tabu_Search_Method_for_Load_Balancing_in_Fog_Computing.
- Tim Mell, P. G. (2009). Draft NIST Working Definition of Cloud Computing. *National Institute of Standards and Technology*, 53(March), 50. <http://csrc.nist.gov/publications/nistpubs/800-145/SP800-145.pdf>
- Vailshery, L. S. (2022). Number of Internet of Things (IoT) connected devices worldwide from 2019 to 2021, with forecasts from 2022 to 2030. *Statista*. <https://www.statista.com/statistics/1183457/iot-connected-devices-worldwide/>.
- Velde, V., & Rama, B. (2017). An advanced algorithm for load balancing in cloud computing using fuzzy technique. *Proceedings of the 2017 International Conference on Intelligent Computing and Control Systems, ICCCS 2017*, 2018-Janua, 1042–1047. doi <https://doi.org/10.1109/ICCONS.2017.8250624>.
- Verma, M. (2016). Real Time Efficient Scheduling Algorithm for Load Balancing in Fog Computing Environment. *Int. J. Inf. Technol. Comput. Sci*, Vol 8, No.(April), 1–10. doi <https://doi.org/10.5815/ijitcs.2016.04.01>.
- Verma, M., Bhardawaj, N., & Yadav, A. K. (2015). An architecture for Load Balancing Techniques for Fog Computing Environment. 269–274. doi <https://doi.org/10.090592/IJCSC.2015.627>.
- Yi, S., Hao, Z., Qin, Z., & Li, Q. (2016). Fog computing: Platform and applications. *Proceedings - 3rd Workshop*

on Hot Topics in Web Systems and Technologies, HotWeb 2015, November 2015, 73–78. doi <https://doi.org/10.1109/HotWeb.2015.22>.

Zhang, G., Shen, F., Yang, Y., Qian, H., & Yao, W. (2018). Fair task offloading among fog nodes in fog computing networks. IEEE International Conference on Communications, 2018-May, 1–6. doi <https://doi.org/10.1109/ICC.2018.8422316>.

Zhang, P., Liu, J. K., Richard Yu, F., Sookhak, M., Au, M. H., & Luo, X. (2018). A Survey on Access Control in Fog Computing. IEEE Communications Magazine, 56(2), 144–149. doi <https://doi.org/10.1109/MCOM.2018.1700333>.

Zhuang, H., Li, C., Wang, Q., & Zhou, X. (2018). SSLB Self-Similarity-Based Load Balancing for Large-Scale Fog Computing. Arabian Journal for Science and Engineering, 43, no. 12, pp. 7487–7498. doi <https://doi.org/10.1007/s13369-018-3169-3>.



A Monte Carlo simulation approach to the gap-time relationship in solving the Job Shop Scheduling Problem

Oguz Toragay^{1*}, Shaheen Pouya^{2*}

¹Mechanical, Robotics, and Industrial Engineering, Lawrence Technological University, Detroit, MI, USA
otoragay@ltu.edu, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0003-0690-2198>

²Industrial and Systems Engineering, Auburn University, Auburn, AL, USA
szp0155@auburn.edu, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0003-2436-8849>

*Corresponding Author

Article Info

Article History:

Received: 20.04.2023
Revised: 23.05.2023
Accepted: 26.05.2023

Keywords:

Integer programming,
Scheduling problem,
Random generation,
Solving time approximation,
Combinatorial optimization

Abstract

This article presents a study on the job shop problem, a combinatorial optimization problem that models scheduling and resource allocation in industrial settings. The article aims to investigate the relationship between optimality gap and required computational resources, considering various optimality gap levels that are applicable in real-life situations. The study uses a Monte Carlo simulation to analyze the behavior of solvers in solving different sizes of random-generated scheduling problems. The findings of the study offer insights into the worthiness of reaching an optimal solution versus implementing a near-optimal solution and starting the work. The codes used in the study are accessible on the author's GitHub account.

1. Introduction

The scheduling problem or job shop problem is considered one of the most important and well-studied combinatorial optimization problems that can be modeled as an integer programming (IP) problem. Its applications cover many industrial cases such as manufacturing and resource allocation (Kis, 2002). In this work, different instances of the scheduling problem are being solved to study the correlation between optimality gap or the results' quality on one hand and the required solving time or computational resources on the other hand. We considered various optimality gaps during the solving process of each problem and analyzed the required time to reach the considered optimality gap (solution quality) to meaningfully describe the worthiness of reaching optimal solution. The gaps are chosen based on their applicability in real-life situations. Most of the time, from the industry point of view, reaching the 5%, 10%, or even 20% of optimality gap can save huge number of resources for the company. Under those conditions, from the managerial point of view, it will not be worthy for the company to spend huge amount of computational power and time, to reduce the optimality gap while by implementing the near-optimal solution the tasks can be scheduled and the saved computational time then would be used for more profitable activities. In plain language, we want to answer this critical question: "Is it worth it to reach the optimal schedule while we can implement partial schedule, start doing the jobs, and making money?" To this end, understanding the behavior of the solvers in solving different sizes of scheduling problems is important. We designed a Monte Carlo simulation to achieve a better statistical understanding and trustworthy rates of time in solving different instances of the problem.

The remainder of this work is organized as follows. After a brief review of the related works in the literature in Section 2, we first describe the problem by providing the considered mathematical model for the problem in hand. In addition, we also explain the process of randomly generating instances of selected problem size in Section 3. We then explain the solving approach and the obtained results while a comprehensive analysis of the results of various instances of the problems with various sizes, as well as statistical approaches to interpret the results toward

estimating the effect of gap will be explained in Section 4. We then conclude this work by providing next potential steps in this research and recommend future works in this area.

2. Literature Review

The scheduling problem, (a.k.a. job shop problem, permutation flow shop problem) involve determining the optimal order and timing of processing a set of jobs on a set of machines, considering various constraints such as machine availability, job precedence, and processing times (Garey, 1976; Chankong and Haimes, 1983). Integer Programming (IP) has been widely used for modeling of scheduling problems where these problems are well-studied in operations research literature. The objective would be the minimization of some forms of cost, such as completion time, tardiness, makespan, or it can be the maximization of some form of benefit, such as profit, earliness, or number of jobs done by due date or even target-defense and chemical ionic properties of a mixture (Belotti, 2013; Taha, 2013; Sattarkhan, 2023; Pourghorban et al, 2022; Mokhtari et. Al, 2022).

Using IP allows for a comprehensive and more accurate modeling of the problem, as integer variables are often required to model constraints such as machine availability and job precedence (Linderoth and Wright, 2005). IP models have proven to be a useful tool for solving scheduling problems in various industries, including manufacturing, project management, and logistics (Pfersch and Stanek, 2017). Computation time is a critical aspect of job shop problems modeled as IPs, which can vary significantly based on several factors, including the size of the problem, the complexity of the constraints, the presence of integer variables, and the implemented solution method.

In the theory of computing and operations research community, the concept of NP-hardness is used to explain the correlation between the size of problem in one hand and the required solution time of the other hand. An NP-hard problem is one for which no known algorithm exists that can solve the problem in polynomial time, meaning that the amount of time required to solve the problem increases exponentially as the size of the problem increases (Garey and Johnson, 1979). Scheduling problems (there exist various versions of scheduling that consider different specification of the system) are NP-hard. For instance, NP-hardness of identical parallel machines scheduling problem with sequence-dependent setup times is studied where the objective is to minimize the maximum lateness of jobs has been proven (Mohabbati-Kalejahi and Yoon, 2015). The complexity of the constraints can also impact the computation time, as constraints that are more complex or involve more variables will (most of the time) require more computational power to be solved (Engin and Isler, 2022). The presence of integer variables in the model increases the computation time, as the feasible region of the IPs generally are not convex (Fischetti and Monaci, 2020). Branch-and-bound based solvers then must consider both the continuous and integer components of the problem, which makes the problem more difficult to solve (Zhou et. Al., 2022). Despite these challenges, researchers and practitioners continue to develop new methods and algorithms to reduce the required computation time and improve the efficiency of methods in solving the scheduling IP problems. Some of the most used solution methods include branch-and-bound algorithms, linear programming techniques, and heuristic methods (Belotti, 2013; Gharbi et al., 2019; Liu, 2023).

Required computational time, then, is a crucial factor in determining the efficiency of various solution processes for scheduling IP problems. With the advancement of computer technology, the computational time for solving large-scale scheduling problems has been significantly reduced (Vaisi et. Al., 2023). However, the question of whether these measurements of computational time are trustworthy and consistent, remains open. In recent years, research has been conducted to compare the computational time for job shop problems solved by different algorithms and on different computational setups. These studies aim to determine the relative performance of algorithms and the impact of computer hardware as well as the solution approach on the difficulty of finding the solution combined with determination of the computational times (Fowler and Monch, 2022; Yavary et al., 2018; Winston, 2022). Some researchers have also focused on the impact of the size and the complexity of the problems, known as “curse of dimensionality”, suggesting new heuristic methods for optimization problems which otherwise need significantly long computational time (Toragay and Silva, 2021; Shirneshan et. Al., 2022; Soleimani et al., 2023). For instance, (Qaio et al., 2018) studied the computational time required by various algorithms for solving scheduling problems with time windows and found that there is a direct relation between required computational time and the size of the problem in hand. The study of Baker and Keller (2010) concluded that the choice of algorithm and availability of the computational resources are key factors in determining the computation time for scheduling problems. The trend in this type of recent studies is towards developing more efficient algorithms to reduce the computational time. However, although there have been many significant improvements toward reducing the required computational time, accurately estimating these times is still a challenging research topic, especially with the advancement in technology and the increasing computational power (Jen-Shiang, 2006; Grigoriev, 2007).

On the other hand, in recent years, notable improvements have been observed in the development of modern heuristic approaches towards solving these problems almost completely (zero percent optimality gap) as well as

new approximation methods that tend to reduce the consumption power (Gharibi, 2021; Ahmadinejad et. Al., 2020). Although recently, solving different types of IP as well as any other optimization approaches combined with simulations such as Monte-Carlo simulation have found many new applications in diverse research areas such as construction smart buildings (Fatehi, 2023), social networks (Shahparvari, 2022) or even prompt usages such as COVID-19 pandemic (Kazemzadeh, 2023); still a significant amount of effort are directed towards solving the classic glitches. Even in some cases a problem as big as 400 jobs and 20 machines has been successfully solved using heuristic approaches (Alba et al, 2022).

The research area that has not received attention in this field is the measurement of relative computational time in solving IPs based on different optimality gaps. Aiming to highlight the mentioned gap in the research in this field, this work involves comparing the computational time required to solve a job shop problem with a 0% gap (to optimality) with the time required to solve the same problem with a given gap, for instance 10%.

3. Methodology

3.1. Monte Carlo simulation

A Monte Carlo simulation is a computational technique that uses random sampling and probability distributions to model and analyze complex systems or processes. In a Monte Carlo simulation, a problem or scenario is simulated multiple times using random input variables. Each simulation, also known as a trial or iteration, involves sampling values from probability distributions associated with the variables in the model. By running a large number of trials, the simulation can generate a range of possible outcomes and their associated probabilities (Mooney, 1997). In this study as a Monte Carlo Simulation a number of 1200 of instances of the problem have been created and solved to have enough significance for the results. Although this number could have been higher, for the sake of time limitation, the recorded times in 1200 runs is considered as the main source of data analysis. Of course, for future studies, more data points can be generated by using the created code (which is publicly available) to randomly generate and solve the problem instances.

3.2. Mathematical model

While there are many different versions of the scheduling problem and particularly the job shop scheduling problem, one of the main models that have been worked on in the scheduling literature, is the type of job shop problem that is addressed in this study with certain number of machines, jobs, and a schedule for each job that contains various working hours on different machines (Waller 1973). The mathematical model of this problem and our approach in solving it are illustrated below:

Assume that we have m machines to work on n different jobs. For each job the machine order is fixed. Without loose of generality, we assumed that for each job we have m tasks to be done on different machines. For the mathematical model of this system, the goal is to determine the work schedule for the machines, such that the sum of completion times is minimized. The objective function is defined as follow:

$$\min \sum_{j=1}^n t_{a_m,j} \quad (1)$$

Where $a_{m,j}$ is the m^{th} machine that will work on job j (Integer Parameter). t_{ij} is defined as the times when machine i finishes working on job j (Integer Variable). $t_{a_{m,j}}$ is the time when the m^{th} machine is finished working on job j (Integer Variable). Also, we define variables s_{ij} and p_{ij} as the start time and processing time of machine i working on job j (both Integer Parameters). And finally:

$$y_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{if job } j \text{ is done before job } k \\ 0 & \text{if job } j \text{ is done after job } k \end{cases}$$

Other assumptions of the system are that a machine can only process one job at a time, each job must be processed to completion, i.e., once started on a machine it cannot be interrupted, and each job can be processed in one machine at a time. The constrains of this problem are listed below:

$$s_{ak,j} \geq t_{a_{k-1},j} \quad \forall j \in \{1,2, \dots, n\} \text{ and } k \in \{2,3, \dots, m\} \quad (2)$$

$$t_{ij} = s_{ij} + p_{ij} \quad \forall i, j \in \{1,2, \dots, n\} \quad (3)$$

$$s_{ik} \geq t_{ij} - y_{ijk} * M \quad \forall i, j, k \in \{1,2, \dots, n\} \quad (4)$$

$$s_{ij} \geq t_{ik} - (1 - y_{ijk}) * M \quad \forall i, j, k \in \{1,2, \dots, n\} \quad (5)$$

$$s_{ij} \geq 0, t_{ij} \geq 0 \quad \forall i, j \in \{1, 2, \dots, n\} \quad (6)$$

$$s_{ij}, t_{ij}, p_{ij} \in \mathbb{Z}^n \quad y_{ijk} \in \{0, 1\} \quad (7)$$

This big M or disjunctive approach has been developed and reviewed several times in the literature and still is considered as one of the main solutions to job shop problems. (Garey et al., 1976; Taillard, 1993; Kis, 2002).

3.3. Coding in python

All the codes that are explained here are publicly available at <https://github.com/oguztoragay/SchedulingGAP.git> address. The coding and implementation of all the problems have been done in Python. We specifically explain the packages that we used for the coding stage, in particular the main Algebraic Modeling Language (AML) that we applied. One of the most important aspects that needs to be considered even before starting to code the mathematical models, is to decide about the algebraic modeling language to be used in the coding step of optimization problem. In this regard we first code the model in Pyomo (AML package for python) (Bynum et al., 2021) but early attempts to solve the models revealed that using Pyomo, it is not straight forward to collect necessary data about the times that the solvers reach the predefined optimality gap during the solving process. Gurobi solver (Gurobi Optimization, 2023) is one of the commercial solvers which has its own library to be used in Python (this library is called gurobipy and can be installed via python package managers).

Using the callback functions defined in gurobipy library, we could extract the required solving times to be later used in the statistical analysis. Moreover, some complementary packages such as NumPy, pandas, and strings were also used to randomly generate the problem instances, preprocessing of the gathered data from the solutions, and store the results. An “instance generator” function is defined to get as input three numbers, i.e., number of machines, number of jobs, and number of instances to be generated. On each iteration this function generates a random instance from the given size, solves it, and stores the results. In this function jobs are identified as a range of integers (job 1, job 2, etc.), and the machines are identified as a range of letters (machine A, Machine B, etc.). After creating a shuffled list of machines, an identical list of orders of machines is created and with defining the needed sets the random orders for each job could be simulated. The instance generation is summarized in the following pseudocode.

Pseudocode for Instance generator

```

Get the number of machines as  $m$  and number of jobs as  $n$ :
For all jobs:
  For tasks in job  $n$ :
    Shuffle list of machines,
    Generate machine – task combinations,
    Assign random processing time  $t$  to the combination,
    Save all in lists
  Return the lists
Generate an optimization problem instance using the lists
Solve the instance
Save solutions and collected data

```

Note that, the processing time, t , that is randomly assigned to the machine-task combinations is an integer number in $[1, 10]$. As an example of the pseudocode output, if we feed the function with $m = 3$ and $n = 4$, we will have:

Work order: $\{(1,0):E, (2,0):B, (3,0):L, (1,1):L, (2,1):E, (3,1):B, (1,2):E, (2,2):B, (3,2):L, (1,3):L, (2,3):B, (3,3):E\}$

Process time: $\{(B,0):9, (E,0):3, (L,0):7, (B,1):1, (E,1):3, (L,1):5, (B,2):3, (E,2):3, (L,2):8, (B,3):9, (E,3):5, (L,3):6\}$

In this example, the machines are named: E, B, and L while the jobs are 0, 1, 2, 3. For instance, for job 1, the order of tasks are using machines: L, E, B respectively and the process (working) time for each of them are 5, 3, 1 respectively. After the data is generated (creation of one random instance of the scheduling problem), the data is reshaped from dictionary and formed as an IP to be solved by Gurobi solver.

3.4. Solving

As stated before, the Gurobi solver is used in this work. To keep track of the times needed for different gaps, the callback functions are used which allows the solver to continue the solving process without interruption while collecting the required data. Accordingly, the setting of the solver would be to solve the problem to 20% gap and report the consumed time for that solution, continue solving the problem for 10% gap and report the consumed

time for solution and do the same process for 5% and 0% (optimum solution) again. For each instance of the problem, four different times are reported that represent the needed time to solve that instance of the problem for 20%, 10%, 5% and 0% gaps.

The main reason for choosing these four gaps is to be as close as possible to the real-life applications of solving this type of problem. It is assumed that, when a similar problem needs to be solved in a real organization, the gaps of more than 20% are not viable to be implemented due to being far from optimal solution. In addition to the 20% gap, 10% and 5% were chosen due to their simplicity and the sole assumption that in industry, there is negligible difference between 80% and 85% accuracy while 90% generates more accurate feeling in the user.

It is considered that if a user tries to run the scheduling problem in real life and allocate jobs to machines, a better knowledge about the anticipated times to reach these “easy to understand” gaps could create a huge benefit. Data storage is the last step in the code that records the four solution times related to reaching 20%, 10%, 5%, and 0% gap into a list. This list of various instances then stored in a file for later analysis.

The computer setup that we run the experiments has the following configuration: a desktop computer working on a Microsoft Windows operating system with Core i9 processor and 64 GB of ram on which Gurobi 10.0.0 has been installed. This system was not used for any other computational application while working on the designed experiments for this work.

4. Results and Analysis

In this section we first provide the results for all the instances that we solved for different combinations of machine and job numbers. Then we analysis different aspects of the solutions and provide the observations that we found interesting.

4.1. Design of experiment

To determine the problem sizes, we considered two aspects, on one hand, if the problem is small-scale (being solved in less than a fraction of a second) then the main consumed time would have been related to the computer’s internal calculations and problem definition rather than the consumed time for the branch and bound tree generation and in this case the recorded times could have had high bias. On the other hand, if the problem is large-scale, the running time can exceed weeks of calculation time.

Accordingly, the selection of the number of machines and jobs are for specific solution times that are not very small (less than a second) and not very large (more than 5 hours) which led to number of machines between 5 to 8 and number of jobs between 8 to 10). The largest problem in this study was with 8 Machines and 10 Jobs which is not considered a large problem at the moment with new methods and solutions and computational powers (Alba et al, 2022). Moreover, there are other numbers that could generate calculation times in the desired range which also could be addressed in the future studies. Table 1 shows the summary of all experiments for all the selected problem sizes.

Table 1. Summary of all instances in the designed experiment

<i>Experiment</i>	<i>Number of Machines</i>	<i>Number of Jobs</i>	<i>Number of Instances</i>	<i>Average calculation time (sec)</i>	<i>Total calculation time (min)</i>
1	5	8	100	2.53	4
2	5	9	100	49.34	82
3	5	10	100	5368.16	8947
4	6	8	100	2.31	4
5	6	9	100	43.90	73
6	6	10	100	5585.48	9309
7	7	8	100	2.61	4
8	7	9	100	73.12	122
9	7	10	100	3454.67	5758
10	8	8	100	5.54	9
11	8	9	100	73.70	123
12	8	10	100	2657.05	4428
<i>Total</i>	-	-	1200	17318.4	28864

We solved in total 1200 instances from 12 different problem sizes, which took around 500 hours of calculation time. The main reason for limiting the number of instances to 100 in each problem size is basically the limitations

in the total available calculation time. One immediate interesting observation is that, although we expected the calculation time for the problems with 8 machines to be significantly higher than those with 5 machines, the calculation time is decreased when we increase the number of machines. While explaining the reason behind this observation is beyond the scope of this study, the advancements in applying sophisticated heuristic approaches that the commercial solvers equipped with to solve this type of combinatorial problems, is one of the effective reasons behind this observation.

4.2. Distribution of the solving times

One of the biggest targets of this study is to find a trend in the calculation time while solving the IP problems specifically scheduling IP problems. Since the value of solving time in this study cannot be understood solely, in most of the graphs a relative time is used. We define the following two concepts to illustrate the relative time.

Relative time for a gap: For each instance, defined as the time to reach specific gap divided by the total calculation time (time to reach 0% gap) to solve that instance. For example, if the time to reach 10% gap (i.e., solving the problem with 90% accuracy) in a problem instance is 60 seconds and the total solution time (i.e., finding the optimal solution) is 120 seconds, then for that instance, the relative time for 10% gap is 50%.

Considering the number of instances in the experiment and the variety of solution times (from seconds to hours), it cannot be easy to distinguish the meaning of time as a scalar value, without comparing the solution times to each other, i.e., there will not be meaningful comparison of the long or short solution times. Accordingly, for this study, a relative measure of time is considered for a better understanding of the results.

Relative percentage of total solution time: For each instance this value calculated as the total solution time (reaching optimality gap of 0%) for that instance divided to the largest solution time in all 100 instances from the same problem size. For example, if the total solution time for an instance is 250 seconds and the longest recorded solution time for all instances in that problem size is 1000 seconds, then the relative percentage of total solution time for that instance is 25%. The distributions of the relative time for 20%, 10%, 5% and 0% gaps are given in Figure 1. This distribution is the frequency histogram for each gap for all the 1200 instances. The distribution of solution times in 20% gaps is flatter than the one for 0% gap where it becomes more logarithmic. In the 20% gap, less than 50% of the problems were solved in 0 to 10% of their relative time (to the biggest 20% gap solution time for their similar instance of the problem) while this percent for 0% gaps goes up to more than 80%. Considering the differences on relative times for each gap, as the computer tries to solve the problem, the beginning of solutions seems to have a more even distribution. This issue is clearer in the below graph and combines all four data together.

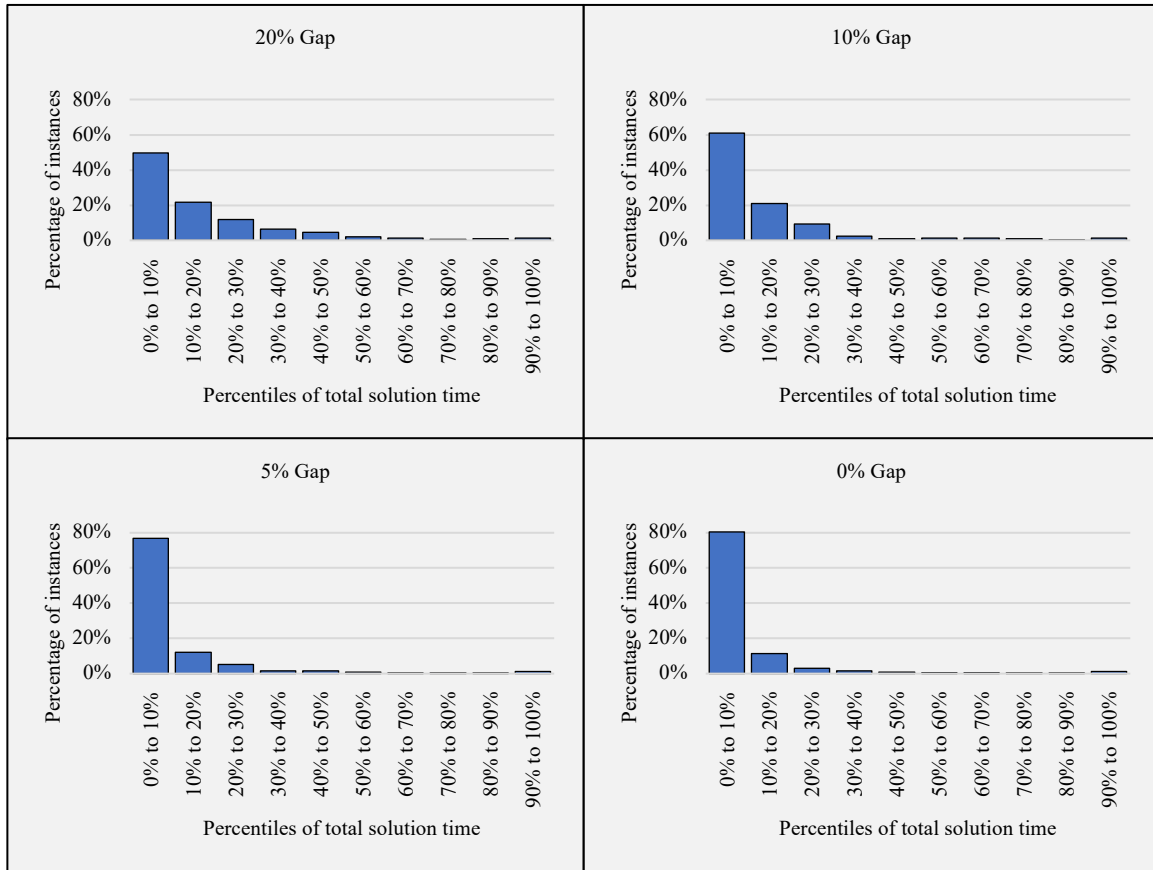


Figure 1. Solution time distribution for various optimality gaps

Moreover, Figure 2 shows that in all four different gaps, most of the time, the solution time is a fraction of time the solver needs to spend on solving the problem. This issue will be addressed in more detail in the following sections.

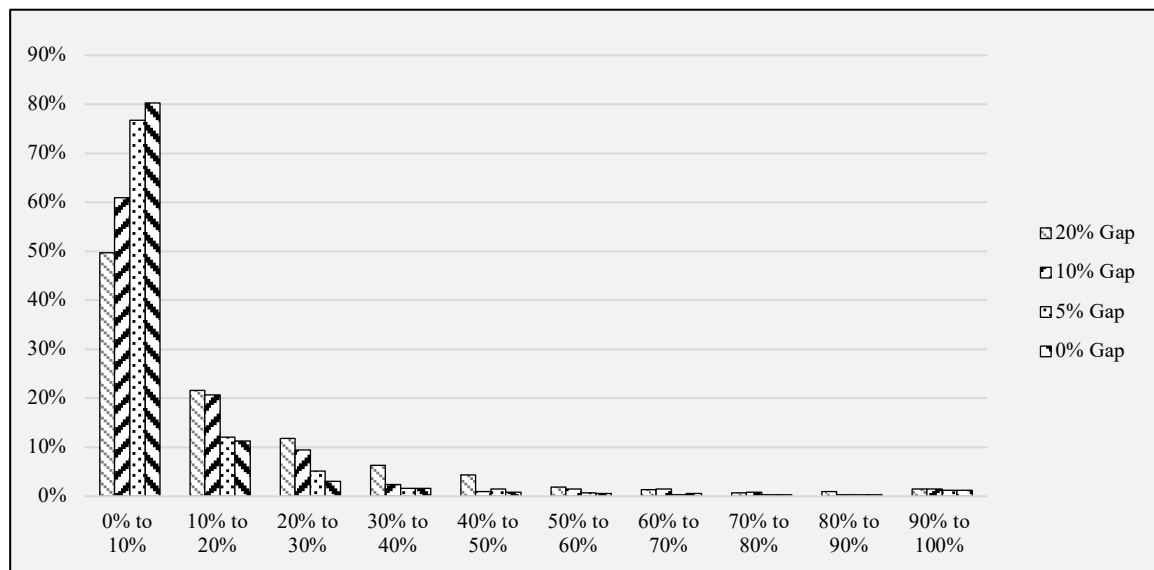


Figure 2. The distribution of the relative times.

4.3. The relation between size of the problem and different gaps

As reported in Table 1, the average solution times for different instances of the scheduling problem varies between 2.31 to 5585.5 seconds based on the number of machines and jobs. This simply illustrates that the solver requires more solving time to solve a larger problem instance in terms of parameters (number of machines and number of jobs), which is an expected observation.

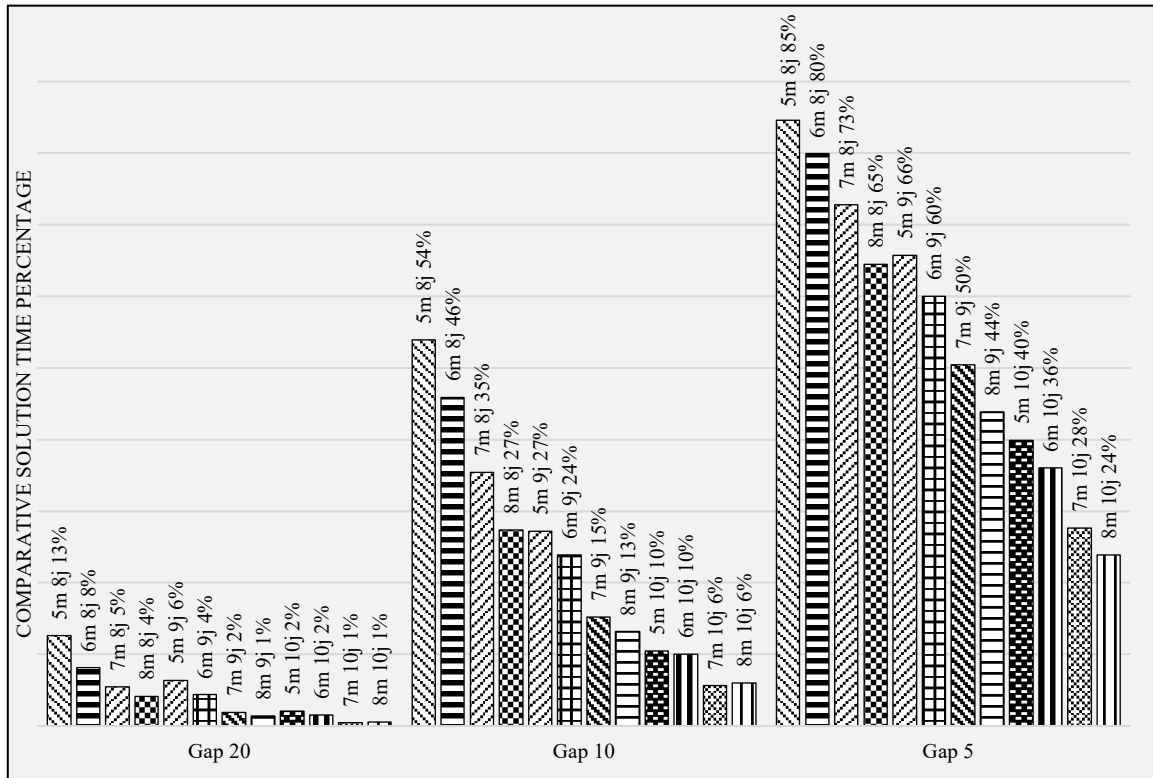


Figure 3. Percentage of Total solution time based on each instance of problem.

On the other hand, as shown in Figure 3, the size of the problem also affects the ratio of time to reach different gaps. For example, it takes on average 85% of total solution time to reach the 5% gap when solving an instance with 5 machines and 8 jobs while the same rate is 24% when solving an instance with 8 machines and 10 jobs. This trend can be observed for every recorded gap in this study while the criteria to order the instances in this graph is the complication of the problem and not the average calculation time. Table 2 shows the details for all the problem sizes in the designed experiment. It can be inferred that the number of jobs has a greater impact than the number of machines on the solving time in this type of scheduling problem.

Table 2. Summary of relative times for gaps in all problem sizes (ascending order based on calculation time)

Machines	Jobs	Total calculation time (min)	Gap 20	Gap 10	Gap 5
6	8	4	8%	46%	80%
7	8	4	5%	35%	73%
5	8	4	13%	54%	85%
8	8	9	4%	27%	65%
6	9	73	4%	24%	60%
5	9	82	6%	27%	66%
8	9	123	1%	13%	44%
7	9	122	2%	15%	50%
8	10	4428	1%	6%	24%
7	10	5758	1%	6%	28%
5	10	8947	2%	10%	40%
6	10	9309	2%	10%	36%

An interesting trend can be observed when comparing Table 2 data to Figure 3, which suggests the time-gap rates also follow the complication of the problem rather than just the solution time. It is worth mentioning that this order assumes that a more complicated problem takes more solving time. The general expectation is that, as the number

of machines increases, the problem gets more complicated; and consequently, more calculation time should be expected. Whereas based on Table 2 this correlation does not exist.

The odd behavior behind the lack of correlation between the number of machines and average solution time could be interpreted because of the limited number of instances for each size of the main problem (100 instances). Although this could be the only logical explanation behind this behavior, the number of instances were high enough to see other trends. Considering the central limit theorem, and the total number of experiments, these complications should be addressed in future studies.

4.4. Probabilistic view on the solution times

Table 3 lists the distribution of Relative percentage of total solution time for all the runs combined. Considering the total number of 1200 instances of the scheduling problem, approximately 95% of the total instances have been solved in a time less than 30 percent of the longest solving time among all the instances in that size category. Additionally, more than 80% of the cases have Relative percentage of total solution time less than 10%. These rates are illustrated in Figure 4.

Table 3. Distribution of Relative solution times

<i>Relative percentage of total solution time</i>	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
	<i>to</i> 10%	<i>to</i> 20%	<i>to</i> 30%	<i>to</i> 40%	<i>to</i> 50%	<i>to</i> 60%	<i>to</i> 70%	<i>to</i> 80%	<i>to</i> 90%	<i>to</i> 100
Number of cases in that segment	964	135	36	19	10	7	6	4	4	15
Percentage of total runs	80	11	3	2	1	1	1	0	0	1
Cumulative percentage	80.3	91.6	94.6	96.2	97.0	97.6	98.1	98.4	98.8	100

Based on the above observation, there is a slight chance (5%) for an instance to be solved in a significantly long time while more than 80% of the instances need a fraction of that long solving times (less than 10%) to be solved.

5. Conclusion and Future Work

In this work, we designed an experiment to study the correlation between problem size on one hand and the required solving time on the other hand, for the specific scheduling problems that is mathematically modeled as IP problems using Big M method. Solving 1200 randomly generated various instances of a problem in around 500 hours, we conclude that most of the optimization problems could have an acceptable part of the result in a small fraction of the total solution time. Also, this fraction gets smaller when the problem gets larger. Accordingly, organizations and industries could benefit from this phenomenon to save an enormous amount of time and resources just with allocating jobs with a small proximity until the results of the optimization is finalized. If a company uses a time schedule which is in 10% gap to the final schedule (and since we know the allocation between 10% gap and 0% gap could be identical in Integer Programming) as a primary solution and gives the tasks based on that; the company would save days of waiting annually.

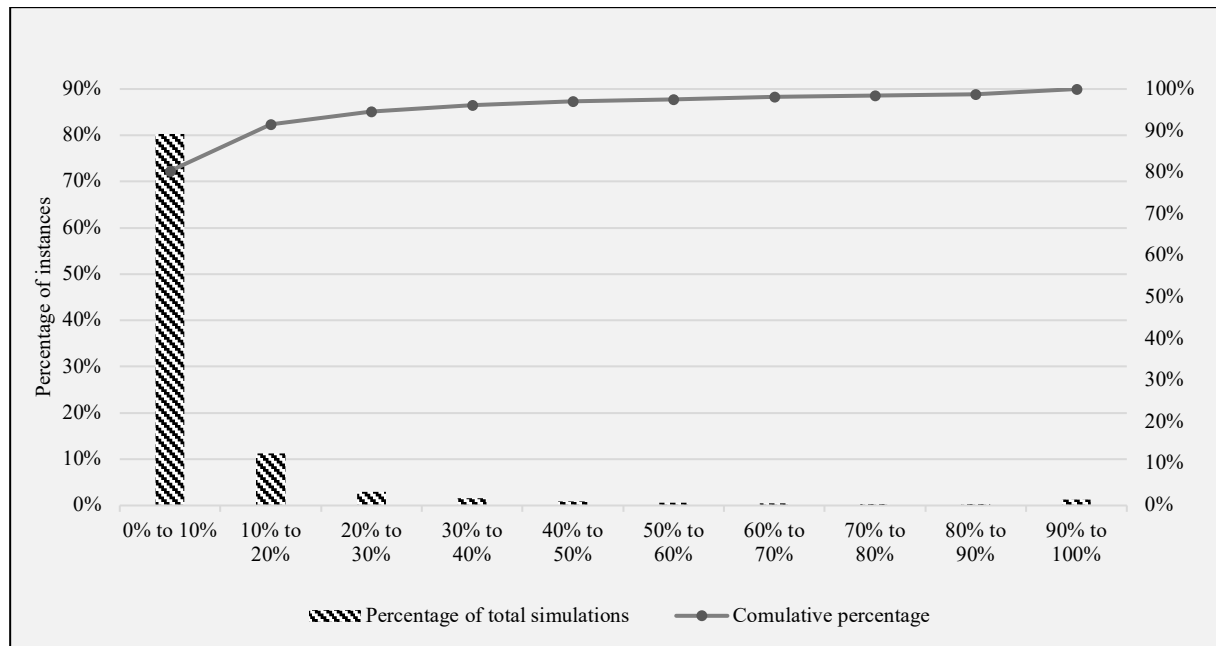


Figure 4. Distribution and Cumulative frequency of Relative solution times

Correspondingly, we concluded that the number of jobs in the problem is a more effective factor than the number of machines when we study the length of the required time to solve the problem. In addition, we did not observe the expected correlation between the required solving time on the one hand and the problem's complicatedness on the other hand. We noted that this odd behavior can be related to the complex process that commercial solvers have behind the scenes. Looking at the effect of the solvers' heuristic steps in solving the problem is an area that needs further study.

The effect of applying heuristics, generated various cuts, branch-and-bound node selection criteria and many other parameters of Gurobi on the required solving time for scheduling problems are planned to be studied in future works of the authors. We aim to analyze the required solution time for this type of scheduling problem in order to help schedulers make better business decisions. Moreover, this study acknowledges that its findings and conclusions are not universally generalizable to all types of job shop scheduling problems, highlighting the imperative need for future academic research to address the unexplored dimensions and complexities specific to those particular problem variants.

Conflict of interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

Contribution of authors

The authors have equal contribution in all the writing, modeling, and experimental design.

References:

- Ahmadinejad, M., Taheri, N., & Moaiyeri, M. H. (2020). Energy-efficient magnetic approximate full adder with spin-Hall assistance for signal processing applications. *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, 102, 645-657. <http://doi.org/10.1007/s10470-020-01630-z>
- Baker, K. R., & Keller, B. (2010). Solving the single-machine sequencing problem using integer programming. *Computers & Industrial Engineering*, 59(4), 730-735. <http://doi.org/10.1016/j.cie.2010.07.028>
- Belotti, P., Kirches, C., Leyffer, S., Linderoth, J., Luedtke, J., & Mahajan, A. (2013). Mixed-integer nonlinear optimization. *Acta Numerica*, 22, 1-131. <http://doi.org/10.1017/S0962492913000032>

- Bynum, M. L., Hackebeil, G. A., Hart, W. E., Laird, C. D., Nicholson, B. L., Sirola, J. D., ... & Woodruff, D. L. (2021). *Pyomo-optimization modeling in python* (Vol. 67). Berlin/Heidelberg, Germany: Springer. <http://doi.org/10.1007/978-3-030-68928-5>
- Chankong, V., & Haimes, Y. Y. (2008). *Multiobjective decision making: theory and methodology*. Courier Dover Publications. ISBN 9780486462899
- Chen, J. S. (2006). Using integer programming to solve the machine scheduling problem with a flexible maintenance activity. *Journal of Statistics and Management Systems*, 9(1), 87-104. <http://doi.org/10.1080/09720510.2006.10701195>
- Engin, O., & İşler, M. (2022). An efficient parallel greedy algorithm for fuzzy hybrid flow shop scheduling with setup time and lot size: a case study in apparel process. *Journal of fuzzy extension and applications*, 3(3), 249-262. <https://doi.org/10.22105/jfea.2021.314312.1169>
- Fatehi, N., Politis, A., Lin, L., Stobby, M., & Nazari, M. H. (2023, January). Machine Learning based Occupant Behavior Prediction in Smart Building to Improve Energy Efficiency. In *2023 IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT)* (pp. 1-5). IEEE. <http://doi.org/10.1109/ISGT51731.2023.10066411>
- Fischetti, M., & Monaci, M. (2020). A branch-and-cut algorithm for mixed-integer bilinear programming. *European Journal of Operational Research*, 282(2), 506-514. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2019.09.043>
- Fowler, J. W., & Mönch, L. (2022). A survey of scheduling with parallel batch (p-batch) processing. *European journal of operational research*, 298(1), 1-24. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2021.06.012>
- Garey, M. R., Johnson, D. S., & Sethi, R. (1976). The complexity of flowshop and jobshop scheduling. *Mathematics of operations research*, 1(2), 117-129. <http://doi.org/10.1287/moor.1.2.117>
- Garey, M. R., & Johnson, D. S. (1979). *Computers and intractability* (Vol. 174). San Francisco: freeman. ISBN: 9780716710448
- Gharbi, A., Mrad, M., Chalghoumi, S., & Ladhari, T., (2019). Enhanced lower bounds and exact procedures for total completion time minimization in a two-machine permutation flowshop with release dates. *International Transactions in Operational Research*, 26(6), 2432-2449. <https://doi.org/10.1111/itor.12421>
- Gharibi, K., & Abdollahzadeh, S. (2021). A mixed-integer linear programming approach for circular economy-led closed-loop supply chains in green reverse logistics network design under uncertainty. *Journal of Enterprise Information Management*, (ahead-of-print). <http://doi.org/10.1108/JEIM-11-2020-0472>
- Grigoriev, A., Sviridenko, M., & Uetz, M. (2007). Machine scheduling with resource dependent processing times. *Mathematical programming*, 110, 209-228. <http://doi.org/10.1007/s10107-006-0059-3>
- Gurobi Optimization, LLC. (2023). *Gurobi Optimizer Reference Manual*. Retrieved from https://www.gurobi.com/wp-content/plugins/hd_documentations/documentation/10.0/refman.pdf
- Héctor, G., Nucamendi-Guillén, S., & Avalos-Rosales, O. (2022). A mixed integer formulation and an efficient metaheuristic for the unrelated parallel machine scheduling problem: total tardiness minimization. *EURO Journal on Computational Optimization*, 10, 100034. <https://doi.org/10.1016/j.ejco.2022.100034>
- Kazemzadeh, F., Safaei, A. A., Mirzarezaee, M., Afsharian, S., & Kosarirad, H. (2023). Determination of influential nodes based on the communities' structure to maximize influence in social networks. *Neurocomputing*, 534, 18-28. <http://doi.org/10.1016/j.neucom.2023.02.059>
- Kis, T. (2002). On the complexity of non-preemptive shop scheduling with two jobs. *Computing*, 69, 37-49. <http://doi.org/10.1007/s00607-002-1455-z>
- Liu, Q., Kosarirad, H., Meisami, S., Alnowibet, K. A., & Hoshyar, A. N. (2023). An Optimal Scheduling Method in IoT-Fog-Cloud Network Using Combination of Aquila Optimizer and African Vultures Optimization. *Processes*, 11(4), 1162. <http://doi.org/10.3390/pr11041162>
- Linderoth, J., & Wright, S. J. (2005). Computational grids for stochastic programming. In *Applications of stochastic programming* (pp. 61-77). Society for Industrial and Applied Mathematics. <http://doi.org/10.1137/1.9780898718799.ch5>
- Mohabbati-Kalejahi, N., & Yoon, S. W. (2015). Parallel machines scheduling problem for minimization of maximum lateness with sequence-dependent setup times. In *IIE Annual Conference. Proceedings* (p. 837). Institute of Industrial and Systems Engineers (IISE). Retrieved from <https://www.proquest.com/scholarly-journals/parallel-machines-scheduling-problem-minimization/docview/1791989138/se-2>

- Mokhtari, A., Bagheri, H., Ghazvini, M., & Ghader, S. (2022). New mathematical modeling of temperature-based properties of ionic liquids mixture: Comparison between semi-empirical equation and equation of state. *Chemical Engineering Research and Design*, 177, 331-353. <http://doi.org/10.1016/j.cherd.2021.10.039>
- Mooney, C. Z. (1997). Monte carlo simulation (No. 116). Sage. <http://doi.org/10.4135/9781412985116>
- Pferschy, U., & Staněk, R. (2017). Generating subtour elimination constraints for the TSP from pure integer solutions. *Central European journal of operations research*, 25, 231-260. <http://doi.org/10.1007/s10100-016-0437-8>
- Pourghorban, A., Dorothy, M., Shishika, D., Von Moll, A., & Maity, D. (2022, December). Target Defense against Sequentially Arriving Intruders. In 2022 IEEE 61st Conference on Decision and Control (CDC) (pp. 6594-6601). <http://doi.org/10.1109/CDC51059.2022.9992425>
- Qiao, L., Zhang, Z., & Huang, Z. (2021). A scheduling algorithm for multi-workshop production based on BOM and process route. *Applied Sciences*, 11(11), 5078. <http://doi.org/10.3390/app11115078>
- Sattarkhan, M. H. (2023). Production Scheduling of Parallel Identical Lines in a Multi-Product Manufacturing System with Genetic Algorithm. *International Journal of Research in Industrial Engineering*, 12(1), 7-20.
- Shahparvari, S., Hassanzadeh, B., Mohammadi, A., Kiani, B., Lau, K. H., Chhetri, P., & Abbasi, B. (2022). A decision support system for prioritised COVID-19 two-dosage vaccination allocation and distribution. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 159, 102598. <http://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102598>
- Shirmeshan, H., Sadegheih, A., Hosseini-Nasab, H., & Lotfi, M. M. (2022). A two-stage stochastic programming approach for care providers shift scheduling problems. *Journal of Applied Research on Industrial Engineering*. <https://doi.org/10.22105/jarie.2022.349970.1488>
- Soleimani, M., Mahmudi, F., & Naderi, M. H. (2023). Some results on the maximal graph of commutative rings. *Advanced Studies: Euro-Tbilisi Mathematical Journal*, 16(supp1), 21-26. <http://doi.org/10.32513/asetmj/1932200823104>
- Taha, H. A. (2013). *Operations Research: An Introduction*. Pearson Education. ISBN 9789332518223
- Taillard, E. (1993). Benchmarks for basic scheduling problems. *European journal of operational research*, 64(2), 278-285. [http://doi.org/10.1016/0377-2217\(93\)90182-M](http://doi.org/10.1016/0377-2217(93)90182-M)
- Toragay, O., & Silva, D. F. (2021). Fast heuristic approach for control of complex authentication systems. *Applied Stochastic Models in Business and Industry*, 37(4), 744-766. <http://doi.org/10.1002/asmb.2619>
- Vaisi, B., Farughi, H., Raissi, S., & Sadeghi, H. (2023). A bi-objective optimal task scheduling model for two-machine robotic-cell subject to probable machine failures. *Journal of applied research on industrial engineering*, 10(1), 141-154. <https://doi.org/10.22105/jarie.2022.336768.1465>
- Waller, L. (1973). A Branch-bound-and-imply Algorithm for an Improved Attack Upon the Job-shop Scheduling Problem. *Computing Laboratory Technical Report Series*. Retrieved from https://eprints.ncl.ac.uk/file_store/production/160014/DC7B64C6-C876-4D3D-8DAC-270375AEFADE.pdf
- Winston, W. L. (2022). *Operations research: applications and algorithms*. Cengage Learning. ISBN: 9780357907818
- Yavary, A., & Sajedi, H. (2018, June). Solving dynamic vehicle routing problem with pickup and delivery by CLARITY method. In 2018 IEEE 22nd International Conference on Intelligent Engineering Systems (INES) (pp. 000207-000212). IEEE. <http://doi.org/10.1109/INES.2018.8523908>
- Zhou, T., El-Wahed Khalifa, H. A., Najafi, S. E., & Edalatpanah, S. A. (2022). Minimizing the Machine Processing Time in a Flow Shop Scheduling Problem under Piecewise Quadratic Fuzzy Numbers. *Discrete Dynamics in Nature and Society*. <http://doi.org/10.1155/2022/3990534>



Journal of Turkish Operations Management

The inference of complicated networks by mutual information

Hajar Farnoudkia^{1*},

¹Department of Business Administrations, Başkent University, Ankara

e-mail: hajerfarnoudkia@baskent.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0001-9201-663X>

*Corresponding Author

Article Info

Article History:

Received: 28.02.2023

Revised: 11.05.2023

Accepted: 26.05.2023

Keywords

Conditional dependence,

Gaussian copula,

Shannon entropy,

Mutual information

Abstract

Unsupervised machine learning affords a general idea about complicated data using a graphical representation of networks by nodes and edges to provide a better and easier understanding of the data. The existence of an edge between two entire nodes is determined by their relationship in terms of any kind of dependence i.e., conditional dependence, linear and non-linear, directed or undirected. This study tries to show the accuracy of a non-parametric approach i.e., mutual information (MI) on a real data set named by the *Rochdale* data that is composed of eight factors effected on women's economic activity by comparing with some methods such as reversible jump Markov Chain Monte Carlo (MCMC) and birth-death MCMC those tried to detect the conditional dependence between the variables. As a result, MI is not only a very simple but also a very accurate method in the inference of data with complexities.

1. Introduction

Unsupervised machine learning is a powerful tool that discovers patterns and relationships in data without the need for labeled training data. A common approach in unsupervised learning is to use mutual information, a measure of statistical dependence between two variables, to detect patterns and structure in data. By analyzing the mutual information between different features or variables in a dataset, the hidden relationships and dependencies can be detected that may not be immediately apparent. On the other side, the structure of complex systems is frequently shown and analyzed using graphical representations of networks. While edges in a network reflect the connections or links between nodes, nodes in a network represent entities or objects. Networks can be graphically represented in a variety of ways, such as with node-link diagrams, adjacency matrices, and force-directed layouts.

As an explanation of the node-link diagrams, suppose a $(n \times p)$ -dimensional data set where p is the number of columns (variable) and n is the number of rows (sample). This data will be represented graphically as a network with p nodes to embody the variables. Let's call E the set of edges that can be written as a set of $\{(i, j); i, j = 1, \dots, p\}$ which Y_i and Y_j are connected by a un/directed edge. In the directed graphs, the relationship matrix is not symmetric means that the existence of an edge between Y_i to Y_j does not imply an edge from Y_j to Y_i . The study of directed networks, also known as directed graphs, has a long history in mathematics, computer science, and other fields. There are more than six thousand papers that scrutinized the directed edges between the variables since 1953 started by Harary and Norman (1953). There are still many unanswered topics in the study of directed networks today, and new applications are constantly being developed. On the other side, undirected graphs are a type of graph in which the edges between nodes are not directed, meaning that they do not have a specific direction associated with them means if there is an edge from Y_i to Y_j , there is also an edge from Y_j to Y_i . Undirected graphs have been studied extensively in graph theory and have many applications in various fields, such as computer science, social network analysis, and transportation planning. They are often used to model relationships between objects or entities where the direction of the relationship is not important, such as in a social network where the connections are bidirectional. There are around three thousand recorded articles based on undirected graphs started by Borowiecki, (1947). Among these studies, some researchers investigated conditional dependence when each variable is written as a regression equation based on another variable given the remaining variables. (Dobra and Lenkoski, 2011, Mohammadi and Wit, 2015, Farnoudkia and Purutcuoglu, 2019). In continuation, the undirected and directed graphs are implemented in the presentation of time-related data, as well. (Abegaz and Wit,

2013). The adjacency matrix, on the other hand, is a binary matrix with the dimension of $p \times p$ where p is the number of variables (nodes) in which 1 stands for the related and 0 for non-related corresponding variables. Apart from all discussed until here, there is a very general and non-parametric tool that can measure the strength of the connection between two variables called mutual information (MI) shown by $I(X_i, X_j)$ introduced by McGill in 1954. This measure is a non-negative entity with zero value for the independence case. MI is a symmetric measure like a correlation coefficient and is able to catch the dependence even in a non-linear case, unlike the correlation coefficient. The definition and details of MI will be stated in Section 2. Furthermore, two alternatives are explained briefly in Section 3. Finally, the accuracy of MI will be stated by two accuracy measures and compared with two alternatives in the Application section for a real data set to detect the symmetric (undirected) relationship between every two variables.

2. Mutual information

Mutual information is a function of the univariate and bivariate Shannon entropy (Shannon, 1949) shows the common information of two processes or variables as below:

$$I(X_i, X_j) = H(X_i) + H(X_j) - H(X_i, X_j) = H(X_i) - H(X_i|X_j) = H(X_j) - H(X_j|X_i) \quad (1)$$

Where H stands for Shannon entropy.

For discrete cases, if variable X_i takes the value of $\{x_{i1}, \dots, x_{ik}\}$ with the probability of p_1, \dots, p_k that is a multinomial distribution which is the mother of the discrete distributions, then the Shannon entropy is defined by $H(X_i) = -\sum_{r=1}^k p_r \log(p_r)$ shows the uncertainty corresponding to X_i .

For the bivariate case, suppose there is another variable X_j taking the values of $\{x_{j1}, \dots, x_{jl}\}$ with the joint probability function with X_i as $P_{X_i, X_j}(x_{ir}, x_{js})$ for $r = \{1, \dots, k\}$ and $s = \{1, \dots, l\}$. The definition of the joint Shannon entropy of X_i and X_j is

$$H(X_i, X_j) = -\sum_{r=1}^k \sum_{s=1}^l p_{X_i, X_j}(x_{ir}, x_{js}) \log(p_{X_i, X_j}(x_{ir}, x_{js})) \quad (2)$$

For the dependent case, $H(X_i, X_j) = H(X_i) + H(X_j)$ and then $I(X_i, X_j) = 0$.

MI is a symmetric measure that assures us to use it in the inference of undirected networks.

To use it in directed networks some other measures are introduced like transfer entropy (TE) (Schreiber, 2000) that is for time data and also K -dependence coefficient defined as $K(X_i: X_j) = \frac{I(X_i, X_j)}{H(X_i)} \in [0, 1]$ (Kong, 2007).

3. Some Alternatives

As mentioned before, this study aims to provide a very simple way to detect the dependent variables to create an undirected graph of the data. We employ the MI on a real data set composed of binary values due to its better definition for discrete random variables. To compare MI accuracy, some alternatives such as Reversible Jump Markov Chain Monte Carlo (MCMC) and Birth-Death MCMC try to estimate the inverse covariance matrix to determine the conditional dependence between the variable after transforming the data into Gaussian by Copula. The details can be found in the study of Farnoudkia and Purutçuoğlu (2017). In this section, the two alternatives will be explained in detail that try to construct an undirected graph for the data set.

3.1 Reversible Jump Markov Chain Monte Carlo

The Bayesian approach is a very well-known method provides a more accurate estimation of the parameters, where the estimation most of the time can be written in terms of the prior estimator and maximum likelihood estimator. On another side, MCMC methods can offer an estimation of the parameters based on an iterative algorithm in which, the estimation of each iteration is not worse than the previous one. The precision matrix is responsible for the conditional dependence between two normally distributed variables, where the number of non-zero elements can change in each iteration when the precision matrix is estimated by MCMC method. That is why RJMCMC is proposed as a suitable algorithm that is compatible with the dimension-varying problem. The values of the estimated precision matrix from this method are responsible for the conditional dependence between corresponding normally-distributed variables in which the zero elements indicated the conditional independence. If the data is not normally distributed, the copula can transform the data into a normally distributed one using the inverse of the empirical cumulative distribution of the variables in the Gaussian Copula function. More details are referred to in Kojadinovic and Yan (2010).

3.2 Birth-Death Markov Chain Monte Carlo

BDMCMC is another method based on the continuous-time approach which estimates the precision matrix when the data is normally distributed and the parameter dimension is varying like RJMCMC. In this algorithm, both birth rate and death rate are calculated by the Poisson process. So in each iteration, the zero elements of the precision matrix are born with a birth rate and the non-zero elements would die by the death rate. Then, the precision matrix is updated at the end of each iteration. The choice of the birth and death rates determines the birth-

death process and is made in such a way that the stationary distribution is precisely the posterior distribution of interest. Contrary to the RJMCMC approach, the moves between models are always accepted, which makes the BDMCMC approach extremely efficient and fast. More details can be found in Mohammadi and Wit (2017).

4 Application

The only data that is used in this study is a real set named the *Rochdale* data. To calculate the accuracy of the proposed method and some alternatives the adjacency matrix is estimated and evaluated by two measures as follows.

- F_1 -score which is equal to 1 for the best case and 0 for the worst with the following formula.

$$F_1\text{-score} = \frac{2TP}{2TP + FP + FN} \tag{3}$$

where TP stands for true positive edges, FP for the false positive edges, FN for the false negative, and TN for the true negative edges. These are the four elements of the confusion matrix where the estimation is binary that is suitable for his study.

- Mathew correlation coefficient (MCC) lying between -1 and +1, one for the most accurate case and -1 when there is a complete disagreement between the prediction and observed values and zero for the random case as follows.

$$MCC = \frac{(TP \times TN) - (FP \times FN)}{\sqrt{(TP + FP)(TP + FN)(TN + FP)(TN + FN)}} \tag{4}$$

4.1 The Rochdale data

The Rochdale data is a set of eight binary economic factors which is firstly modeled by the log-linear model in the study of Whittaker (2009). The data is gathered by 665 persons answering eight YES/NO questions. The questions (variables) are labeled by letters as *a*: 1 for economically active wife, *b*: 1 if the wife is older than 38, *c*: 1 if the husband is unemployed, *d*: 1 if the family has more than 4 children, *e*: 1 of the education level of the wife is more than high school, *f*: 1 if the education level of husband is more than high-school, *g*: 1 for the Asian origin, and *h*: 1 of other household member is working. The data is represented conveniently in Table 1. where each cell represents one of the 2^8 the possible combination of 0 and 1. For instance, the first cell shows that 5 persons out of 665 answered all eight questions as zero. For instance, the 9th row and the 13th column which is 57 mean that 57 persons out of 665 answered the questions by, $a = 0, b = 0, c = 0, d = 0, e = 1, f = 1, g = 0, h = 0$.

Table 1. The Rochdale data

5	0	2	1	5	1	0	0	4	1	0	0	6	0	2	0
8	0	11	0	13	0	0	0	3	0	1	0	26	0	1	0
5	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
4	0	8	2	6	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0
17	10	1	1	16	7	0	0	0	2	0	0	10	6	0	0
1	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
4	7	3	1	1	1	2	0	1	0	0	0	1	0	0	0
0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	3	2	0	23	4	0	0	22	2	0	0	57	3	1	1
5	1	0	0	11	0	1	0	11	0	0	0	29	2	0	0
3	0	0	0	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41	25	0	1	37	26	0	0	15	10	0	0	43	22	0	0
0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0
2	4	0	0	2	1	0	0	0	1	0	0	2	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

The true network is composed of 14 edges as *ac, ad, ae, ag, bd, be, bh, ce, cf, cg, dg, dh, ef, fg*. To verify the accuracy of the proposed method, the adjacency matrix (an 8×8 – dimensional binary matrix) is estimated by MI for this study and the other two methods from the study of Farnoudkia and Purutcuoglu (2017). Table 2 shows the accuracy of different methods in two measures.

Table 2. F_1 -score and MCC measures of three differenet methods

	True Network	MI	RJMCMC	BDMCMC
TP	14	14	12	11
TN	14	14	14	10
FP	0	0	0	4

FN	0	0	2	3
F_1 -Score	1	1	0.92	0.76
MCC	1	1	0.87	0.50

5. Discussion and Conclusion

This study aims to suggest the use of the MI of two variables as criteria for any relationship between them which is one of the main aspects of unsupervised machine learning methods. MI is a non-parametric measure and easy to apply but the point is that this measure is designed for discrete random variables. Mutual information can be used in stock market analysis to identify the relationships between different variables and their impact on stock prices. By calculating the mutual information between various economic indicators and stock prices, we can determine which variables have the strongest influence on the market (Farnoudkia and Purutçuoğlu, 2020). However, for continuous random variables, the method of binding should be implemented first. There are some other methods like Gaussian Copula transformation as well. The application section proves the high accuracy of MI for the binary data set by comparing it with the true network and also by two alternative methods' accuracy. In this study, the graph is an undirected graph and the true graph is determined by conditional dependence which does not necessarily coincide with dependence. In the future study, other types of data will be used as well as other types of relationships. In a nutshell, MI is superior to be used at least for the independent variables because a zero MI implies linear and non-linear independence.

Conflict of Interest

The author declares that she has no conflicts of interest regarding the publication of this article. She received no financial support or funding for this research. The author wishes to express her sincere gratitude to the editor-in-chief and other members of the journal for their valuable feedback and assistance throughout the review process. Their contributions have greatly improved the quality and rigor of this work.

References

- Abegaz, F., & Wit, E. (2013). Sparse time series chain graphical models for reconstructing genetic networks. *Biostatistics*, 14(3), 586-599. <https://doi.org/10.1093/biostatistics/kxt001>.
- Borowiecki, M. (1947). On the problems of isomorphism and construction of oriented graphs. In *Colloquium Mathematicum* (Vol. 1, p. 1). Editions Scientifiques de Pologne. <https://doi.org/10.4064/cm-1-1-37-50>.
- Dobra, A., & Lenkoski, A. (2011). Copula Gaussian graphical models and their application to modeling functional disability data. *The Annals of Applied Statistics*, 5(3), 969-993. <https://doi.org/10.1214/10-AOAS439>
- Farnoudkia, H., Purutçuoğlu, V. (2020). Application of r-vine copula method in Istanbul stock market data: A case study for the construction sector. *Journal of Turkish Operations Management*, 4:509-518. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jtom/issue/59336/851947>.
- Harary, F., & Norman, R. Z. (1953). *Graph theory as a mathematical model in social science* (No. 2). Ann Arbor: the University of Michigan, Institute for Social Research. <https://doi.org/10.1017/s1373971900075089>
- Kojadinovic, I., & Yan, J. (2010). Modeling multivariate distributions with continuous margins using the copula R package. *Journal of Statistical Software*, 34, 1-20. <https://doi.org/10.18637/jss.v034.i09>.
- Kong, N. (2007). An entropy-based measure of dependence between two groups of random variables. *ETS Research Report Series*, 1, i-18. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1111559.pdf>.
- McGill, W. (1954). Multivariate information transmission. *Transactions of the IRE Professional Group on Information Theory*, 4(4), 93-111. <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=1057469>.
- Mohammadi, A., & Wit, E. C. (2015). Bayesian structure learning in sparse Gaussian graphical models. <https://doi.org/10.1007/s11222-014-9523-7>
- Mohammadi, R., & Wit, E. C. (2017). An Introduction to the BDgraph for Bayesian Graphical Models. https://pure.uva.nl/ws/files/25409351/1712_Crop.pdf.

Schreiber, T. (2000). Measuring information transfer. *Physical review letters*, 85(2), 461. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.85.461>.

Shannon, C. E., & Weaver, W. (1949). A mathematical model of communication. *Urbana, IL: University of Illinois Press*, 11, 11-20. <https://people.math.harvard.edu/~ctm/home/text/others/shannon/entropy/entropy.pdf>.

Whittaker, J. (2009). *Graphical models in applied multivariate statistics*. Wiley Publishing. <https://doi.org/10.1002/9780470744639>.



Journal of Turkish Operations Management

Investment decision support system using credibility analysis with fuzzy interest rate

Gülçin Canbulut^{1*}

¹ Industrial Engineering Department, Engineering Faculty, Nuh Naci Yazgan University, Erkilet/Kocasinan, Kayseri
gcanbulut@nny.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-0097-4302>

*Sorumlu Yazar

Article Info

Article History:

Received: 30.09.2022
Revised: 13.02.2023
Accepted: 19.03.2023

Keywords:

Fuzzy logic,
Credibility theory,
Compound interest rate,
Investment

Abstract

Today, with a fluctuating course of the economy, it is inevitable that the interest method used by people for investment will also fluctuate. There may be serious inconsistency between the current interest rate and the interest rate at the time of the investment. Therefore, in order to eliminate these inconsistent situation, fuzzy set theory is used and the case where the interest rate parameter is fuzzy variable is examined. So, one of the important points to be overcome in real life investment models is the estimation of interest rate. In this way, it is provided that the uncertain interest rate is close to the real-life interest rate. In this study, we tried to obtain generalized closed formulas to calculate the future value of the capital investment although interest rate is fuzzy variable. Generalized closed formulas of the future value of the capital investment have been obtained by expected value function. And we applied credibility theory for determining the expected value function.

1. Introduction

The idea of investment is one of the issues that have been considered since the existence of humankind. Since the first days of human history, people have wanted for the valuation of their tangible assets for investment purposes and utilized interest methods in various ways. Today, due to the fluctuating course of national economies; components of investment decisions also include uncertainty, such as interest rate, investment life. Moreover, since these uncertainties are not predictable; components cannot be expressed as stochastic or deterministic variables. One of the important points to be overcome in real life investment models is the estimation of interest rate. In most of the studies in the current literature, it is assumed that the interest rate is fixed to make an appropriate approach regarding the interest rate (Jaimungal and Wang,2006; Hespos and Strassmann,1965; Mulvey and Vladimiriou,1989) However, due to the current economic fluctuations; even stochastic estimation of interest rates may not be possible. Therefore, in the evaluation of investment analyzes; the use of deterministic or stochastic data may not give very accurate results. In such cases, for the analysis of investment projects; it would make sense to use fuzzy set theory. In recent years, studies on investment decision have been made by using fuzzy set theory. So, we tried to obtain generalized closed formulas to calculate the future values of the capital investment although interest rate is fuzzy variable. Generalized closed formulas of the future value of the capital investment have been obtained by expected value function. And we applied credibility theory proposed for determining the expected value function.

Kim (2002), made of pricing performance under a number of interest rate. One choice pricing model under a special stochastic interest rate does not notably outperform another choice pricing model under an alternative stochastic interest rate.

Korn and Kraft (2001), considered investment problems where a financier can invest in an investments account, stocks, and bonds and tries to maximize her efficiency from terminal wealth. And they suppose the interest rate as a stochastic variable.

Zhao (2009), investigated the long-time performances of two groups of stochastic interest rate models.

Wang et al. (2017), proposes a Monte Carlo simulation-based methodology for measuring Value-at-Risk of a portfolio consisting of alternatives and bonds. A benefit of this study is that its implementation does not need knowledge of the joint distribution or other statistical characteristics of the related risk factors.

Kahraman and Kaya (2010) used fuzzy parameters in stochastic investment decision and then alternative investment analysis is studied by using fuzzy event probability.

Bi and Wang (2009), assumed that the net present value (NPV) of cash flow, the costs of investment and interest rate are fuzzy numbers and then suggested the fuzzy-real options evaluation model. After that, they demonstrated the validity of model using a numerical example.

Kahraman and Uçal (2009), suggested a hybrid model advised by Carlsson and Fuller before and they examined the discrete compounding. They applied this model to an oil field investment and in conclusion the loss of information caused by early-defuzzification has been determined.

Dimova et al. (2006), proposed a new method for generalization of aggregation schemes based on level-2 fuzzy sets. And theoretical consideration is proved by simple numerical examples.

Ustundağ et al. (2010), suggested an economic analysis for RFID investment. The elements of cost and benefits are determined to measure the value of an RFID investment. The expected net present value of investment is determined by using Monte-Carlo simulation.

Kahraman et al. (2006), developed the formulas for the analyses of project-investment analyses techniques on fuzzy environment and some numeric examples are demonstrated. After that, the cash flows are expanded to geometric and trigonometric cash flows. Finally, a fuzzy versus stochastic investment analysis is examined by using the probability of a fuzzy event.

Karsak and Tolga (2001), proposed a fuzzy decision algorithm to select the most suitable advanced manufacturing systems alternative. The fuzzy discounted cash flow analysis is used for the evaluating the economic aspects of the advanced manufacturing systems alternative. Also, they demonstrated the results of the analysis using comprehensive numerical example.

Some of the studies investigated in this subject are shown in table 1.

Table 1. Interest rate studies

References	Year	Interest rate variable
Y.J. Kim	2002	stochastic
R.Korn and H. Kraft	2001	stochastic
Juan Zhao	2009	stochastic
X.Wang et al.	2017	stochastic
C. Kahraman and I. Kaya	2010	fuzzy
X. Bi and XF. Wang	2009	fuzzy
İ. Uçal and C. Kahraman	2009	fuzzy
L. Dimova et al.	2006	fuzzy
A. Üstündağ et al.	2010	fuzzy
C. Kahraman et al.	2006	fuzzy
E.E. Karsak and E. Tolga	2001	fuzzy

It can be seen that; the works on fuzzy interest rate are more limited than those in deterministic or stochastic ones. Therefore, we think that study, which will deal with fuzzy interest rate, may contribute to the literature. In this study, we tried to obtain generalized closed formulas in order to calculate the future value of the capital investment although interest rate is fuzzy variable. Generalized closed formulas of the future value of the capital investment have been obtained by expected value function defined by Xue et al (2008). And we applied credibility theory proposed by Liu et al. (2002), for determining the expected value function.

The rest of this paper is structured as follows. In the second part, definitions related to fuzzy set theory and credibility theory are mentioned. And the third part, we describe the present value of the capital, interest rate and the future value of the capital. Section 4 develops the formulas of the future value of the capital investment on fuzzy environment. And numerical examples of the proposed formulas in the section 4 are illustrated and sensitivity analysis has been obtained in the section 5. Then in the last section, we mentioned the conclusions and future studies.

2. Interest and the time value of money

As we all know, money has a time value. So, a hundred liras in yesterday are not a hundred pounds in today; because they have different purchase values. It is called as the time value of money. The factor that maintains this balance is interest. Thus, the interest rate is a function of capital, time, and interest rate. The function of the interest is:

$$Interest = f(Capital, Interest\ rate, Investment\ life)$$

The notations of the interest function are shown in Table 2:

Table 2. Interest function notations

<i>F</i>	Interest
<i>P</i>	Capital
<i>i</i>	Interest rate
<i>n</i>	Investment life

Interest is calculated in two ways: simple interest and compound interest.

Simple interest is calculated only on the capital amount and no interest is calculated on interest during the interest period. With the simple interest formula, interest is calculated as follow:

$$F = P * (1 + i * n) \tag{1}$$

Compound interest is calculated over the sum of the capital and interest in the previous period for each period. With the compound interest formula, interest is calculated as follow:

$$F = P * (1 + i)^n \tag{2}$$

In real life problems, compound interest is used in the calculation of interest, including time value.

3. Fuzzy set theory, credibility theory and expected value of a fuzzy variable function

In real life, there is not only randomness but also much uncertainty. For instances, a “large” house is not a clear in most cases. To identify such a situation, fuzzy set theory which was first proposed by Zadeh (1965), is used.

The characteristic function of a crisp set gives either 1 or 0 to each individual in the universal set, thereby belonging to or not belonging to the set. This function can be generalized as follows: a value which determines the degree of membership of the element is assigned to each element in a specific range in the universal set. This function is called as the membership function and the set is defined as a fuzzy set (Klir and Yuan, 1995).

A fuzzy set can be mathematically expressed as $\tilde{A} = (x, \mu_{\tilde{A}}(x)), \forall x \in X$ where X is the universal set and $\mu_{\tilde{A}}(x)$ is the membership function Zadeh (1965). Moreover, Zadeh proposed possibility measure to measure a fuzzy event. For a measure, the self-duality property is very important. But possibility measure is not self-dual. In order to

define a measure which has self-dual property, Liu et al. (2002), suggested the credibility measure. Recently, credibility theory has been used in many fields (Huang,2010).

Definition 1: Let Θ be a nonempty set, and $P(\Theta)$ the power set of Θ , i.e., the largest σ -algebra over Θ . Each element in $P(\Theta)$ is called an event. The set function Cr is called a credibility measure if

- a. (Normality) : $Cr(\Theta) = 1$;
- b. (Monotonicity): $Cr(A) \leq Cr(B)$ whenever $A \subset B$;
- c. (Self-duality) : $Cr\{A\} + Cr\{A^c\} = 1$ for any event A ;
- d. (Maximality) : $Cr\{\cup_i A_i\} = \sup_i Cr\{A_i\}$ for any events $\{A_i\}$ with $\sup_i Cr\{A_i\} \leq 0,5$.

The value of $Cr\{A\}$ indicates the level that the event A will occur (Liu,2007).

Definition 2: Let Θ be a nonempty set, and $P(\Theta)$ the power set of Θ , and Cr a credibility measure. Then the triplet $(\Theta, P(\Theta), Cr)$ is called a credibility space (Liu,2007).

Definition 3: A fuzzy variable is defined as a function from a credibility space $(\Theta, P(\Theta), Cr)$ to the set of real numbers.

Definition 4: Let ε be a fuzzy variable with membership function μ . Then for any set A of real numbers, we have Liu et al. (2002);

$$Cr\{\varepsilon \in A\} = \frac{1}{2} \left(\sup_{t \in A} \mu(t) + 1 - \sup_{t \in A^c} \mu(t) \right) \tag{3}$$

Definition 5: Let ε be a fuzzy variable with membership function μ . Then it follows from equation (3) that the following equations hold (Huang,2010):

$$Cr\{\varepsilon = t\} = \frac{1}{2} \left(\mu(t) + 1 - \sup_{y \neq t} \mu(y) \right), \forall t \in \mathfrak{R} \tag{4}$$

$$Cr\{\varepsilon \leq t\} = \frac{1}{2} \left(\sup_{y \leq t} \mu(y) + 1 - \sup_{y > t} \mu(y) \right), \forall t \in \mathfrak{R} \tag{5}$$

$$Cr\{\varepsilon \geq t\} = \frac{1}{2} \left(\sup_{y \geq t} \mu(y) + 1 - \sup_{y < t} \mu(y) \right), \forall t \in \mathfrak{R} \tag{6}$$

Example: Let $\mu(x)$ be the membership function for the generalized L-R type fuzzy number expressed by equation (7); the credibility measure of this variable is shown in equation (8);

$$\mu_{\tilde{X}}(x) = \begin{cases} L(x) & a \leq x \leq b \\ 1 & b \leq x \leq c \\ R(x) & c \leq x \leq d \\ 0 & \text{other} \end{cases} \tag{7}$$

$$Cr\{\tilde{X} \leq x\} = \begin{cases} 0 & x \leq l \\ \frac{L(x)}{2} & l \leq x \leq m \\ \frac{1}{2} & m \leq x \leq n \\ 1 - \frac{R(x)}{2} & n \leq x \leq u \\ 1 & x \geq u \end{cases} \tag{8}$$

Definition 6: The expected value of a fuzzy number is defined as the center of the expected interval (Heilpern,1992). Moreover, most of the ranking methods used for fuzzy numbers are used to find the expected value of a fuzzy number (Yager,1981; Campos and Gonzalez,1989; Gonzalez,1990).

Let ξ be a fuzzy variable with the membership function $\mu(x)$ and r be a real number, the expected value of a fuzzy variable $E[\xi]$ can be calculated as in (9) (Liu et al. ,2002):

$$E[\xi] = \int_0^\infty Cr\{\xi \geq r\}dr - \int_{-\infty}^0 Cr\{\xi \leq r\}dr \tag{9}$$

Let ξ be a fuzzy variable with the membership function $\mu_\xi(x)$, and $f: \mathfrak{R} \rightarrow \mathfrak{R}$ is a strictly monotonic function. If the Lebesque integrals, $\int_0^\infty Cr\{\xi \geq r\}dr$ and $\int_{-\infty}^0 Cr\{\xi \leq r\}dr$ are finite, then the expected value of a function of a fuzzy variable $E[f(\xi)]$ can be calculated as in (10) (Dimova et al. , 2006);

$$E[f(\xi)] = \int_{-\infty}^{\infty} f(r) dCr\{\xi \leq r\} \tag{10}$$

Let ξ be a fuzzy variable whose support is $[a, b]$ and $f: \mathfrak{R} \rightarrow \mathfrak{R}$ is a strictly monotonic function. If the Lebesgue integrals, $\int_0^{\infty} Cr\{\xi \geq r\} dr$ and $\int_{-\infty}^0 Cr\{\xi \leq r\} dr$ are finite, then the expected value of a function of a fuzzy variable $E[f(\xi)]$ can be calculated as in (11) (Xue et al., 2008);

$$E[f(\xi)] = \int_a^b f(r) dCr\{\xi \leq r\} \tag{11}$$

4. The time value of money with fuzzy interest rate

The idea of investment is one of the issues that have been considered since the existence of humankind. Since the first days of human history; people have wanted for the valuation of their tangible assets for investment purposes and utilized interest methods in various ways. Today, due to the fluctuating course of national economies; components of investment decisions also include uncertainty; such as interest rate, investment life.

Let consider an investment of P is made. This amount of P will not be equivalent to the amount after n years. Therefore, interest is applied to the capital at the rate of i for the n year. In real life problems; compound interest is used in the calculation of interest, because of including time value.

We consider the interest rate(i) as a trapezoidal fuzzy variable. A trapezoidal fuzzy number is represented as $\tilde{i} = (k, l, m, n)$ where $k < l < m < n$. Here k and l are the most possible values of the fuzzy interest rate and k and n are the minimum and maximum values. The membership function of a trapezoidal fuzzy number is illustrated as shown in Equation (7).

Because the interest rate (i) is a fuzzy variable; the function of the interest is also become a fuzzy function since it contains fuzzy variable. And we used the analytical method based on credibility theory. Xue et al. (2008), has developed this theory to find the expected value of a function of a fuzzy variable. Credibility theory is based on credibility function which has the property of self-duality. Therefore, the credibility function shows characteristics like those of probability measure.

The fuzzy compound interest is calculated as follow:

$$\tilde{F} = P * (1 + \tilde{i})^n$$

By using equation (11); the expected values of the fuzzy compound interest rate represented as, $E[\tilde{F}]$ can be formulated as following;

$$E[\tilde{F}] = \int_a^i P * (1 + r)^n d Cr\{i \leq r\} + \int_i^d P * (1 + r)^n d Cr\{i \leq r\} \tag{12}$$

For the computational convenience; the defuzzification of interest rate (i) can be calculated in this stage and then for the value of the defuzzified value of it; we can calculate the interest value using Equation (12). Different defuzzification methods can be applied for changing fuzzy numbers to the crisp numbers. In this study we used GMIR (Graded Mean Integration Representation) defuzzification method (see Yager,1981; Campos and Gonzalez,1989; Gonzalez,1990) for numerical analysis.The defuzzified value using GMIR defuzzification method for a trapezoidal fuzzy number $\tilde{X} = (a; b; c; d)$ can be calculated as;

$$X_{GMIR} = \frac{a+2b+2c+d}{6} \tag{13}$$

Here there will be three cases to be analyzed for the value of i discussing the credibility value of interest rate;

Situation 1(a < i < b)

$$E[\tilde{F}(i)] = P * \left[\int_a^i (1 + r)^n d Cr\{i \leq r\} + \int_i^b (1 + r)^n d Cr\{i \leq r\} + \int_c^d (1 + r)^n d Cr\{i \leq r\} \right] = P * \left[\frac{b^{n+1} - a^{n+1}}{2 * (b - a) * (n + 1)} + \frac{d^{n+1} - c^{n+1}}{2 * (d - c) * (n + 1)} \right] \tag{14}$$

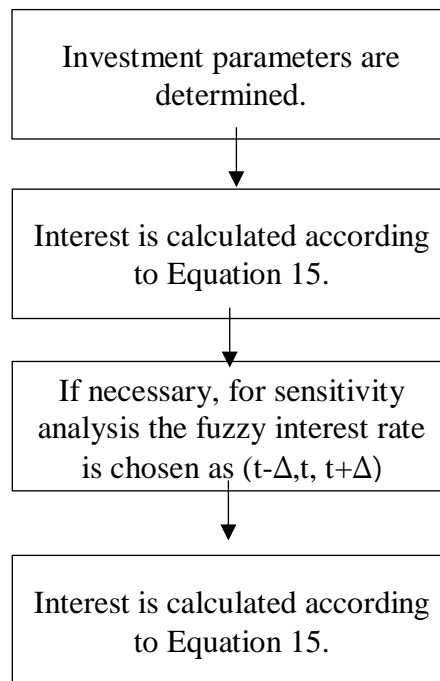
Situation 2($b < i < c$):

$$\begin{aligned}
 E[\tilde{F}(i)] &= P * \left[\int_a^b (1+r)^n d Cr\{i \leq r\} + \int_b^i (1+r)^n d Cr\{i \leq r\} \right. \\
 &\quad \left. + \int_i^c (1+r)^n d Cr\{i \leq r\} \right. \\
 &\quad \left. + \int_c^d (1+r)^n d Cr\{i \leq r\} \right] \\
 &= P * \left[\frac{c^{n+1} - a^{n+1}}{2 * (b - a) * (n + 1)} + \frac{d^{n+1} - c^{n+1}}{2 * (d - c) * (n + 1)} \right] \tag{15}
 \end{aligned}$$

Situation 3($c < i < d$):

$$\begin{aligned}
 E[\tilde{F}(i)] &= P * \left[\int_a^b (1+r)^n d Cr\{i \leq r\} + \int_c^i (1+r)^n d Cr\{i \leq r\} \right. \\
 &\quad \left. + \int_i^d (1+r)^n d Cr\{i \leq r\} \right] \\
 &= P * \left[\frac{b^{n+1} - a^{n+1}}{2 * (b - a) * (n + 1)} + \frac{d^{n+1} - c^{n+1}}{2 * (d - c) * (n + 1)} \right] \tag{16}
 \end{aligned}$$

The workflow of the study can be shown as shown in figure 1:



5. Numerical illustrations

In this section; numerical examples are given for the demonstration of the proposed models. Firstly; we examined the proposed model in the previous section. After that, we focus on the fuzziness aspect of the interest rate.

In numerical analysis; we consider that a firm wants to make an investment according to interest rate which is a fuzzy variable.

Table 3. Investment parameter values

Parameters	Values
P Capital	\$10.000
i Interest rate	(0.1;0.6;0.65;0.7)
n Investment life	5

The interest is calculated as in Equation (15); the interest value is obtained as \$781,6.

One of the important points in investment decision is to obtain the interest rate value. When there is not enough historical data, interest rate variant can be shown using fuzzy set theory. Therefore, in this section; we focus on the fuzziness aspect of the interest rate uncertainty. As a numerical example, we suppose that the fuzzy interest rate is a trapezoidal fuzzy variable. The interest rate per year of the investment is determined with trapezoidal fuzzy number as $(\tilde{i} = 0.6 - \Delta, 0.6, 0.6 + \beta, 0.6 + \alpha)$ with $\Delta \geq 0, \beta \geq 0$ and $\alpha \geq 0$ and also $\alpha \geq \beta$. And the parameter values are the same as the parameter values used in the previous analysis.

The interest values obtained by changing the interest rate variance are shown in Table 4.

Table 4. The Interest Values Obtained by Changing the Interest Rate Variance

Interval	a	b	c	d	F
1	0.1	0.6	0.65	0.7	782
	0.1	0.6	0.64	0.7	757
	0.1	0.6	0.63	0.7	734
	0.1	0.6	0.62	0.7	712
2	0.1	0.6	0.65	0.8	1115
	0.1	0.6	0.64	0.8	1085
	0.1	0.6	0.63	0.8	1056
	0.1	0.6	0.62	0.8	1028
3	0	0.6	0.65	0.7	769
	0	0.6	0.64	0.7	744
	0	0.6	0.63	0.7	721
	0	0.6	0.62	0.7	699
4	0	0.6	0.65	0.8	1102
	0	0.6	0.64	0.8	1072
	0	0.6	0.63	0.8	1043
	0	0.6	0.62	0.8	1015

It is seen from the tables that in the case of diminishing interest rate fuzziness, the value of interest is also decreasing. Because the interest rate is uncertain; people also experience uncertainty in their investment decisions. Interest values in the second interval are higher than interest values in the third interval because the interest rate in this interval is also higher.

6. Conclusions, discussions, and future studies

The idea of investment is one of the issues that have been considered since the existence of humankind. Since the first days of human history; people have wanted for the valuation of their tangible assets for investment purposes and utilized interest methods in various ways. Today, due to the fluctuating course of national economies; components of investment decisions also include uncertainty; such as interest rate, investment life. Moreover, since these uncertainties are not predictable; components cannot be expressed as stochastic or deterministic variables. One of the important points to be overcome in real life investment models is the estimation of interest rate.

It can be seen from the literature; the works on fuzzy interest rate are more limited than those in deterministic or stochastic ones. Therefore, we think that study, which will deal with fuzzy interest rate, may contribute to the literature. In this study, we tried to obtain generalized closed formulas in order to calculate the future value of the

capital investment although interest rate is fuzzy variable. Generalized closed formulas of the future value of the capital investment have been obtained by expected value function. And we applied credibility theory for determining the expected value function.

Numerical examples are given for the demonstration of the proposed models. Firstly; we examined the proposed model. After that; we focus on the fuzziness aspect of the interest rate.

It is seen from the study that in the case of diminishing interest rate fuzziness, the value of interest is also decreasing. Because the interest rate is uncertain; people also experience uncertainty in their investment decisions. Interest values in the second interval are higher than interest values in the third interval because the interest rate in this interval is also higher.

For the future studies; not only the interest rate is fuzzy variable; but also, the other parameters of the interest calculation formula can be fuzzy variables. Also, the valuation methods of the investment decision can be examined in the fuzzy environment.

Contribution of researchers

Authors have equal contribution in all the sections.

Conflict of interest

The authors declared that there is no conflict of interest.

References

- Bi, X. and Wang, XF. (2009). The Application of Fuzzy-Real Option Theory in BOT Project Investment Decision-Making. IEEE 16th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management. doi: <https://doi.org/10.1109/ICIEEM.2009.5344588>.
- Campos, L. and Gonzalez, A. (1989). A subjective approach for ranking fuzzy numbers. Fuzzy Sets And Systems. 29, 145-153. doi: [https://doi.org/10.1016/0165-0114\(89\)90188-7](https://doi.org/10.1016/0165-0114(89)90188-7).
- Dimova, L., Sevastianov, P. and Sevastianov, D. (2006). MCDM in a Fuzzy Setting: Investment Projects Assessment Application. International Journal of Production Economics. 100, 10-29. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2004.09.014>.
- Gonzalez, A. (1990). A study of ranking function approach through mean values. Fuzzy Sets And Systems. 35, 29-41. doi: [https://doi.org/10.1016/0165-0114\(90\)90016-Y](https://doi.org/10.1016/0165-0114(90)90016-Y).
- Heilpern, S. (1992). The expected value of a fuzzy number. Fuzzy Sets And Systems. 47, 81-86. doi: [https://doi.org/10.1016/0165-0114\(92\)90062-9](https://doi.org/10.1016/0165-0114(92)90062-9).
- Hespos, R.F. and Strassmann, P.A. (1965). Stochastic Decision Trees for the Analysis of Investment Decisions. Management Science 11(10), Series B, Managerial, B244-B259. doi: <http://www.jstor.org/stable/2627813>. Accessed 24 May 2023
- Huang X. (2010). Portfolio Analysis: From Probabilistic to Credibilistic and Uncertain Approaches. Studies in Fuzziness and Soft Computing. 250. doi: [Portfolio Analysis: From Probabilistic to Credibilistic and Uncertain Approaches | SpringerLink](#)
- Jaimungal, S. and Wang T. (2006). Catastrophe Options with Stochastic Interest Rates and Compound Poisson Losses. Insurance Mathematics and Economics, 38, 469-483. doi: <https://doi.org/10.1016/j.insmatheco.2005.11.008>
- Kahraman, C., Gülbay, M. and Ulukan, Z. (2006). Fuzzy Applications in Industrial Engineering: Applications of Fuzzy Capital Budgeting Techniques. [Fuzzy Applications in Industrial Engineering | SpringerLink](#). 201, 177-203.
- Kahraman, C. and Kaya, I. (2020). Investment Analyses Using Fuzzy Probability Concept. Technological and Economic Development of Economy. 16, 43-57. doi: <https://doi.org/10.3846/tede.2010.03>.

- Karsak, E.E. and Tolga, E. (2001). Fuzzy Multi-criteria Decision-Making Procedure for Evaluating Advanced Manufacturing System Investments. *International Journal of Production Economics*. 69,49-64. doi: [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(00\)00081-5](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(00)00081-5)
- Kim, Y.J. (2002). Option Pricing under Stochastic Interest Rates: An Empirical Investigation. *Asia-Pacific Financial Markets*. 9,23-44. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1021155301176>
- Klir, G.J. and Yuan, B.(1995). *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications*, Prentice Hall PTR. [Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications \(dstu.dp.ua\)](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(00)00081-5)
- Korn ,R. and Kraft,H. (2001). A Stochastic Control Approach to Portfolio Problems with Stochastic Interest Rates. *SIAM Journal on Control and Optimization*. 40,1250-1269. doi <https://doi.org/10.1137/S0363012900377791>
- Liu, B.(2007). *Uncertainty Theory*. Springer, 2nd edn. [Uncertainty Theory | SpringerLink](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(00)00081-5)
- Liu,B. and Liu,Y.K. (2002). Expected Value of Fuzzy Variable and Fuzzy Expected Value Model. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*.10,445-450. doi: <https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2002.800692>
- Mulvey, J.M. and Vladimirov,H, (1989). Stochastic Network Optimization Models for Investment Planning. *Annals of Operations Research*. 20,187-217. doi: <https://doi.org/10.1007/BF02216929>
- Uçal, İ. and Kahraman, C. (2009). Fuzzy Real Options Valuation for Oil Investments. *Technological and Economic Development of Economy: Baltic Journal on Sustainability*.15,646-669. doi: https://doi.org/10.1142/9789812799470_0168.
- Üstündağ, A., Kılınç, M.S. and Çevikcan, E.,(2010). Fuzzy Rule-based System for the Economic Analysis of RFID Investments. *Expert Systems with Applications*. 37,5300-5306. doi: <https://doi.org/10.1016/j.frl.2016.11.013>.
- Wang X., Xie, D., Jiang, J., Wu, X., and He, J. (2017) Value-at-Risk Estimation with Stochastic Interest Rate Models for Option-Bond Portfolios. *Finance Research Letters*. 21, 10-20. doi: <https://doi.org/10.1016/j.frl.2016.11.013>
- Xue,F., Tang, W. and Zhao, R.(2008).The Expected Value of a Function of a Fuzzy Variable with A Continuous Membership Function. *Computers and Mathematics with Applications*.55,1215-1224. doi: <https://doi.org/10.1016/j.camwa.2007.04.042>
- Yager, R. R.(1981). A procedure for ordering fuzzy subsets of the unit interval. *Information Sciences*. 2(24),143-161. doi: [https://doi.org/10.1016/0020-0255\(81\)90017-7](https://doi.org/10.1016/0020-0255(81)90017-7).
- Zadeh, L. A.(1965). Fuzzy Sets. *Information And Control*, 8,338-353,doi: [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)
- Zhao,J.(2009). Long time behavior of stochastic interest rate models. *Insurance: Mathematics and Economics*. 44,459-463. doi: <https://doi.org/10.1016/j.insmatheco.2009.01.001>



Journal of Turkish Operations Management

Fuzzy linear programming model for inverse multiple criteria sorting problem: an application in a public transportation company

Gülçin Canbulut^{1*}

¹Industrial Engineering, Engineering Faculty, Nuh Naci Yazgan University, Erkilet, Kayseri
gcanbulut@nny.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-0097-4302>

*Corresponding Author

Article Info

Article History:

Received: 20.07.2022
Revised: 23.12.2022
Accepted: 03.04.2023

Keywords:

Multi-criteria decision making,
Fuzzy,
Inverse multiple criteria sorting problem

Abstract

Multi-criteria decision making (MCDM) techniques are among the methods used by the decision maker in the decision phase in practice, as in the literature. MCDM problems are grouped as classifications and sorting problems according to the type of inclusion or ranking in existing classes. Inverse multi-criteria sorting problem, a new topic in recent years, is defined as choosing among existing actions in order to improve the status of alternatives. In this study, in order to find out which action plan should be chosen for providing the minimum cost for the improvement of public transportation vehicles in case the boundaries of the classes to be assigned are uncertain, the inverse multi-criteria ranking problem is used. Because the boundaries of the classes to be assigned are fuzzy, fuzzy linear programming method will be used to solve the problem.

1. Introduction

Multi-criteria decision making (MCDM) techniques are among the methods used by the decision maker in the decision phase in practice, as in the literature. These techniques are used for solving complex problems. MCDM problems are grouped as classifications and sorting problems according to the type of inclusion or ranking in existing classes (Aires et al., 2018; Arıkan and Cıtaç, 2017; Parreiras et al., 2019; Hasan et al. 2019). The multi-criteria sorting problem can be described as, the assignment of alternatives under multiple criteria to the predefined classes. For example, rating the hotels according to star and classifying the students according to grading notes are a multi-criterion sorting problem (Özpeynirci et al., 2020).

Inverse multi-criteria sorting problem, a new topic in recent years, is defined as choosing among existing actions in order to improve the status of alternatives (Wolters and Mareschal, 1995). In this problem, the decision makers know the initial classes of the alternatives. By performing some of the existing actions, the decision makers can improve the classes of the alternatives. The main goal is to replace the class with more alternatives at minimal cost.

In multi criteria decision making literature, a few researchers considered the effects of the actions to the alternatives according to criteria. Wolters and Mareschal (1995) studied a sorting problem and they presented three sensitivity analysis examples: The first example is the investigating the changes in the criteria values. The second and the third ones are respectively a criterion's object value changes effect and the minimum required change for an object to get to the best class.

Wang (2015) presented the first study about the inverse multiple criteria sorting problem. He investigated the actions and the effects of the actions on alternatives. And he proposed a model which could be applied for resorting the alternatives according to these actions.

Mousseau et al. (2018) suggested a study on the inverse multiple criteria sorting problem. They used the UTADIS, MR-sort and cumulative value function for classifying the alternatives. They studied two types of problems: firstly,

they wanted to find the action plans which supply the least cost and after they assign the objects under a limited budget. Also, they propose a mathematical programming model for each case.

Ecer et al. (2020) investigated a goal programming model of an inverse multi criteria ranking problem. The goals of this study are the improvement at least cost and the number of alternatives assigned to a particular class. And they tested the model on a real-life problem.

Ecer et al. (2022) aimed an extension of inverse multiple criteria sorting problem with fuzzy parameter with a proper solution approach on area of building energy.

This study proposes a combination of inverse multiple criteria sorting problem and fuzzy linear programming. As it can be seen in the literature research, fuzzy linear programming has never been used in inverse multi-criteria sorting problem. With this aspect, this study has expanded the application of inverse multi-criteria sorting problem and made an important contribution to the literature. Also, there are a few studies about inverse multi-criteria sorting problem in the literature.

The organization of the article is as follows: We define the inverse multi-criteria sorting problem in section 2. After that in section 3; we describe the fuzzy inverse multi-criteria sorting problem and the solution of this problem by using fuzzy linear programming. The next section: we present the application of the proposed approach in real life problem. Finally, we propose the future research areas in this subject in the last section.

2. Inverse Multi-Criteria Sorting Problem (IMCSP)

Inverse multi-criteria sorting problem (IMCSP) is defined as choosing among existing actions to improve the status of alternatives (Mousseau et al., 1995). The purpose of this choosing process is to determine which actions are appropriate to achieve the desired ranking.

The stages of inverse multi-criteria sorting procedure are presented in detail as below:

- The first stage of inverse multi-criteria sorting problem is sorting the alternatives to the predefined ordered classes on several criteria.
- Decision maker can modify the alternatives to the better classes by obtaining a subset of predefined actions.
- The objective of decision maker is finding the best subset of actions with minimal cost or under a given budget.

In this section, the model for the situations in which we know the sorting method and the parameters used to assign the alternatives to classes is illustrated. The objective of this model is cost minimization. The cost minimization is defined as finding the best combinations of actions which is required to achieve the desired classification of the alternatives at minimum cost.

We use the notations of Özpeynirci et al. (2020) and modify if necessary. Let consider the set of alternatives $A = \{A_1, A_2, \dots, A_i\}$ evaluated on a set of criteria $K = \{K_1, K_2, \dots, K_j\}$. The set of ordered classes is denoted by $C = \{C_1, C_2, \dots, C_t\}$ where C_t is the best class of this set. In inverse sorting model; it is possible to change the class of alternative by obtaining the actions from set of actions $E = \{E_1, E_2, \dots, E_k\}$.

The parameters of the model are as shown in Table 1.

Table 1. The Parameters of The Inverse Multi-Criteria Sorting Problem Model

Parameter	Notation
c_k	The cost of action E_k
o_{ij}	The score of alternatives A_i on criterion K_j
o_{ij}'	The new score of alternatives A_i on criterion K_j after performing the selected actions.
δ_{ijk}	The impact of action E_k on the score of alternatives A_i on criterion j
w_j	The weight of criterion j ; $w_j \in [0,1]$ and $\sum_{j=1}^J w_j = 1$
b_j^h	Upper bound of class C_t for criterion j

The decision variable of the model is;

$$x_k = \begin{cases} 1, & \text{if the action } k \text{ is selected} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

The constraints of this model are shown as below (Mousseau et al., 1995);

$$\text{minimize } \sum_{k=1}^K c_k * x_k \tag{1}$$

subject to

$$o_{ij}' = o_{ij} + \sum_{k=1}^K \delta_{ijk} * X_k \quad \forall i, j \tag{2}$$

$$\sum_{j=1}^J w_j * o_{ij}' \geq b_j^h \quad \forall i \tag{3}$$

$$x_k \in \{0,1\} \quad \forall k \tag{4}$$

In equation (1) shows the objective function; the objective of this model is minimizing the total cost of selected actions. In equation (2), the new scores of alternatives A_i on criterion K_j after performing the selected actions are calculated. Equation (3) ensures that all alternatives are assigned to their required classes. The decision whether to choose the actions or not, which is the decision variable of the model, is a binary integer variable and is restricted by Equation (4).

3. The Fuzzy Inverse Multi-Criteria Sorting Problem (FIMCSP)

This study proposes a combination of inverse multiple criteria sorting problem and fuzzy linear programming. In this section, we discuss the inverse multi-criteria sorting problem with the fuzzy parameter. So the model transform to the fuzzy linear model. The model is shown as below:

$$\text{minimize } \sum_{k=1}^K c_k * x_k \tag{5}$$

subject to

$$o_{ij}' = o_{ij} + \sum_{k=1}^K \delta_{ijk} * X_k \quad \forall i, j \tag{6}$$

$$\sum_{j=1}^J w_j * o_{ij}' \geq b_j^h \quad \forall i \tag{7}$$

$$x_k \in \{0,1\} \quad \forall k \tag{8}$$

In the Equation 7, the right-hand side parameter b_j^h is a fuzzy variable with $(b_j^h - p_j, b_j^h)$. Since it is a minimization model with a constraint containing fuzzy right-hand side value, we will adopt mathematical model proposed by H.J. Zimmermann's membership function (Zimmermann,1985). The membership function for the constraints containing fuzzy right-hand side value is written as in Equation 8:

$$\mu_{i(x)} = \begin{cases} 1 & c \sum_{j=1}^J w_j * o_{ij}' > b_j^h \\ 1 - \frac{D_i - (\sum_{j=1}^J w_j * o_{ij}')}{p_i} & b_j^h - p_t \leq \sum_{j=1}^J w_j * o_{ij}' \leq b_j^h + p_t \\ 0 & \sum_{j=1}^J w_j * o_{ij}' \leq b_j^h \end{cases} \tag{8}$$

The membership function for the objective function is written as in Equation 9:

$$\mu_{c(x)} = \begin{cases} 1 & c(x) \leq z_0 \\ 1 - \frac{c(x) - z_0}{z_1 - z_0} & z_0 \leq c(x) \leq z_1 \\ 0 & c(x) \geq z_1 \end{cases} \tag{9}$$

We will write the fuzzy inverse multi-criteria sorting mathematical model shown as below:

maksimize α

$$\alpha \leq 1 - \frac{c(x) - z_0}{z_1 - z_0} \quad \forall k$$

$$\alpha \leq 1 - \frac{D_i - (\sum_{j=1}^J w_j * o_{ij}')}{p_i} \quad \forall i$$

$$o_{ij}' = o_{ij} + \sum_{k=1}^K \delta_{ijk} * X_k \quad \forall i, j$$

$$x_k \in \{0,1\} \quad \forall k$$

With the solution of the new model transformed to fuzzy model, the actions to be carried out will be determined.

4. The Application of The Transportation Vehicle Improvement

In this study, a problem for the improvement of trams used for public transportation in a company in Turkey has been addressed. Company managers were asked to determine actions on trams and improve them in order to meet the increasing demand.

Eight trams ($A_1, A_2, A_3, \dots, A_8$) used by the company for public transportation has been used. And they are classified into the predefined classes (A, B, C, D and E) according to 5 criterions. The criteria stated by the decision makers as important in the classification of the trams and the weights of these criterions are as shown in Table 2.

Table 2. Criteria Used in Evaluation

Criterion	Description	Weights
Passenger Capacity (K_1)	Shows the seated passenger carrying capacity of the vehicle.	0,23
Comfort (K_2)	It shows the numerical value in the range of 0-1 given by the decision makers for all the factors such as ergonomics of the seats, ventilation of the vehicle, ease of use of the handles. It is calculated as passenger capacity(sitting)/passenger capacity(standing).	0,06
Air Conditioner (K_3)	It shows the power of air conditioner.	0,18
Door Number (K_4)	It shows the total number of doors that passengers can get on and off in the vehicle.	0,25
Engine Number (K_5)	It shows the total number of engines used in the trams.	0,28

Performance values of the trams at the beginning of the application are as shown in Table 3.

Table 3. Current Scores of Trams

	Passenger Capacity	Comfort Rate	Air Conditioner	Door Number	Engine Number
Trams	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5
A_1	24	22	21	23	19
A_2	33	25	30	28	29
A_3	26	29	19	25	18
A_4	38	36	18	22	17
A_5	23	11	11	12	12
A_6	32	23	20	25	20
A_7	22	29	26	27	15
A_8	25	26	21	17	17

It is thought that the efficiency of the trams (ET) decreases as the initial performance values given in the Table 3 increase. While “0” means the best performance for each criterion; “40” represents the weakest performance.

The efficiency values of trams (ET) are calculated as in Equation (10):

$$ET_i = \sum_{j=1}^5 o_{ij} * w_j ; \quad \forall i \tag{10}$$

In this problem, the trams are classified into 5 classes called A, B, C, D and E where the best class is A. Fuzzy boundaries belonging to these classes are as given in Table 4.

Table 4. Fuzzy Boundaries Belonging to Tram Classes

Classes	Fuzzy Boundaries of Classes ($b_{j-1}^h + p_j, b_j^h$)
A	$0 + 1 < ET \leq 8$
B	$8 + 3 < ET \leq 13$
C	$13 + 2 < ET \leq 18$
D	$18 + 3 < ET \leq 24$
E	$24 + 3 < ET \leq 30$

The current efficiency classes of the trams calculated according to the intervals given in Table 4 are given in Table 5.

Table 5. Initial Efficiency Classes of Vehicles

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
ET	21,69	29,61	22,43	24,4	14,29	24,19	22,43	20,1
Classes	D	E	D	E	C	E	D	D

The improvement actions can be listed as:

1. Adding air-conditioner
2. Increasing the number of effective doors
3. Increasing engine power
4. Updating the power of engine power on the air conditioner
5. Improving the air conditioner in front of the doors

With the assumption that the improvement actions will increase the tram efficiency, the effects of the actions on the tram performance are expressed with negative values. Some actions can affect more than one criterion at the same time. The effects of the actions on the trams and the cost of each action are shown in Table 6.

Table 6. Effects of Actions on Trams Efficiency

Vehicle	E1			E2		E3			E4			E5		
	K1	K2	K3	K2	K4	K1	K4	K5	K2	K3	K5	K1	K3	K4
A1	-4	-10	-14	-20	-10	-2	-5	-13	-18	-13	-12	-8	-19	-15
A2	-11	-10	-18	-3	-7	-15	-3	-8	-6	-17	-7	-8	-7	-10
A3	-16	-18	-2	-11	-18	-6	-8	-10	-12	-16	-18	-14	-17	-14
A4	-1	-9	-20	-17	-5	-2	-1	-1	-6	-10	-7	-17	-17	-2
A5	-11	-17	-2	-12	-13	-3	-5	-3	-19	-9	-13	-9	-11	-12
A6	-15	-14	-4	-9	-15	-2	-3	-13	-4	-12	-19	-4	-17	-5
A7	-5	-10	-9	-20	-16	-2	-14	-18	-17	-17	-19	-7	-15	-16
A8	-1	-19	-1	-16	-17	-9	-19	-14	-4	-5	-14	-18	-7	-19
Cost	20			30		40			80			10		

The results obtained when the right-side values of the model constraints are solved as if they are at the lower and upper bound are as in the Table 7.

Table 7. The Results of Models

The Right-Side Values of The Model Constraints	In the Lower Bound (z_0)	In the Upper Bound (z_1)
Objective function	10	30
Decision Variables		
x_1	0	1
x_2	0	0
x_3	0	0
x_4	0	0
x_5	1	1

According to these data; the membership function of the fuzzy model's objective function can be written as in Eq. (9):

$$\mu_{c(x)} = \begin{cases} 1 & c(x) \leq 10 \\ 1 - \frac{c(x)-10}{20} & 10 \leq c(x) \leq 30 \\ 0 & c(x) \geq 30 \end{cases}$$

The new fuzzy model created according to this objective function can be written as follows:

maksimize α

$$\alpha \leq 1 - \frac{c(x)-10}{20} \quad \forall k$$

$$\alpha \leq 1 - \frac{D_i - (\sum_{j=1}^J w_j * o'_{ij})}{p_i} \quad \forall i$$

$$o'_{ij} = o_{ij} + \sum_{k=1}^K \delta_{ijk} * X_k \quad \forall i, j$$

$$x_k \in \{0,1\} \quad \forall k$$

The obtained fuzzy model has been solved by using Excel Solver and the optimum values of the problem are obtained as in Table 8.

Table 8. The Solution of the Fuzzy Model

Objective function	1
Decision Variables	
x_1	0
x_2	0
x_3	0
x_4	0
x_5	1

According to the results of fuzzy mathematical model, it was decided to choose the fifth action. And this action will allow improving the passenger capacity (K₁), air conditioner (K₃) and number of doors (K₄) criteria of the trams.

5. Conclusions

Inverse multi-criteria sorting method is used to determine the actions that will improve the status of the alternatives in the problems with ordered classes. Therefore, it can be used in many areas.

In this study, the inverse multi-criteria ranking method was used for the selection of alternatives that can improve the determined criteria in the trams belonging to the urban public transportation company. In the problem, the lower boundaries of the classes to which the trams are assigned are considered to be fuzzy and the inverse multi-criteria sorting method has been extended to solve a fuzzy mathematical model. There are five possible actions in the study which is carried out by considering five criteria in company with eight alternative trams. Then one of these possible actions are selected to improve the trams situations according to criteria.

The model proposed in this study can be developed by using different classification approaches or by determining different purposes. In addition, in the study only the lower boundaries of the classes were accepted as fuzzy variables. The model can be expanded if other parameters are also fuzzy variable.

Data Availability Statement: My manuscript has no associated data.

Contribution of researchers

Authors have equal contribution in all the sections.

Conflict of interest

The authors declared that there is no conflict of interest.

References

Aires, R.F.d.F, Ferreira, L., Araujo, A.G.d., Borenstein, D. (2018). Student selection in a Brazilian university: Using a multi-criteria method, *Journal of the Operational Research Society*, 69 (4), 528-540. DOI: <https://doi.org/10.1057/s41274-017-0242-3>

Arikan, F., Citak, S. (2017). Multiple Criteria Inventory Classification in an Electronics Firm, *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 16 (2), 315–331. DOI: <https://doi.org/10.1142/S0219622017500018>

- Ecer, B., Kabak, M., Dağdeviren, M. (2020) Goal programming model for bi-objective inverse multiple criteria sorting problem, *Journal of the Faculty of Engineering and Architectures of Gazi University*, 35(4), 1729-1736. DOI: <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.539218>
- Ecer, B., Kabak, M., Dağdeviren, M. (2022) Inverse multiple criteria sorting problem with fuzzy parameters: an application of building energy labelling improvement, *RAIRO-Operations Research*, 56(2), 689-702. DOI: <https://doi.org/10.1051/ro/2022024>
- Hasan, M., Buyuktahtakin, I.E., Elamin, E. (2019) A multicriteria ranking algorithm (MCRA) for determining breast cancer therapy, *OMEGA*, 82, 83-101, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2017.12.005>
- Mousseau, V., Ozpeynirci, O., Ozpeynirci, S. (2018). Inverse multiple criteria sorting problem, *Annals of Operations Research*, 267, 379-412. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10479-017-2420-8>
- Özpeynirci, Ö., Özpeynirci, S., Mousseau, V., (2020). An interactive approach for inverse multiple criteria sorting problem, *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, doi: 10.1002/mcda.1719. DOI: <https://doi.org/10.1002/mcda.1719>
- Parreiras, R.O., Kokshenev, I., Carvalho, M.O.M., Willer, A.C.M., Dellezopolles Jr., C.F., Nacif Jr., D.B., Santana, J.A., (2019). A flexible multicriteria decision-making methodology to support the strategic management of Science, Technology and Innovation research funding programs, *European Journal of Operational Research*, 272, 725–739. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.06.050>
- Wang, T. (2015). Decision making and modelling uncertainty for the multicriteria analysis of complex energy systems, (PhD Thesis), University of Paris Saclay, CentraleSupélec. <https://core.ac.uk/download/pdf/46813211.pdf>
- Wolters, W., Mareschal, B. (1995). Novel types of sensitivity analysis for additive MCDM methods, *European Journal of Operational Research*, 81, 281-290. DOI: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(93\)E0343-V](https://doi.org/10.1016/0377-2217(93)E0343-V)
- Zimmermann, H.J. (1985). Application of Fuzzy Set Theory to Mathematical Programming, *Information Science*, 36, 29-58. DOI: [https://doi.org/10.1016/0020-0255\(85\)90025-8](https://doi.org/10.1016/0020-0255(85)90025-8)



Journal of Turkish Operations Management

Evaluating efficiency using the technique of data envelopment analysis, case study: sales agents of Iran Khodro Company

Maryam Ebrahimi*, Kamran Yeganegi²

¹Information Technology Management, Islamic Azad University, Electronic Branch, Tehran, Iran

e-mail: mar.ebrahimi@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0003-0421-6258>

²Department of Industrial Engineering, Zanjan Branch, Islamic Azad University, Zanjan, Iran

e-mail: yeganegi@iauz.ac.ir, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0001-5837-8864>

*Corresponding Author

Article Info

Article History:

Received: 30.05.2023

Revised: 26.06.2023

Accepted: 27.06.2023

Keywords

Effectiveness of sales agents,
Iran Khodro³,
Genetic algorithm,
Data envelopment analysis

Abstract

The importance of performance measurement for organizations has been identified and it plays an important role in many of them; Because it is one of the most important ways to obtain information for decision making in organizations. A performance evaluation method should be able to present the overall situation of the organization in relation to the organization's goals at any moment; Also, the position of the organization in relation to the surrounding environment is also an indicator of the effectiveness of the activities carried out in the organization. The current research is among descriptive survey and correlational research; It is also descriptive in nature. The present research was conducted in the period of 2017-2018. The statistical population of this research is the customers of Iran Khodro dealerships. information in the form of quality indicators; after-sales service; Technology; equipment and machinery; Manpower and management methods should be investigated to investigate the performance of Iran Khodro dealerships. Based on the results of the hierarchical analysis, the variables of quality and management style were determined as the most important factors affecting the performance of agencies; Also, the results show this fact in all the scenarios examined by the quality indicators; after-sales service; Technology; equipment and machinery; Manpower and management methods have a positive and significant effect on the level of customer satisfaction and loyalty.

مقدمه

کیفیت و رضایت مشتری، مهمترین مسئله رقابتی در سال 1990 و پس از آن شناخته شده است (زین الدین، 2004). خدمت به مشتری از قدیمی‌ترین و در عین حال جزء تازه‌ترین مسائل برای هر سازمان است. خدمت، نتیجه تلاش فرد برای دیگران است که به صورت کار، فرایند یا ایفای نقش ظاهر می‌شود. ارائه خدمات مناسب موجب حفظ مشتری و رضایت مشتری از خدمات، موجب توصیه محصول به وسیله مشتری به دیگران می‌شود. این یک ارزش است که بتوان بوسیله تبلیغات مثبت مشتریان، موجبات فروش جدید برای شرکت را فراهم کرد (رنجبران و همکاران، 1381). از این طریق سازمان استراتژی‌های خود را در زمینه خدمات پس از فروش بهبود بخشد. در این راستا، عملکرد سازمان‌ها نقش اساسی و مهمی در تدوین این استراتژی‌ها ایفا می‌کند. بهبود مستمر عملکرد سازمان‌ها، نیروی هم افزایی ایجاد می‌کند که این نیروها می‌تواند پشتیبان برنامه رشد و توسعه و ایجاد فرصت‌های تعالی سازمانی شود. این مهم بدون

اندازه‌گیری و ارزیابی عملکرد آنان امکان‌پذیر نیست. اندازه‌گیری عملکرد، زیربنایی برای انجام عملیات بهبود و توسعه سازمان‌ها است. زمانی که مدیران از عملکرد خود اطلاعی نداشته باشند نمی‌توانند ظرفیت‌های استفاده نشده و بالقوه خود را درک کنند؛ بنابراین، جهت اطلاع از ظرفیت‌های موجود و یا استفاده نشده بایستی عملکرد، اندازه‌گیری و ارزیابی گردد تا از طریق آن مدیران بتوانند استراتژی‌های مناسب و مورد نیاز سازمان را در جهت رسیدن به اهداف و چشم انداز خود تدوین و عملیاتی سازند. ارزیابی عملکرد برای مدیران به عنوان یکی از معیارها و شاخص‌های مقایسه سازمان به حساب می‌آید به نحوی که باعث شده بعضی از تحقیقات آن‌ها به سوی یافتن روش‌های نوین جهت ارائه مدل‌های مناسب ارزیابی عملکرد منعطف گردد. از طرفی دیگر، صنعت خودروسازی هر کشور، به دلیل ارزش و جایگاه ویژه آن در شبکه تولید صنعت و خدمات پس از فروش، یکی از شاخص‌های توسعه یافتگی تلقی می‌شود. در ایران، صنعت خودروسازی، صنعتی کلیدی بشمار می‌آید و تأثیری مهم در روند رشد و شکوفایی بخش‌ها و دیگر صنایع کشور دارد (فام و همکاران، 1388). یکی از دغدغه‌های اصلی مدیران خودروسازی بقا و رشد در بازار رقابتی پویاست. شرکت ایران خودرو با ارائه خدمات پس از فروش، سعی در کسب بازاری مستقل برای خود است.

مطالعه ادبیات

با تحولاتی که در صحنه واردات خودرو پیش آمده است، صنایع خودروسازی با چالش‌های جدی در حفظ بازارهای موجود، مواجه خواهند بود. کیفیت و قیمت خودرو دو عاملی است که می‌تواند این صنعت را مورد تهدید قرار دهد. در کنار این عوامل، خدماتی که مشتری پس از خرید خودرو دریافت می‌کند، سهم بسزایی در وضعیت تجاری آن‌ها خواهد گذاشت. در حال حاضر، نمایندگی‌های موجود پتانسیل لازم را در برآورده ساختن نیازها و رضایت مشتریان ندارد. ارزیابی عملکرد آن‌ها ابزاری است که نقاط ضعف و قوت نمایندگی‌ها را مشخص می‌نماید و راهکارهای مناسب را جهت کارا نمودن آن‌ها ارائه می‌کند. در نتیجه فضای رقابتی در راستای بهبود مستمر و ارتقای سطح توانمندی‌های فنی و تخصصی را ایجاد می‌نماید. .

عسگری و زمانی منش (1394)؛ به بررسی تأثیر عوامل درون سازمانی و شاخص‌های هر یک بر بهره‌وری شرکت خودروسازی ایران خودرو، پرداختند. روش این تحقیق بر مبنای نحوه جمع‌آوری اطلاعات از نوع توصیفی-پیمایشی و از نظر هدف کاربردی می‌باشد. نمونه آماری تحقیق حاضر، 108 نفر از مدیران و کارشناسان بهره‌وری شرکت ایران خودرو و روش نمونه‌گیری آن تصادفی ساده می‌باشد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و تجزیه و تحلیل فرضیه‌های تحقیق از آزمون‌های آماری شامل آزمون نرمال بودن و دو جمله‌ای استفاده گردید. در نرم افزار SPSS استفاده شده است. نتایج این پژوهش داد که تمامی متغیرهای مربوط به نهاده (تکنولوژی، محصول، تجهیزات و ماشین‌آلات، مواد و انرژی)، ستانده (کیفیت، نوآوری در محصول، بسته‌بندی و خدمات پس از فروش) و فرآیند (نیروی انسانی، روش‌های کار، سیستم‌های سازمانی و شیوه مدیریت) بر بهره‌وری شرکت ایران خودرو تأثیر مثبت و معنادار دارد.

شاداب (1394)؛ در تحقیقی به بررسی بررسی کارایی شعب بانک مهر اقتصاد با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) و رتبه‌بندی سلسله مراتبی (AHP)، پرداخته‌اند. بر اساس نتایج تکنیک

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی با کاهش تعداد متغیرهای ورودی و خروجی کم اهمیت مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها دقت مدل را بالا برد. در این تحقیق، با استفاده از تکنیک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی شاخص‌ها وزن‌دهی شده‌اند و با حذف شاخص‌های ورودی و خروجی با وزن کمتر از 0/02 متغیرها به تعداد سه متغیر ورودی (تعداد پرسنل، هزینه‌های شعبه، دارایی‌های شعبه) سه متغیر خروجی (مجموع سپرده‌ها، مجموع تسهیلات اعطایی، درآمد شعبه) کاهش یافته‌اند. در این تحقیق به مقایسه کارایی دو مدل تحلیل پوششی داده‌های سنتی و روشی تحلیل پوششی داده‌های مبتنی بر افزودن واحدهای ایده‌آل مجازی و منفی پرداخته شده است. نتایج نشان می‌دهد که افزودن دو واحد ایده‌آل مجازی مثبت و منفی به افزایش دقت مدل تحلیل پوششی داده‌ها می‌افزاید.

حیدری پیربستی (1394)؛ در تحقیق خود اقدام به شبیه‌سازی DEA در GA جهت تحلیل فرآیند کارایی 25 واحد اقتصادی که قبلاً کارایی آن‌ها در مدل CCR محاسبه شده است، استفاده می‌کنیم. هدف این تحقیق کارایی فنی شرکت‌های لیزینگ با به کارگیری روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)، مبتنی بر الگوریتم ژنتیک است. نتایج عددی حاصل از اجرای مدل‌ها نشان می‌دهد که الگوریتم GA امکان حل مسائل بهینه‌سازی را در مدل CCR با رویکرد خروجی محور با اختصاص بهترین ضرایب برای موزون کردن وزن ورودی‌ها و خروجی‌ها را دارا می‌باشد.

رهنما و همکاران (1394)؛ با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها به ارزیابی کارایی 25 نمایندگی غرب استان مازندران پرداخت و در آخر واحدهای کارا و ناکارا را از هم متمایز نمود. بر اساس نتایج تحقیق کیفیت ارائه خدمات مهم‌ترین خروجی و تعداد مشتریان مهم‌ترین ورودی جهت بررسی کارایی واحدهای تحت بررسی بود.

گونزالز پادرن و همکارانش (2014)؛ تحقیقی با عنوان «تعیین معیار بهره‌وری کارکنان فروش در نمایندگی‌ها با استفاده از تحلیل پوششی داده‌های گسترش یافته» انجام دادند. در این پژوهش از یک سری مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های گسترش یافته و پایه‌ای در جمع‌آوری داده‌های مالی و اطلاعات آماری برای ارزیابی کارایی فروش استفاده گردید و نتایج آن با کارایی معیارهای سنتی مقایسه گردید. تلفیق این مدل نشان می‌دهد که تولیدکنندگان بایستی یک دید کلی در تخصیص کارکنان فروش به منظور افزایش کارایی فروش ایجاد نمایند و از روند مکمل تعیین معیار نرخ مالی سنتی در تعیین بهترین تجهیزات استفاده نمایند.

پررز و همکاران (2012)؛ در یک مدل تحلیل پوششی داده‌ها برای اندازه‌گیری کارایی اقتباسی بخش هتل DEA از شاخص‌های 1- هزینه عملیاتی، 2- هزینه کارکنان 3- استهلاک 4- هزینه‌های مالی به عنوان شاخص ورودی و از شاخص‌های به عنوان خروجی 1- درآمد عملیاتی 2- درآمد حاصل از هر اتاق 3- وجه نقد در تعادل استفاده نمود. بر اساس نتایج کارایی بر حسب هزینه و درآمد عملیاتی نسبت به سایر شاخص‌ها از کارایی بالاتری برخوردار است.

زو (2011)؛ به ارزیابی عملکرد شرکت‌های هواپیمایی با استفاده از مدل DEA پرداخت. متغیرهای 1- هزینه هر صندلی در دسترس 2- حقوق هر صندلی در دسترس 3- دستمزد هر صندلی در دسترس 4- مزایای هر صندلی در

دسترس 5-هزینه سوخت در هر صندلی در دسترس به عنوان هزینه و از شاخص‌های 1- درآمد حاصل از مسافر در هر مایل 2- درآمدهای مسافربری به عنوان خروجی بهره برد.

روش شناسی پژوهش

این پژوهش از حیث هدف از نوع کاربردی و از حیث مطالعه، یک مطالعه توصیفی از نوع پیمایشی می‌باشد به طوری که برای اثبات فرضیه‌های تحقیق و تحقق یافته‌ها، از نظر سنجی استفاده خواهد شد؛ همچنین مبنای نوع داده‌های گرد آوری شده از نوع کمی می‌باشد.

روش تحلیل پوششی داده‌ها یکی از بهترین روش‌های موجود در جهت تعیین کارایی نسبی واحدهای تصمیم‌گیری محسوب می‌شود. این روش ناپارامتریک علاوه بر سهولت نسبی اجراء، رتبه‌بندی‌های مناسب و قابل اعتمادی را به همراه نقاط ضعف و همچنین پیشنهادهایی برای رفع هر یک از آن‌ها را برای هر واحد ناکارا ارائه می‌دهد. مزیت قابل توجه تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها عدم نیاز آن به تعیین مشخصات پارامتریک (همچون تابع تولید) برای به دست آوردن امتیازات کارایی است، به تعبیر دیگر تحلیل پوششی داده‌ها به عنوان یک ابزار استوار در ارزیابی کارایی مجموعه‌ها و سازمان‌های تجاری و اقتصادی به کار می‌رود، شناخته می‌شود که معیار واحدی از کارایی برای هر واحد نسبت به همتایان فراهم می‌کند. این تکنیک یک روش مبتنی بر تجربه می‌باشد که نیازی به مفروضات و محدودیت‌های سنتی سنجش کارایی ندارد از زمان معرفی، این روش به طور گسترده در تمام سازمان‌ها اعم از انتفاعی و غیرانتفاعی و... استفاده شده است اگر یک واحد تصمیم‌گیری تنها دارای یک نهاد و یک ستاده باشد کارایی این واحدها از طریق تقسیم ستاده به نهاد به دست می‌آید در حالی هم که نهاد و ستاده‌های چندگانه وجود داشته باشد. در صورت وجود قیمت (ارزش) هر یک از نهادها و ستاده‌ها می‌توان از طریق تقسیم مجموع وزنی ستاده‌ها به مجموع وزنی نهادها کارایی را مشخص کرد؛ اما با توجه به اینکه در این روش مشکلات وزندهی می‌تواند موجب انحراف نتایج شود به کمک روش الگوریتم ژنتیک و با تأکید بر روش انبوه ذرات که موجب تعدیل عامل وزندهی در روش DEA می‌شود سعی در ارتقای نتایج خواهیم داشت. این روش در راستای ارتقای نتایج روش DEA تابع فاصله (تفاوت داده پیش‌بینی شده از آنچه باید باشد نه آنچه که هست) را حذف می‌کند و نگرانی‌های ذهنیت را کاهش می‌دهد و همچنین چارچوبی برای آسان‌سازی را برای تصمیم‌گیرندگان فراهم می‌کند.

روش گردآوری داده‌ها

اطلاعات مربوط به بررسی مبانی نظری و ادبیات موضوع از طریق مطالعه کتابخانه‌ای و جستجو اینترنتی جمع‌آوری گردیده است و اطلاعات مربوط به داده‌های تحقیق توسط پرسشنامه جمع‌آوری خواهد شد. در روش کتابخانه‌ای، ابتدا کلید واژه‌های تحقیق بر اساس موضوع تعیین خواهد شد. سپس با جستجو در کتابخانه، پایگاه اطلاعاتی، کتاب‌ها، مقالات پژوهشی و پایان‌نامه‌هایی که مرتبط با موضوع بوده است انتخاب شده در مرحله بعد با فیش‌برداری از این مقالات و پایان‌نامه‌ها، مرتبطترین آن‌ها انتخاب و نیاز چارچوب نظری و متدولوژی تحقیق بر اساس تحقیقات صورت گرفته، شناسایی گردید.

جامعه آماری، روش نمونه‌گیری و حجم نمونه جامعه مورد بررسی شامل تمامی نمایندگی‌های فعال در شرکت ایران خودرو است. نمونه تحقیق حاضر شامل نمایندگی‌های فروش ایران خودرو فعال در شهر تهران است.

روش

یک مجموعه با n واحد تصمیم گیرنده (DMU) را در نظر بگیرید که هر DMU_j ($j=1, \dots, n$) از m ورودی x_{ij} ($i=1, \dots, m$) برای تولید s خروجی y_{rj} ($r=1, \dots, s$) استفاده می‌کند. فرض کنید بردارهای ورودی و خروجی برای هر DMU_j که $j=1, \dots, n$ به صورت (x_j, y_j) نمایش داده شود، به طوری که برای هر j ، مؤلفه‌های این بردار نامنفی باشند و حداقل یک مؤلفه‌ی هر بردار ورودی و حداقل یک مؤلفه‌ی هر بردار خروجی مثبت باشد. مجموعه‌ی هم‌ه‌ی (x, y) های شدنی را مجموعه‌ی امکان تولید (PPS) نامیده و با T نشان می‌دهند که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$T = \{(x, y) \mid \text{ورودی } x \text{ بتواند خروجی } y \text{ را تولید کند}\}$$

مجموعه‌ی امکان تولید با بازده به مقیاس متغیر به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$T_v = \left\{ (x, y) \mid x \geq \sum_{j=1}^n x_j \lambda_j, y \leq \sum_{j=1}^n y_j \lambda_j, \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \lambda_j \geq 0, j = 1, \dots, n \right\}$$

بنکر، چارنر و کوپر مدل BCC را برای ارزیابی کارایی یک DMU به صورت زیر معرفی کردند:

$Min \theta$

$$s.t. (\theta x, y) \in T$$

که با استفاده از تعریف PPS منجر به مدل زیر خواهد شد که مدل BCC در ماهیت ورودی نامیده می‌شود:

$Min \theta$

$$s.t. \begin{aligned} \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} & \leq \theta x_i, & i = 1, \dots, m, \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} & \geq y_r, & r = 1, \dots, s, \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j & = 1, \\ \lambda_j & \geq 0, & j = 1, \dots, n, \end{aligned} \quad (1)$$

می‌توان نشان داد که این مدل با مدل جهت دار با جهت θ می‌توان نشان داد که این مدل با مدل جهت دار با جهت θ θ free.

$$\text{که در آن } \mathbf{1} \in R^m \text{ و } \mathbf{0} \in R^s \text{ معادل است. روش} \quad \begin{pmatrix} \mathbf{d}^x \\ \mathbf{d}^y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 \\ \mathbf{0} \end{pmatrix}$$

معمول برای تصویر DMU تحت ارزیابی بر روی مرز کارایی استفاده از مدل دو مرحله‌ای است. در مرحله‌ی اول مدل I ، حل می‌شود و در مرحله‌ی دوم مدل زیر حل می‌شود.

2

$$\begin{aligned} \text{Max} \quad & \sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \\ \text{s.t.} \quad & s_i^- = \theta^* x_{io} - \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \quad i = 1, \dots, m, \\ & s_r^+ = \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{ij} - y_{ro} \quad r = 1, \dots, s, \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \end{aligned}$$

که در آن θ^* مقدار بهینه‌ی مدل (1)، است. حال مختصات تصویر DMU_o از روابط زیر محاسبه می‌شود.

$$\hat{x}_{io} = \sum_{j=1}^n \lambda_j^* x_{ij} = \theta^* x_{io} - s_i^{-*} \quad i = 1, \dots, m,$$

فرض کنید $(\theta^*, \lambda^*, s^{-*}, s^{+*})$ جواب بهینه‌ی مدل دو مرحله‌ای باشد. اگر در مرحله‌ی اول $\theta^* = 1$ و در مرحله‌ی دوم همه‌ی متغیرهای کمکی صفر باشند یعنی $(s^{-*}, s^{+*}) = \mathbf{0}$ ، آنگاه DMU_o تحت ارزیابی را $BCC -$ کارا (کارای قوی) گویند. یکی دیگر از مدل‌هایی که در DEA معرفی شده است مدل جمعی نام دارد. این مدل مستقل از ماهیت است و به صورت زیر فرمول بندی می‌شود:

3

$$\begin{aligned} \text{Max} \quad & \sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- = x_{io} \quad i = 1, \dots, m, \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{ij} - s_r^+ = y_{ro} \quad r = 1, \dots, s, \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \end{aligned}$$

مدل جمعی عددی برای کارایی به دست نمی‌دهد و فقط تشخیص می‌دهد که DMU_o تحت ارزیابی کارا هست یا نه. برخلاف مدل (1)، نحوه‌ی حرکت در مدل جمعی به صورت غیرشعاعی و در راستای کاهش مولفه‌های ورودی و افزایش مولفه‌های خروجی است. می‌توان نشان داد این مدل با

حالت خاصی از مدل جهتدار با جهت $\begin{pmatrix} \mathbf{d}^x \\ \mathbf{d}^y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 \\ \mathbf{1} \end{pmatrix}$ معادل است که در آن $\mathbf{1} \in R^m$ و $\mathbf{1} \in R^s$ ، DMU_o ، ADD -کاراست اگر در حل مدل (3-3) مقدار بهینه‌ی تابع هدف صفر باشد.

برای حل معادلات در یک مدل DEA لازم است مراحل ذیل طی گردد:

مرحله اول: معادله‌ی هم‌بندی ابرصفحه‌های کارایی قوی سازنده‌ی PPS را توسط روش ارائه شده را به دست آورید.

مرحله دوم: به کمک رابطه‌ی $\theta_p = \frac{u_p y_o - u_{0p}}{v_p x_o}$ ($p=1, \dots, t$) که t تعداد ابرصفحه‌های قوی و سازنده‌ی PPS است، کارایی نسبی DMU_o را توسط وزن‌هایی که متناظر با ضرایب ابرصفحه‌های قوی سازنده- PPS هستند، به دست آورده، قرار دهید:

$$\theta^* = \max_{p=1, \dots, t} \{\theta_p\}$$

مرحله سوم: ابرصفحه‌هایی را که به ازای آن‌ها $\theta_p = \theta^*$ ، در مجموعه‌ی H قرار دهید. (H مجموعه‌ی ابرصفحه‌های کارا و سازنده از PPS می‌باشد که ضرایب آن متناظر با وزن‌هایی هستند که بیشترین کارایی را به DMU_o اختصاص می‌دهند) فرض کنید:

$$H = \{H_1, \dots, H_h\} \quad h \leq t$$

مرحله چهارم: به کمک معادله‌ی ابرصفحه‌های H_1, \dots, H_n ، DMU هایی را که روی هر یک قرار دارند بیابید و آن‌ها را به ترتیب در مجموعه‌های M_{H_1}, \dots, M_{H_n} قرار دهید (M_{H_L} ($L=1, \dots, h$)) مجموعه‌ی اندیس DMU های کارایی است که مختصات آن‌ها در ابرصفحه‌ی H_L صدق می‌کنند).

مرحله پنجم: برای به دست آوردن جهت‌های بهینه، (جهت‌هایی که با کمترین فاصله، DMU_o را بر ابرصفحه‌ای با ضرایب متناظر با وزن‌های بهینه برای DMU_o تصویر کند) مدل زیر را به ازای $h, \dots, 1=L$ حل کنید:

$$\begin{aligned} s_L = \text{Min} \quad & \sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{j \in M_{H_L}} \lambda_j x_{ij} = x_{io} - s_i^-, \quad i = 1, \dots, m, \\ & \sum_{j \in M_{H_L}} \lambda_j y_{rj} = y_{ro} + s_r^+, \quad r = 1, \dots, s, \\ & \sum_{j \in M_{H_L}} \lambda_j = 1, \\ & \lambda_j \geq 0, \quad j \in M_{H_L}, \\ & s_i^- \geq 0, \quad i = 1, \dots, m, \\ & s_r^+ \geq 0, \quad r = 1, \dots, s. \end{aligned} \quad (4)$$

و قرار دهید:

$$s^* = \text{Min}_{L=1, \dots, h} \{s_L\}$$

مرحله ششم: جهت‌های بهینه به صورت زیر به دست می‌آیند:

$$\bar{g}^x = \sum_{j \in M_{H_L}^*} x_{ij} \lambda_j - x_{io} = -\bar{s}_i^- \quad i = 1, \dots, m$$

$$\bar{g}^y = \sum_{j \in M_{H_L}^*} y_{rj} \lambda_j - y_{ro} = \bar{s}_r^+ \quad r = 1, \dots, s$$

که در آن، $M_{H_L}^*$ مجموعه‌ی مراجعی هستند که در حل مدل متناظر آن‌ها، $s^* = s_L$ مجموعه‌ی $M_{H_L}^*$ (یا ابرصفحه‌ی متناظر با آن) ممکن است منحصر به فرد نباشد، یعنی بیش از یک ابرصفحه با شرایط مذکور می‌نیم فاصله تا DMU_o را داشته باشد.

در مدل ارائه شده در مرحله‌ی پنجم، چون $j \in M_{H_L} (L=1, \dots, h)$ ، و از آنجا که اعضای M_{H_L} همگی بر یک ابرصفحه‌ی قوی سازنده‌ی PPS واقعدند، تنها زمانی تابع هدف می‌تواند صفر شود که DMU_o نیز روی این ابرصفحه قرار داشته باشد، یعنی اگر $(\lambda_j^*, s_i^{*-}, s_r^{*+})$ جواب بهینه‌ی به دست آمده از مدل (4)، باشد به طوری که برای $i=1, \dots, m$ و $r=1, \dots, s$ و $s_i^{*-} = 0$ و $s_r^{*+} = 0$ آنگاه:

$$\begin{aligned} \sum_{j \in M_{H_L}^*} \lambda_j x_{ij} &= x_{io} \quad i = 1, \dots, m \\ \sum_{j \in M_{H_L}^*} \lambda_j y_{rj} &= y_{ro} \quad r = 1, \dots, s \end{aligned} \quad (5)$$

که با توجه به این که $\sum_{j \in M_{H_L}} \lambda_j^* = 1$ و $\lambda_j^* \geq 0 (j \in M_{H_L})$ ، دو تساوی (3-5)، بیان می‌کنند که DMU_o با ترکیب محدب DMU_j های $(j \in M_{H_L})$ ساخته می‌شود که همگی روی ابرصفحه‌ی H_L واقعدند. اگرچه ظاهر مدل (3-4)، شبیه به مدل جمعی با تابع هدف می‌نیم می‌باشد، ولی چون مجموعه‌ی DMU های مشاهده شده ای که در این مدل در نظر گرفته می‌شوند بجای $j=1, \dots, n$ می‌باشند و اعضای $M_{H_L} (L=1, \dots, h)$ همگی بر یک ابرصفحه واقعدند؛ لذا نتیجه‌ی به دست آمده از حل این مدل با آنچه از حل مدل جمعی با تابع هدف می‌نیم‌سازی به دست می‌آید متفاوت خواهد بود. هر ترکیب محدب از DMU های واقع بر یک ابرصفحه، در ناحیه محدب ایجاد شده توسط همین DMU ها و در نتیجه روی ابرصفحه‌ی متعلق به آن‌ها، واقع خواهد شد. علاوه بر این، به دلیل وجود اصل امکان‌پذیری در اصول PPS ، ممکن است تصویر DMU مورد ارزیابی با ترکیبی از اعضای M_{H_L} ، اما در نقطه‌ای خارج از ناحیه‌ی محدود شده توسط ترکیب محدب این اعضا تصویر شود. در این صورت ممکن است تصویر خارج از PPS بر ابرصفحه‌ی مذکور تصویر شود که غیر قابل قبول خواهد بود؛ لذا برای اطمینان از اینکه تصویر DMU مورد ارزیابی حتماً در ناحیه‌ی محدود شده توسط ترکیب محدب اعضای M_{H_L} تصویر شود، قید $\lambda_j \geq 0 (j \in M_{H_L})$ را نیز به مدل می‌افزائیم.

فرض کنید $(\lambda_j^*, s_i^-, s_r^+)$ جواب بهینه‌ی به دست آمده از مدل (4)، باشد. طبق تعریف تصویر، مختصات تصویر به دست آمده از حل این مدل، به صورت زیر است:

$$\hat{x}_{io} = \sum_{j \in M_{HL}} \lambda_j^* x_{ij} = x_{io} - s_i^-, \quad i = 1, \dots, m,$$

$$\sum_{j \in M_{HL}} \lambda_j^* = 1 \quad \text{و} \quad \lambda_j^* \geq 0$$

که در آن $\lambda_j^* \geq 0$ و $\sum_{j \in M_{HL}} \lambda_j^* = 1$ به عبارتی دیگر $(\hat{x}, \hat{y}) = (\sum_{j \in M_{HL}} x_{ij} \lambda_j^*, \sum_{j \in M_{HL}} y_{rj} \lambda_j^*)$ ، به طوری که $\sum_{j \in M_{HL}} \lambda_j = 1, \lambda_j \in [0, 1]$ یعنی (\hat{x}, \hat{y}) ترکیب محدب اعضای M_{HL} می‌باشد، لذا برخلاف مدل جمعی (با تابع هدف می‌نییم)، در این جا تصویر نمی‌تواند بر مرز ضعیف واقع شود، چون در واقع در مدل (4) ناحیه‌ی PPS، تنها ناحیه‌ی محدب ایجاد شده توسط همین DMUها است.

یافته های پژوهش

در محیط کسب و کار کنونی، سازمان‌ها به منظور کسب قدرت بیشتر در رقابت‌های جهانی، تلاش می‌کنند تا کارایی خود را به طور مستمر بهبود دهند. به بیان دیگر، مسائل ناشی از افزایش رقابت و پیچیدگی محیط، شرکت‌ها را به فکر استفاده از روش‌های کارا تر و مؤثرتری در اداره امورشان انداخته است. بنا به این دلایل، ارزیابی عملکرد مهم‌ترین وظایف مدیریت شناخته شده و شاخص‌های گوناگونی برای معیار عملکرد سازمان‌ها مطرح شده است. ارزیابی عملکرد فرآیندی است که به سنجش و اندازه‌گیری، ارزش‌گذاری و قضاوت درباره‌ی عملکرد سازمان در دوره‌ی معینی می‌پردازد و چنانچه با دیدگاه فرآیندی و به طور صریح و مستمر انجام گیرد، موجب ارتقای عملکرد سازمان‌ها می‌شود. بر این اساس در تحقیق حاضر اقدام به ارزیابی عملکرد نمایندگی‌های ایران خودرو و منتخب شهر تهران با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای شد.

بر اساس مطالعات گذشته، ادبیات پژوهش و مصاحبه‌های انجام شده در مجموع 8 زیرمعیار شناسایی شد. در این گام ابتدا با استفاده از تکنیک دلفی به غربال 8 زیرمعیار پرداخته شده است تا معیارهایی که از اهمیت و تناسب بیشتری برخوردار هستند انتخاب شوند.

جدول شماره 1: خلاصه نتایج مرحله نهایی تکنیک دلفی

معیارها	زیرمعیارها	1 کارشناس	2 کارشناس	3 کارشناس	4 کارشناس	5 کارشناس	6 کارشناس	7 کارشناس	8 کارشناس	9 کارشناس	10 کارشناس	میانگین

3/5	4	4	3	3	4	3	3	3	4	4	خدمات پس از فروش	ورودی
4	4	4	4	4	5	4	3	4	4	4	شیوه مدیریت	
3/7	4	4	4	4	3	4	4	4	3	3	سطح رضایت مشتریان	خروجی
3/7	4	3	3	4	4	4	4	3	4	4	سطح وفاداری مشتریان	

در نهایت 4 شاخص باقی مانده در مرحله دوم مجدداً همگی امتیاز بالای 3 کسب کرده‌اند. بنابراین تکنیک دلفی متوقف شده و شاخص‌های شناسایی شده برای تحلیل نهایی مورد استفاده قرار گرفته است.

مقدار کارایی با توجه به مدل تعریف شده در جدول شماره (2)، آمده است. علاوه بر مقدار کارایی، نوع آن هم در این جدول قابل مشاهده است. با توجه به خروجی نرم افزار که در جدول شماره (2)، آمده است کارایی هر DMU با استفاده از روش NDEA قابل مشاهده است.

جدول شماره 2: کارایی واحدها

	میزان کارایی	نوع کارایی
DMU1	1	کارای قوی
DMU2	0.509	ناکارا
DMU3	1	کارای قوی
DMU4	0.253	ناکارا
DMU5	0.567	ناکارا
DMU6	1	کارای قوی
DMU7	0.665	ناکارا
DMU8	0.638	ناکارا
DMU9	0.35	ناکارا
DMU10	0.693	ناکارا
DMU11	0.428	ناکارا
DMU12	1	کارای قوی
DMU13	0.745	ناکارا
DMU14	0.407	ناکارا
DMU15	0.277	ناکارا
DMU16	0.323	ناکارا
DMU17	0.277	ناکارا
DMU18	0.523	ناکارا
DMU19	0.68	ناکارا
DMU20	0.849	ناکارا

DMU21	1	کارای قوی
DMU22	0.562	ناکارا
DMU23	0.61	ناکارا

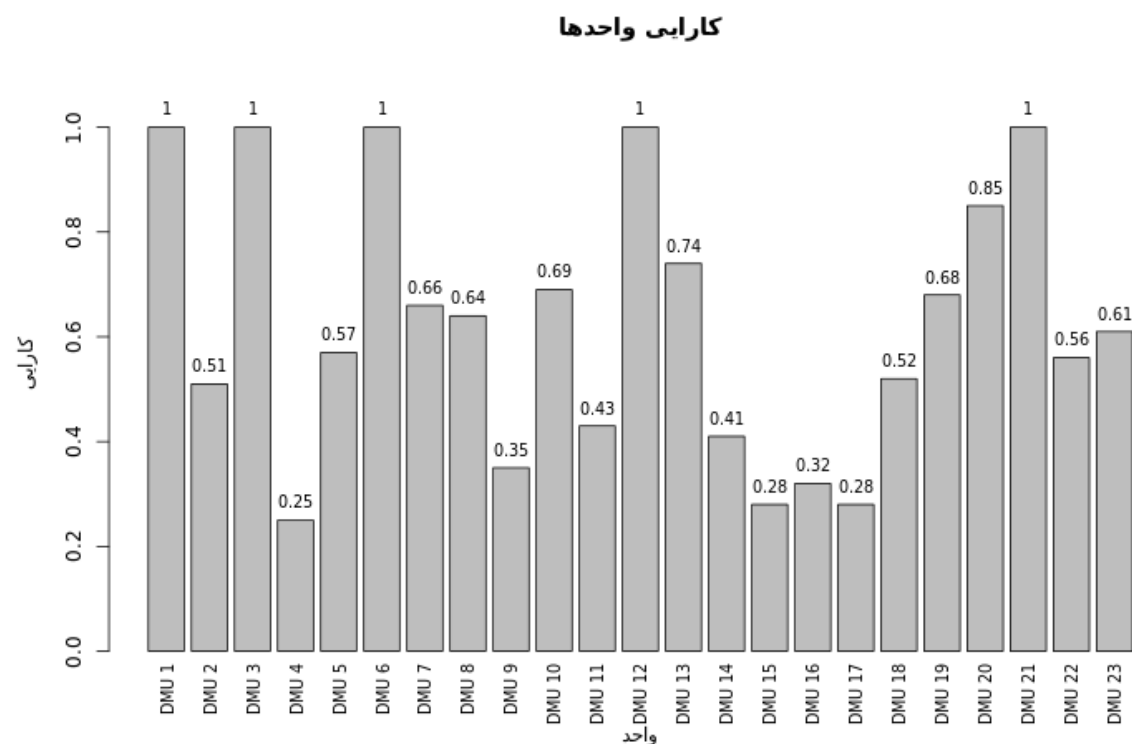
اگر کارایی واحدی کمتر از 1 باشد ناکارا است.

اگر کارایی واحدی برابر 1 بوده و کمبودی در خروجی و مازادی در ورودی نداشته باشد کارای پاراتو است.

اگر کارایی واحدی برابر 1 بوده و کمبودی در خروجی یا مازادی در ورودی داشته باشد کارای ضعیف است.

بر اساس نتایج جدول شماره (2)، مشاهده که نمایندگی‌های شماره DMU_1 ، DMU_3 ، DMU_6 ، DMU_{12} ، DMU_{21} دارای بالاترین کارایی هستند.

لازم بذکر است سایر نمایندگی‌های ناکارا می‌باشند. با توجه به نتایج جدول نمایندگی DMU_4 در بدترین وضعیت کارایی قرار دارد. بر اساس نتایج جدول فوق، 7 نمایندگی به صورت نسبی دارای ناکارایی نسبی (زیر 50 درصد) هستند. به عبارتی این نمایندگی‌ها تناسب خوبی مابین ورودی‌ها و خروجی‌ها خود نتوانسته است ایجاد کنند. نمودار شماره (1)؛ هم این مقادیر کارایی نمایندگی‌های مذکور را نشان می‌دهد:



نمودار شماره 1: کارایی واحدها

در جدول شماره (3)، واحدهای با کارایی 1 را با مدل اندرسون-پیترسون رتبه‌بندی شده اند.

جدول شماره 3: مرجع واحدها

	peer1	peer2	peer3
DMU1	1	-	-
DMU2	1	6	-
DMU3	3	-	-
DMU4	3	-	-
DMU5	1	3	12
DMU6	6	-	-
DMU7	1	3	6
DMU8	6	21	-
DMU9	3	6	21
DMU10	6	21	-
DMU11	1	3	12
DMU12	3	12	-
DMU13	1	3	12
DMU14	1	3	12
DMU15	1	3	12
DMU16	1	3	6
DMU17	1	3	6
DMU18	1	3	6
DMU19	6	21	-
DMU20	3	6	21
DMU21	21	-	-
DMU22	1	3	6
DMU23	1	3	6

با توجه به نتایج حاصل از پژوهش و بر اساس اطلاعات درج شده در جدول شماره (3)، گروه‌ای کارایی که می‌توان آن‌ها را مرجع گروه‌های ناکارا معرفی نمود، DMU_1 ، DMU_3 ، DMU_6 ، DMU_{12} و DMU_{21} ذکر شده است. چرا که این واحدها توانسته‌اند در دوره اول یا دوم یا سوم به همتای خود دست یابند؛ اما سایر واحدها نتوانسته‌اند چنین شرطی را برآورده نمایند. به عنوان مثال DMU_1 در مرحله اول به همتای خود که عدد یک است رسیده؛ اما DMU_2 پس از دو دور چرخش یکبار واحد 1 و بار دیگر واحد 6 را به عنوان الگو جهت دست یافتن به کارایی انتخاب نموده است. بدیهی است که هر کدام از گروه‌های ناکارا با الگو قرار دادن گروه مرجع پیشنهادی قادر به بهبود کارایی خود خواهند بود. همچنین جدول شماره (4)، نشان می‌دهد که هر واحد مرجع چند بار تکرار شده است.

جدول شماره 4: تعداد مرجع شدن

نام واحد	تعداد مرجع شدن
1	13
3	16
6	13
12	6
21	6

جدول شماره (4)، مشخص می‌کند که هر یک از گروه‌های کارا برای چند گروه ناکارا به عنوان الگو معرفی می‌شوند. هر چه این تعداد بیشتر باشد، معرف بهتری برای عملکرد آن گروه مرجع خواهد بود. بر اساس نتایج جدول شماره (4)، مشاهده می‌گردد که DMU_3 بیش از سایر واحدهای کارا (DMU_1)، DMU_6 ، DMU_{12} و DMU_{21}) الگوی سایر واحدهای ناکارا برای بهبود کارایی قرار گرفته است. به عبارتی DMU_3 بهترین واحد مرجع برای سایر واحدهای ناکارا بوده است. به واحد فرضی که روی مرز کارایی قرار دارد (به عبارتی کارایی آن برابر 1 شود) و زیر واحد مورد بررسی باید آنقدر تغییر نماید که در سطح واحد کارا قرار گیرد. این واحد کارا که ملاک مقایسه واحدهای ناکارا قرار می‌گیرد، را متغیر مجازی گفته می‌نامند.

جدول شماره (5)، مقادیر متغیرهای کمکی و مصنوعی مدل اولیه را نشان می‌دهد

جدول شماره 5: مقادیر متغیرهای کمکی

DMU9	DMU8	DMU7	DMU6	DMU5	DMU4	DMU3	DMU2	DMU1	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	محدودیت 1
0.146	0.727	0	0.95	0	6.287	0.967	0	0	محدودیت 2
0.739	2.183	0.526	2.855	0.593	10.4	1.6	0.491	0.742	محدودیت 3
0	1.537	0	2.01	0	0	0	0.488	0.739	محدودیت 4
0.138	0.334	0.149	0.437	0.184	0.747	0.115	0.162	0.245	محدودیت 5
0.531	2.056	0.387	2.689	0.433	6.965	1.072	0.523	0.791	محدودیت 6
0	0	0	0	0.028	1.601	0.246	0	0	محدودیت 7
0.475	1.634	0.335	2.136	0.398	8.004	1.231	0.382	0.577	محدودیت 8
0.223	0.362	0.255	0.474	0.344	2.467	0.379	0.229	0.346	محدودیت 9
0.65	1.705	0.627	2.229	0.768	5.886	0.906	0.665	1.006	محدودیت 1
0.082	0.097	0.107	0.127	0.148	0.688	0.106	0.098	0.149	محدودیت 1
0.629	2.104	0.445	2.752	0.483	7.924	1.219	0.491	0.743	محدودیت 1
0.706	4.533	0.18	5.928	0	11.524	1.773	0.656	0.992	محدودیت 1
0.669	3.365	0.28	4.401	0.193	10.495	1.615	0.525	0.794	محدودیت 1
0.457	1.658	0.293	2.168	0.296	5.804	0.893	0.342	0.517	محدودیت 1
0.833	3.173	0.507	4.15	0.479	9.918	1.526	0.622	0.942	محدودیت 1
0.26	0.651	0.249	0.852	0.305	2.393	0.368	0.253	0.383	محدودیت 1
0.645	1.959	0.531	2.561	0.603	6.456	0.993	0.575	0.871	محدودیت 1
0.742	2.376	0.537	3.107	0.611	10.359	1.594	0.568	0.86	محدودیت 1
0.088	0.146	0.086	0.191	0.115	1.311	0.202	0.065	0.099	محدودیت 2
0.055	0.134	0.073	0.175	0.119	1.433	0.22	0.09	0.137	محدودیت 2
0	0	0.09	0	0.171	0.324	0.05	0.164	0.249	محدودیت 2
0.301	0.872	0.281	1.14	0.355	3.752	0.577	0.316	0.478	محدودیت 2
0.231	0.637	0.198	0.832	0.251	3.475	0.535	0.2	0.303	محدودیت 2

DMU20	DMU19	DMU18	DMU17	DMU16	DMU15	DMU14	DMU13	DMU12	DMU11	DMU10
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.404	1.588	0	0	0	0	0	0	0.822	0	2.296
2.043	4.77	0.467	0.717	1.428	0.896	1.188	0.783	1.512	0.702	6.895
0	3.359	0	0	0	0	0	0	0	0	4.856
0.381	0.731	0.132	0.203	0.405	0.278	0.368	0.243	0.26	0.217	1.056
1.468	4.493	0.343	0.527	1.05	0.655	0.868	0.572	1.001	0.512	6.495
0	0	0	0	0	0.043	0.057	0.037	0.426	0.033	0
1.314	3.57	0.297	0.456	0.908	0.601	0.797	0.525	1.301	0.471	5.161
0.618	0.791	0.226	0.347	0.691	0.52	0.689	0.454	0.831	0.407	1.144
1.797	3.725	0.557	0.855	1.703	1.16	1.539	1.014	1.415	0.908	5.385
0.226	0.212	0.095	0.146	0.291	0.223	0.296	0.195	0.328	0.175	0.307
1.739	4.598	0.395	0.607	1.208	0.731	0.969	0.639	1.025	0.572	6.646
1.95	9.906	0.16	0.246	0.489	0	0	0	0	0	14.319
1.85	7.354	0.248	0.381	0.759	0.292	0.387	0.255	0.514	0.228	10.631
1.264	3.622	0.26	0.4	0.796	0.448	0.593	0.391	0.58	0.35	5.236
2.302	6.934	0.45	0.692	1.377	0.723	0.959	0.632	0.727	0.566	10.024
0.719	1.423	0.221	0.34	0.677	0.461	0.611	0.403	0.566	0.361	2.057
1.784	4.28	0.471	0.723	1.441	0.911	1.208	0.796	1.034	0.713	6.187
2.05	5.192	0.477	0.732	1.459	0.923	1.224	0.807	1.55	0.723	7.505
0.244	0.32	0.077	0.118	0.234	0.174	0.231	0.152	0.335	0.137	0.462
0.151	0.293	0.065	0.1	0.199	0.18	0.238	0.157	0.487	0.141	0.423
0	0	0.08	0.122	0.243	0.259	0.343	0.226	0.606	0.202	0
0.832	1.905	0.249	0.382	0.762	0.537	0.712	0.47	0.872	0.421	2.753
0.639	1.391	0.176	0.27	0.538	0.38	0.504	0.332	0.727	0.298	2.011

DMU21	DMU22	DMU23
0	0	0
2.486	0	0
4.408	0.82	1.036
0	0	0
0.34	0.233	0.294
2.979	0.603	0.762
0.561	0	0
3.301	0.522	0.659
0.974	0.397	0.502
2.526	0.978	1.236
0.263	0.167	0.211
3.43	0.694	0.877
5.175	0.281	0.355
4.618	0.436	0.551
2.547	0.457	0.577
4.445	0.791	0.999
1.026	0.389	0.491
2.839	0.827	1.045
4.385	0.838	1.058
0.521	0.135	0.17
0.515	0.114	0.144
0	0.14	0.177
1.542	0.438	0.553
1.414	0.309	0.39

در جدول شماره (5)، مقادیر متغیرهای کمکی و مصنوعی مدل اولیه آمده است. بر اساس جدول شماره (5)، می‌توان نقش هر یک از محدودیت‌های وارد شده به مدل جهت رفع ناکارایی را مشاهده نمود. به عنوان مثال برای رفع ناکارایی در DMU_1 با در نظر گرفتن شرایط سایر نمایندگی‌ها اثرگذارترین محدودیت مربوط به محدودیت 12 با مقدار $0/992$ صدم و کمترین محدودیت مربوط به محدودیت اول و ششم با مقدار صفر است.

خلاصه و نتیجه گیری

نتایج به دست آمده از این پژوهش می‌تواند شرکتها را ترغیب کند تا در توسعه استراتژی‌های بازاریابی خود نه تنها در راستای توسعه اصول اولیه خدمات پس از فروش، همچون تعمیر و نگهداری و گارانتی و وارانتي اقدام کنند، بلکه با استخدام نیروهای متبحر، با تجربه و دارای روابط عمومی بالا نسبت به توسعه و بهبود تعامل خود با مشتریان، با به کارگیری تجهیزات به روز و کارآمد نسبت به بهبود کیفیت فیزیکی و با توسعه سازوکارهایی برای به حداقل رساندن زمان انتظار مشتری و ایجاد برنامه‌های آموزشی مدون، نسبت به بهبود نتایج کار و ایجاد ارزش برای مشتری اقدام نمایند چرا که نتیجه همه این عوامل رضایت مشتری خواهد بود و در صورتی که پایش و اندازه‌گیری رضایت آنان به صورت مداوم صورت پذیرد نتیجه نهایی آن تمایل پایدار مشتری به خرید مجدد و در نتیجه سودآوری برای شرکت خواهد بود؛ همچنین در چنین حالتی مشتریان تمایل دارند تا با بیان تجربه مثبت خود از همکاری با شرکت یا سازمان، سایر مشتریان را نسبت به خرید ماشین‌ها و یا استفاده از خدمات شرکت، ترغیب نمایند و این درحالی است که هزینه‌های بازاریابی برای جذب مشتریان جدید بسیار گزاف بوده و تحقیقات نشان داده‌اند که تأثیر دوستان، خانواده و همکاران بر افراد برای خرید يك محصول یا کالا، بسیار بیشتر از تأثیر تبلیغات و یا ادعای فروشنده در ارائه محصولی مرغوب و با کیفیت است. با توجه به اینکه اکثریت مراجعات فنی به نمایندگی‌های ایران خودرو (71 درصد) طرح تخصیص بهینه قطعات تند مصرف به نمایندگی‌ها است؛ لذا پیشنهاد می‌گردد که سبد قطعات تخصیص در آینده شامل قطعات متوسط مصرف نیز باشد و این قطعات در کنار سایر قطعات تند مصرف در بین نمایندگیها توزیع گردد. با

توجه به اهمیت نیروی انسانی در ایجاد رضایت در مشتریان مقتضی است نمایندگی‌های مجاز به این موضوع توجه کامل داشته و در به کارگیری پرسنل مجرب و با تجربه که علاوه بر دانش فنی، دارای تعمیر کاری نیز باشند، تلاش نمایند. همانگونه که می‌دانیم تصمیمات مشتریان جهت انتخاب یک تعمیرگاه برای تعمیر خودرو و دریافت خدمات بر اساس سوابق و تجربیات قبلی وی از آن تعمیرگاه و یا بر اساس نتایج حاصل از تجربیات دیگران است و هیچ عاملی به اندازه تعمیرات صحیح و دقیق خودرو در ایجاد این ذهنیت مثبت اثرگذار نیست.

منابع:

شاداب، رضا (1394). بررسی کارایی شعب بانک مهر اقتصاد با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) و رتبه‌بندی سلسله مراتبی (AHP)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی - دانشکده مدیریت و حسابداری.

حیدری پیربستی، فاطمه؛ کرمی پور میثم و افشار کاظمی محمد علی (۱۳۹۴). کاربرد تحلیل پوششی داده‌ها مبتنی بر رویکرد الگوریتم ژنتیک در تحلیل کارایی فنی شرکت‌های لیزینگ، دوازدهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع، تهران، انجمن مهندسی صنایع ایران، دانشگاه خوارزمی.

رهنما، حسین؛ رحمانی پرچکلابی، بیژن؛ محمدی، مصطفی؛ و رحمانی فر، گلما. (۱۳۹۴)، ارزیابی عملکرد نمایندگی‌های ایران خودرو در غرب استان مازندران با استفاده از مدل BCC ورودی محور تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)، کنفرانس بین‌المللی مدیریت و علوم انسانی، امارات-دبی، موسسه مدیران ایده پرداز پایتخت ویرا

عسگری، فرید و زمانی منش، مهناز، (۱۳۹۴). بررسی عوامل درونی موثر بر بهرهوری شرکت ایران خودرو، کنفرانس بین‌المللی جهت‌گیری‌های نوین در مدیریت، اقتصاد و حسابداری، تبریز، سازمان مدیریت صنعتی نمایندگی آذربایجان شرقی

Banker, R.D., Charnes, A. and Cooper, W.W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiency in data envelopment analysis. *Management Science*, 3, 1078–1092.

Baviera-Puig, A., Baviera, T., Buitrago-Vera, J., Escribá-Pérez, C. (2020). Internal benchmarking in retailing with DEA and GIS: the case of a loyalty-oriented supermarket chain. *Journal of Business Economics and Management*, 21(4), DOI: <https://doi.org/10.3846/jbem.2020.12393>.

Charnes, A., Cooper, W.W. and Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operation Research*, 2(6), 429–444.

Darvish Motevalli, M., and Ebrahimi, M. (2021). A new model to analyze the efficiency of a multilevel drug supply network for hospitals. *Journal of System Management*, 7(2.26), 59-81

Farrell, M. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society*, 120A (3), 253–281.

Gonzalez-Padron, T., Billur Akdeniz, M., Calantone, R.J. (2014). Benchmarking sales staffing efficiency in dealerships using extended data envelopment analysis. *Journal of Business Research*, 67(9), 1904-1911.

He, F., Xu, X., Chen, R. and Zhu, L. (2016). Interval efficiency improvement in d by using ideal point. *Measurement*, 87, 138-145.

Pérez-Rodríguez, J.V., and Acosta-González, E. (2021). The impact of ownership and size heterogeneity on hotel efficiency in the Canary Islands (Spain). *Tourism Economics*, <https://doi.org/10.1177/13548166211035853> .

Tan, Y., Zhang, Y. & Khodaverdi, R. (2017). Service performance evaluation using data envelopment analysis and balance scorecard approach: an application to automotive industry. *Annals of Operations Research*, **248**, 449–470. <https://doi.org/10.1007/s10479-016-2196-2>

Motlagh, S.M.H., Behzadian, M., Ignatius, J., Goh, M., Sepehri, M.M. and Hua, T.K. (2015). Fuzzy promethee gds for technical requirements ranking in hoq. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **76**, 9-12, 1993-2002.

Nematollahi, M., Hosseini-Motlagh, S.-M. and Heydari, J. Coordination of social responsibility and order quantity in a two-echelon supply chain: A collaborative decision-making perspective. *International Journal of Production Economics*, **184**, 107-121.



Journal of Turkish Operations Management

New generation FMEA method in automotive industry: an implementation

Nesimi Kök^{1*}, Mehmet Selami Yıldız²

¹ Department of Business Management, Düzce University, Düzce, Turkey

e-mail: nesimikok@yahoo.com, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-1612-9162>

² Department of Business Management, Düzce University, Düzce, Turkey

e-mail: selamiyildiz@duzce.edu.tr ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-6557-6372>

* Corresponding Author

Article Info

Article History:

Received: 24.10.2022

Revised: 26.03.2023

Accepted: 06.04.2023

Keywords

FMEA,
FMEA in Automotive Industry,
RPN,
VDA,
AIAG

Abstract

In today's production systems, preventing a risk before it occurs is very valuable for companies. In order to do this, various risk analysis methods are used. FMEA, which is the most widely used and mandatory in the automotive industry, is one of these techniques. Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) is a risk analysis technique that is a powerful method for identifying and managing potential failures that may arise from products, processes, services and systems. In this study, FMEA method was applied in the coating process of the supplier producing sealing elements in the automotive industry. Three risk evaluation methods which AIAG FMEA Handbook fourth edition 2008, VDA-4 standard and new generation AIAG & VDA FMEA handbook, 2019 were used in FMEA risk analysis in the study. Using these methods, the risks of the coating process were determined and the automation of the processes that were initially carried out manually by the operators was automated. With this improvement, the risk was reduced by 69.8%. In addition, differences and up-to-date information on FMEA assessment methods used in the automotive industry have been brought to the literature.

1. Introduction

Today, it is very important to identify potential failures in manufacturing businesses while the product is still in the design phase and to analyze and manage the risks that these failures will create. Customer's perception and expectation have gained a different dimension with technological developments and have become more complex and difficult to manage. In order to hold on to the market, product and process reliability must be ensured. There are many methods used to achieve this. That led to the emergence of these methods; there are increasing market demands, customer focus, cost, time constraints and intense competitive pressure, laws/regulations that must be fulfilled in product responsibility, technological developments and globalization. Quality management systems that ensure that production activities are standardized; making these methods mandatory is among the reasons for widespread use.

There is a need to increase product reliability in the process from the emergence of the new product to the delivery of the product to the customer and then to the warranty stage. In order to do this, potential risks must be revealed and resolved during the design and process stages. Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), which is very powerful in this respect, stands out among the risk analysis methods used to increase the reliability of the product and the customer. FMEA studies are also a requirement according to IATF 16949:2016 Quality Management Systems Standard and customer specific request for automotive companies. In the studies carried out by Luczak

and Wolniak, 99% of the automotive industry suppliers determined that FMEA was required from the customer request, 78% from the ISO/TS 16949 requirement, and 62% in terms of the organization's own culture and problem-solving technique (Luczak and Wolniak, 2015).

FMEA can be defined as a systematic set of activities that aim to identify and evaluate the possible failures of a product/process and their effects, causes, identify actions that can eliminate or reduce the likelihood of possible failures, and document the process. It defines what a design or process must do to satisfy the customer (SAE J1739, 2008). The FMEA was first developed in the US Army and started to be implemented in 1949 with the military standard MILSTD-1629A (Procedures for Performing A Failure Mode Effects and Criticality Analysis) (Narayanagounder and Gurusami, 2009). Afterwards, it started to be applied in the aerospace industry (NASA's Apollo project), nuclear, automotive, aviation, food and many other industries (Bertsche, 2008). First application in the automotive industry in 1977 Ford Motor Company implemented the method followed by the other two major groups of the automotive industry; used by General Motors and Chrysler (Gilchrist, 1993).

FMEA; It is a collection of systematic activities established to identify and evaluate the potential defects of a product or process and the effects of these defects, to define actions to reduce or eliminate the possibility of potential failures occurrence, and to document all activities (AIAG, 2008). In the FMEA methodology, there are mainly types of FMEA, which are Design and Process FMEA. FMEA has been applied and continuously developed for more than 40 years in many industries from the first years to the present day. FMEA is a widely used analysis in the manufacturing industry. It is used as an important risk analysis method especially in the automotive industry.

The aim of this study is to diversify the literature by using the action prioritization matrix as well as the RPN evaluation, which is used as a traditional method in FMEA method. In addition, by applying P-FMEA in a new process of the sub-industry, the risks of the process were defined. It has been presented that the risk measure that the business may encounter can also be determined with the traditional risk assessment and the assessment matrix used as a new generation. Considering that this method will become widespread in the coming days, it has been evaluated that the business can make the transition more comfortable. The measures to be taken against the risks of the new process were determined and transferred to the top management. Afterwards, with the support of the top management, the necessary measures were invested in this study. RPN approach is seen as a traditional method in FMEA and has some disadvantages. In this context, other alternative approaches were used instead of RPN in this study. What these approaches can be and how they will be used are among the original points of the study.

We organized the sections of this article as follows: Section 2, we describe FMEA in the literature review and some of the previous studies. Section 3, definitions used in FMEA studies as well as alternative analyzes used in risk assessment are given. In Section 4, the implementation and analysis of the FMEA study is described in detail. Risks were evaluated by considering the manually managed process of a company producing sealing products in the automotive supplier company, and actions that could be developed were defined and implemented. Finally, in Section 5, we present the results and recommendations for future work.

2. Literature Review

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) is a popular technique used to improve the reliability of products, services and manufacturing processes by analyzing potential failures and causes of failures before they occur them to avoid to customers (Liu et al., 2019a). There are many studies on FMEA both in practice and theory.

Eubanks et al. (1997) applied a different approach to the product behavior model to make the design phase more effective. Advanced Failure Mode Effects Analysis (AFMEA); It is a system that is used to catch failures escaping the traditional FMEA method and captures the failure modes more broadly, which defines the cause-and-effect relationship. Based on the example of an automatic ice machine from a household refrigerator, FMEA has been studied in a non-automotive industry. Cornes and Stockton (1998) emphasized that FMEA is applicable in many industries and must be defined at the beginning of the design. Emphasizing the importance of the timing of FMEA, they revealed that it is a necessity of the design phase. Scipioni et al. (2002) applied the FMEA method in the food industry and revealed its interactions with HACCP (Hazard Analysis at Critical Control Points). By applying FMEA in an industry other than automotive and nuclear, they have led the way that FMEA can be applied to other industries very easily.

Pantazopoulos and Tsinopoulos (2005) applied design and process FMEA in the metal forming industry. They emphasized that it is a potential tool that can be used widely in different sectors as well as the reliability of complex electrical-electronic parts in the automotive and space industry. The aim of this study is to determine the weak points of the system and to determine the studies that will minimize the incidence of failures. Yeh and Hsieh (2007) propose an FMEA for the fuzzy theory approach. They stated that the subjectivity in RPN evaluation can be eliminated with the fuzzy theory approach. Segismundo and Miguel (2008) defined FMEA as a standard that can

be used as a technical risk management method for decision-making optimization in the new product development process by applying FMEA work in the automotive industry. As a result of the study, the number of prototypes required was reduced, resulting in a reduction in project and test plans. Zhao (2011) combined SPC (Statistical Process Control) and FMEA methodology and stated the importance of FMEA in the statistical controls of operators.

Chen (2013) revealed the risks of autonomous maintenance by applying FMEA analysis in maintenance activities. It has determined the equipment and operator failure types in autonomous maintenance activities. Shishebori (2015) has worked to reduce production waste in a production facility by using FMEA, DOE and Six-Sigma methods together. As one of the waste reduction methods, the importance of FMEA has contributed to the literature. Vahdani et al. (2015) determined the RPN calculations using the TOPSIS method to improve the risk assessment process. It has added a different dimension by removing RPN calculations from the classical calculation method. According to Jamshidi et al. (2015) uses prioritization with fuzzy FMEA method to decide the best strategy for security standards. They made an application that included medical equipment such as baby incubators, infusion pumps, and computed tomography scanners.

Ristic et al. (2016) developed a dynamic maintenance cost model for the components of a power transformer to save on maintenance costs with a small initial investment. Bao et al. (2017) proposed an approach based on the FMEA method and a modified AHP technique to assess occupational disease risk in the Chinese mining industry. In their approach, the modified AHP method was used to calculate the weights of occupational disease risk factors.

Pazireh et al. (2017) adopted the FMEA approach to design and implement a quality control system in apparel production lines, identify and rank potential challenges, and finally give the right commands to quality control stations. The data were collected from a medium-sized textile factory and implemented by FMEA, and then the improvement of production efficiency was analyzed using simulation-based optimization technique. The results of the simulation showed a significant reduction in product defects, rework and total cost of production. Madzik and Shahin (2020) proposed an approach that could help segment customers more accurately using the FMEA study, they have classified customers by their loyalty priority number (LPN). LPN is designed as the main segmentation criterion consisting of customer loyalty rate, product or service purchase frequency and purchase value. Using the proposed approach allows dividing customers into four broader groups based on their loyalty and values to the organization: random, bronze, silver, and gold.

FMEA is a team work that can be defined as a multi-criteria decision-making problem and carried out by a multidisciplinary team (Carpitella et al., 2018). FMEA is the collaborative effort of a multidisciplinary team to identify potential failure modes, evaluate them, and create corrective actions to reduce risk (Stoll, 1999). However, consensus among experts has been ignored in most of the current research. Therefore, it will be important to introduce the different approaches used in manufacturing sectors to the literature in order to encourage communication between experts and help them reach consensus.

Maisano et al. (2020) reviews the traditional P-FMEA approach and is intended to allow distributed experts to individually formulate their judgments through Thurstone's Law of Comparative Judgment and Generalized Least Squares method, a new addition technique based on combination with the ZMII technique. The dP-FMEA method is presented as a method that allows many experts to be managed without the need for physical work. Also supported by an application example in a plastic injection molding process

FMEA has some limitations discussed in the literature Liu et al., (2014), The most important among these limitation is that the same RPN (risk priority number) index may arise from different values of severity, occurrence and detection criteria, and in these cases it may become unclear which risk will take priority; RPN comparison alone will not be enough. For this reason, FMEA studies of the AIAG standard operating in the automotive industry and the VDA standard were combined in 2019 and a standard was published (AIAG & VDA FMEA, 2019). What makes this study unique is to solve a current problem of a supplier industry company operating in the automotive sector, as well as to bring to the literature how to use the FMEA method combined in 2019.

3. Method

3.1. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Before starting FMEA study it is necessary to have a clear understanding of the concepts. Defining the terms used in a traditional FMEA approach is critical to the FMEA method.

Customer: There are three types of customers in FMEA. Internal customer, assembly line, end user. The severity of a failure mode is defined for these three customers and the highest severity is taken and defined as the severity of the failure mode (Koomsap and Charoenchokdilok, 2018). In FMEA studies, the customer may be the end user

the product or service reaches, the assembly line or the next process. The point that the product coming out of a business reaches in the market is the external customer. At the stage where that product circulates between the processes related to the business, each department will be the internal customer of the previous department. In the FMEA study, the customer is considered as the person or department affected by any potential failure that may occur (Stamatis, 2003).

Functions, Requirements, Steps: These are the expected purposes of a process or product. For Process FMEA, the functions that the relevant process step must fulfil are defined in this step. Then the failure types are revealed (Matzler et al., 2004). A function is the purpose expected to be achieved by a product or process. It is the desired characteristics of a product or service. A failure that may occur may prevent some features of the product or service from working, as well as cause all features to not work. When the function of the product or process is clearly defined, the detection of failure modes will also become clear. Numerical data and specifications should be specified in this cell when defining the function. The requirements part is the machinery, equipment, materials, etc. needed for the product or service to fulfill this function. Defines the list of in steps, the steps belonging to the flow of the process are expressed (Chemweno et al., 2016).

Potential Failure Modes: All failures that may occur during the use and production of the product must be identified. It is not expected that failures have occurred. Failure can also be considered. A failure occurs when a product or process fails to fulfill the required function and customer expectation. Failure modes are defined as potential failures. Every situation that is likely to happen is taken into account. Failure modes are defined by experiencing from previous failures (Rezaee et al., 2018). FMEA uses the term failure modes to refer to the ways in which something fails to function as required. Failures can be identified either generically or specifically.

Failure Effects: This is the stage where the effects/results of the failure that will occur when the failure modes are not prevented or eliminated, on the product and process are investigated. It is important for the team to be well aware of what failures the customer can accept/tolerate and what they will not.

Potential Root Causes: All possible root causes of the failure should be investigated. There is a direct relationship between the failure and the root causes. The occurrence of the root cause means that the failure mode has occurred. A failure can have more than one root cause. Various problem-solving techniques are used to uncover root causes such as global 8D, 5 Why, Ishikawa etc. (Hekmatpanah, 2011).

Controls: It includes preventive and detection controls. Controls should be accessible to product design and process. Controls should primarily focus on preventive controls to prevent the failure from returning. If preventive controls cannot be provided, detection controls should be defined. All controls that can prevent the failure from escaping to the customer should be evaluated (Stamatis, 2003).

Risk Assessment: The most important step of FMEA is the assessment of the risk. For this, three factors are taken into account; severity, occurrence and detection (Stamatis, 2003). The scores needed for risk assessment may differ from industry to industry.

- **Severity:** Assessing the effect of the failure on the customer. Considering the worst-case scenario, the severity should be given according to that score, which has the most impact on the customer. Severity score can only change with design changes. The severity score cannot be changed by an action taken outside of that. Because severity is the effect on the customer, the effect of a failure is always considered the same.

- **Occurrence:** How often the root cause of the failure and failure may visible. If there is no data on the probability of a failure, a similar score is made using previous experience. Occurrence score in FMEA study can sometimes be for root cause and sometimes for failure mode. Because even if any simulation work is done, root causes for some failures may not be revealed.

- **Detection:** Comprise preventive and detection controls that detect root cause or failure mode (Chao and Ishii, 2007). If there is more than one control, the best case with the lowest detection score is taken into account. Scoring is utilized according to the evaluation tables¹ used in which industry.

3.1.1 AIAG FMEA Methodology

3.1.1.1. Risk priority number (RPN)

In failure modes and effects analysis (FMEA), the failure occurrence, severity and detection scores are used to calculate risk priority number (RPN). The RPN values are utilized to rank failures (Geramian et al., 2019). FMEA assesses each risk factor on three scales – Severity (S), Occurrence (O) and Detection (D) (Shaker et al., 2019). Each of these factors can be assessed on a scale from 1 to 10. Different approaches have been proposed to improve FMEA analysis. (Sankar and Prabhu, 2001). RPN calculation is one of them. The result of the assessment is a list of all the risk factors and their calculated risk priority number (RPN).

Severity x Occurrence x Detection = RPN - Risk Priority Number

The numerical equivalent of each factor (severity, occurrence, detection) varies between 1 and 10. Teams give this score using tables. The RPN value is an integer between 1 and 1000. Preventive actions are planned by sorting the obtained RPN values in descending order (Shi et al., 2019). In the traditional FMEA approach, RPN analysis is used to measure the extent of risk. However, in recent years, such a stand-alone evaluation of RPN is not accepted in the automotive industry. Because the RPN evaluation can sometimes be misunderstanding.

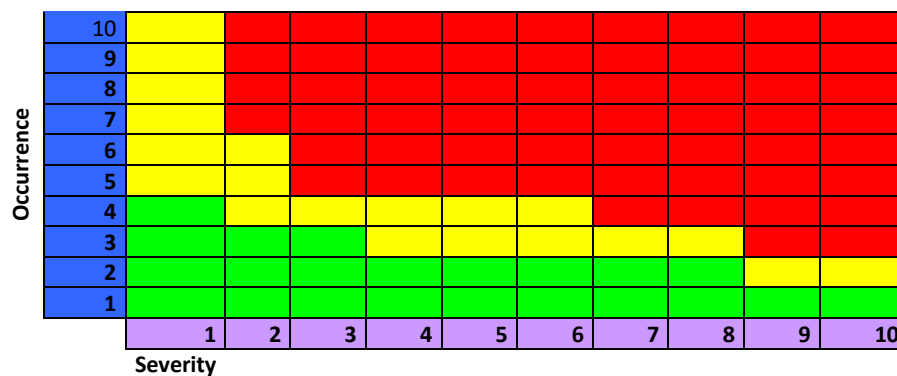
Item	Severity	Occurrence	Detection	RPN
A	9	2	5	90
B	6	3	6	108

Figure 1. Rpn sample

In this example, the RPN is higher for characteristic B, but the priority should be to work on A with the higher severity of 9, although the RPN is 90 which is lower and below the threshold. Especially for this reason, some automotive manufacturers use a matrix rather than RPN. Failure mode severity loses its importance when RPN is evaluated only (Hettiarachchi et al., 2021). In 2019, FMEA was updated and evaluations were made according to action prioritization.

3.1.1.2. VDA FMEA Methodology

This matrix is able to analyze every aspect of the severity, occurrence capability of failures. Automotive manufacturers utilizing VDA (Verband der Automobilindustrie that means that standard rules for Supplier Company) such as BMW, Audi, VW, Mercedes, Daimler. RPN value consist of the severity and occurrence scores are in FMEA study. In this matrix system, the importance of detection does not have a major impact on assessing the magnitude of the risk. Because the important and valuable thing is to prevent the occurrence of failure. The negative effect of this approach is that the detection criterion is not taken into account at all (Kok and Yildiz, 2017a).



(VDA 4, 2012).

Figure 2. Severity & occurrence evaluating matrix

1. Green zone: No action needed. The current risk level of the process is acceptable.
2. Yellow zone: Taking action is not mandatory but recommended. Company decide whether to take action by evaluating its resources.
3. Red zone: Action is mandatory. Action should be taken as resources allow. If action cannot be taken, the reasons should be stated.

Recommended Actions and Results: The trend of actions should be to reduce all risks and reduce the possibility of failure. Actions should be determined in order of priority to reduce severity, then occurrence and, if not, detection. In addition, the risk should be re-evaluated after the action and scoring should be done. (Subriadi and Najwa, 2020).

Table 1. Process FMEA study form

PFMEA Number:
System:
Subsystem:

OEM:
Department:
Group:
Supplier:

PFMEA Prepared by:
PFMEA Key Date:
PFMEA Original Date:
PFMEA Last Revised:

Process Number	Process	Process Function/Requirement	Potential Failure Modes	Max S	Potential Effect(s) of Failure	S	Class	Potential Cause	O	Current Process Controls (Prevention)	Current Process Controls (Detection)	D	RPN	Recommendation	Responsibility	Date	After Actions Taken			
																	S	O	D	RPN

(FMEA software)

FMEA format accepted in the automotive industry is given in Table 1. The columns can be arranged according to the needs, expectations and wishes of the company. Companies manage this format as excel or special package software for FMEA method. The company where the application is made has improved its processes by using a software for FMEA studies. Using a software has benefits in terms of time and effective management.

3.1.1.3. AIAG & VDA FMEA Methodology

The AIAG FMEA Handbook 2008 fourth edition method, which has been used for many years, mainly in the automotive industry, was combined with VDA standards in 2019 and FMEA AIAG & VDA Handbook was published. In the AIAG & VDA new FMEA method, the assessment of risk is provided by a matrix An AP (Action Priority) analysis is performed, which is similar to the VDA standard, but in which the detection factor is also taken into account (AIAG & VDA FMEA, 2019). According to the AIAG VDA FMEA, 2019 standard, there are 7 steps in FMEA (Gueorguiev et.al., 2020, Plinta, et.al., 2021).

System Analysis	Failure Analysis and Risk Mitigation	Risk Communication
Step 1: Planning and Preparation	Step 4: Failure Analysis	Step 7: Results and Documentation
Step 2: Structure Analysis	Step 5: Risk Analysis	
Step 3: Function Analysis	Step 6: Optimization	

Figure 3. AIAG&VDA FMEA 7 step

According to AIAG & VDA FMEA handbook, the biggest change in the risk analysis part applied in step 5 is action priority. The new FMEA handbook contains more specific criteria to be used to rank Severity, Occurrence and detection levels. Verification of the effectiveness of existing prevention and detection controls, product and process experience, and maturity of defect detection methods are additional criteria and will be considered in the FMEA study. In addition, the AP (Action Priority) has replaced the RPN Risk Priority Indicator. S-Severity, O-occurrence and D-Detection ratings can be singular or combined with three factors, and are evaluated as High, Medium and Low to determine the risk reduction action priority (Gueorguiev et.al., 2020). A high priority risk means a request for mitigation action to develop controls to prevent or detect, or an action that justifies why existing controls are deemed appropriate (Subriadi and Najwa, 2020).

4. Implementation

This study was carried out in a company that produces sealing products in the automotive industry. It manufactures sealing products for OEM’s called the main industry. It has production locations in various parts of the World. The company, which has a total of 8500 employees, aims to be the leading supplier in its industry. The company's customers include major automotive manufacturers such as VW, Audi, BMW, Mercedes, Ford, Renault, Fiat, Nissan, Toyota and Hyundai. Sealing products are defined as a key part in vehicle manufacturing. The quality of the sealing products is very important in terms of the functional, comfort and visual comfort of the vehicle. It is very difficult for supplier industries to achieve and maintain this quality level. Companies carry out high-level quality activities in order to stay in the market and not to lose their automotive main industry customers.

In order to produce sealing products, first of all, rubber raw materials must be processed with certain formulas and turned into a rubber mixture. Afterwards, this mixture is turned into semi-finished products by molding and vulcanization techniques in extrusion processes. Produced semi-finished products are made ready to be shipped to the customer in processes called finishing. There is a coating as chemically mixed on the surface of the product

due to the sealing of the sealing equipment and the minimization of the energy that may occur in the interaction of the part with the case.

The preparation of this chemical coating mixture, which is used in both extrusion and finishing processes, is a serious and critical process. The type of coating varies according to the demands of the customers on the products and the place where the sealing equipment is used. In order to obtain these chemical mixtures separately, five components are mixed with a specific formula. The mixing process is done in the mixture preparation room. After the mixture is prepared, it is supplied to the extrusion and finishing processes and sprayed on the surface of the products by means of guns online-offline. It is applied online in the extrusion process and off-line in the finishing process. In order for the coating on the product surface, not to be scraped and to create a thickness suitable for customer specifications, the preparation of the mixture must be produced in accordance with the defined recipes. Minimizing and eliminating the risks by foreseeing the failures in advance is critical and valuable in terms of the importance of the process. In this process, there is a need to identify potential risks and offer optimum solutions against these risks.

In this study, FMEA methodology was used for the coating preparation process. Scoring is made by evaluating the risks of each step in the coating process. Instead of traditional risk assessment, risk analysis was carried out in accordance with the German VDA method. In addition, specially developed FMEA software was used for risk analysis. There are advantages to using the software in FMEA method. It provides a practical and fast FMEA study for the team. Pareto analysis was used to evaluate the effect of actions against RPN. A multifunctional team participation is required for an effective FMEA study. In this study, responsibilities including all departments were determined and relevant persons were invited as Core Team.

For the traceability of the FMEA study, the number of the FMEA, by whom it was prepared, when it was updated, is defined as the header. The revised date must be changed with FMEA update. The original date defines when FMEA study is started, and the key date defines when the study is matched to serial conditions. The last revision date indicates the last update date of the study (Wang et.al. 2012). Each FMEA must be tracked with a traceability number. When any change is made in the process, the revision date must be updated. The core team identifies the preventive and detection controls in the current state of the process by identifying the type of failure and root causes that may arise in the related process through brainstorming.

4.1. AIAG FMEA Method

Table 2. PFMEA study

PFMEA Number: 0001

PFMEA Prepared by: Nesimi KÖK

PFMEA Original Date: 05.05.2019

PFMEA Key Date: 23.09.2019

PFMEA Last Revised: 11.06.2020

Core Team Members:

FMEA Coordinator; Laboratory Responsible; Process Engineer; Quality Engineer; Production Responsible

Process	Process Function/Requirement	Potential Failure Modes	Max S	Potential Effect(s) of Failure	S	Class	Potential Cause/Mechanism of Failure	O	Current Process Controls (Prevention)	Current Process Controls (Detection)	D	RPN	Recommendation	Responsibility	After Actions Taken				
															S	O	D	RPN	% Reduction
1. Measuring	Improper receipt	1.Wrong Material	7	Process Effect: mixture may be unusable.	7		Material selecting is manual by operator	5	None	None	10	350	Control plan was defined	Quality	7	2	6	84	76 %
				Internal Effect: % 100 Scrapped	7								Automatic system was implemented						
				Customer Effect: Functional Problem	7		Wrong label on raw-material	3	None	None	10	210	Using tracker system	IT	7	3	5	105	50 %
					7		Wrong labelling for returning material	2		None	8	112	Returning method was defined	Production	7	2	6	84	25 %

Core teams analyzed this study by applying the brainstorming technique. The team's technical assessments were adapted to the FMEA global format, accompanied by a moderator. It was formed by taking into account the experience of the team in the process. AIAG FMEA manual handbook was used for scoring tables.

While giving the severity score, 7 points were given for the effect on the customers as process effect, internal effect, and customer effect. Since there is no special characteristic in this process, the class column is left blank. For the occurrence score, a scoring was made by evaluating the statistical probabilities of the root causes. Failure cards and realization rates of these root causes were kept in the process, and these data were used in the FMEA study. If there is no control in FMEA, it is important to write none so that that column is not skipped. The main problem here is that the operations made in the process depend on the operator, and as a result, failures are constantly experienced during the operations of the operator. Therefore, automation systems were evaluated in the actions column for root causes or failure modes determined by the team. The top management's ability to allocate a budget for the improvement of this system and what the system will cover have been determined in the FMEA study.

In Table 2, the risk assessment was repeated after the actions and scores were evaluated again. When the specified actions are completed, RPN reductions in percentages are shown in the rightmost column of the form as % RPN reduction compared to the classical approach. Process steps are measurement, preparation, packaging and transfer. Failure modes, root causes, controls and RPN values of these four processes were calculated. Table 2 shows only the risk assessment of the first process step. In which activities it is absolutely necessary to take action and when it is desired to reveal risky areas.

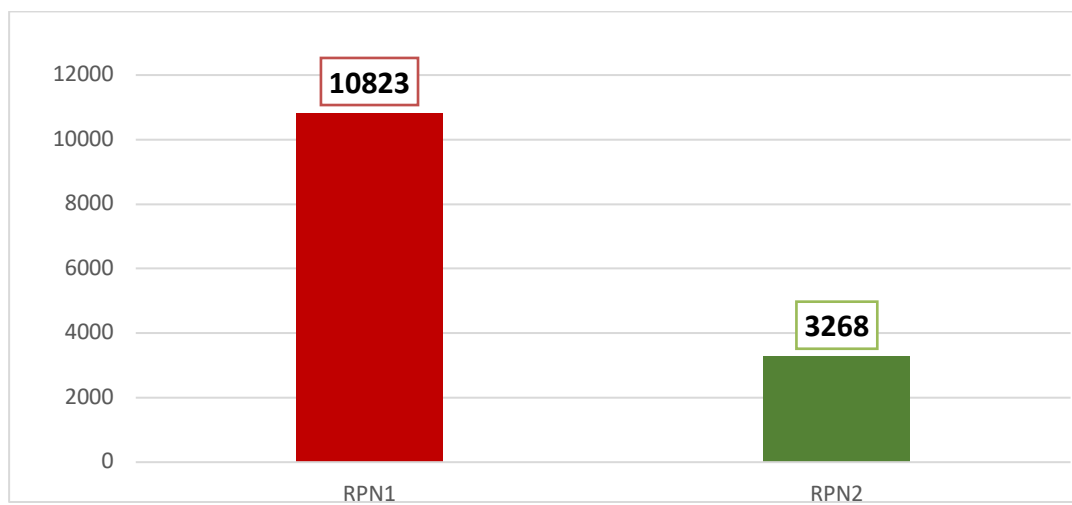


Figure 4. Coating RPN (Before- After)

In the traditional approach, the size of the risk can be seen after the actions in the study by looking at the RPN scores. The reduction in the size of the risk can also be given by the total RPN assessment. The sum of the RPN values determined by the evaluation of the failure modes of the coating process was determined separately as before and after the action. In the analysis of whether the actions were effective or not, it was observed that the RPN value decreased by 69.8%. RPN1 pre-action RPN2 post-action risk assessments in Figure 4. For the 34 failures identified according to the risk assessment criteria, the risk was reduced from RPN1: 10823 to RPN2: 3268. These values were calculated from the full study. To specify how the calculation method is according to Table 2; $RPN1: 350+210+112=672$; $RPN2: 84+105+84=273$. When the action was taken and risk reduced by 69.8%. It is most appropriate to analyze all the risks separately, but here it is done in this way to see the change in the performance of the total risk of the all process and to present it to the company. It is important to make such a calculation in terms of making the risk numerical and measurable.

4.2. VDA-4 FMEA Method

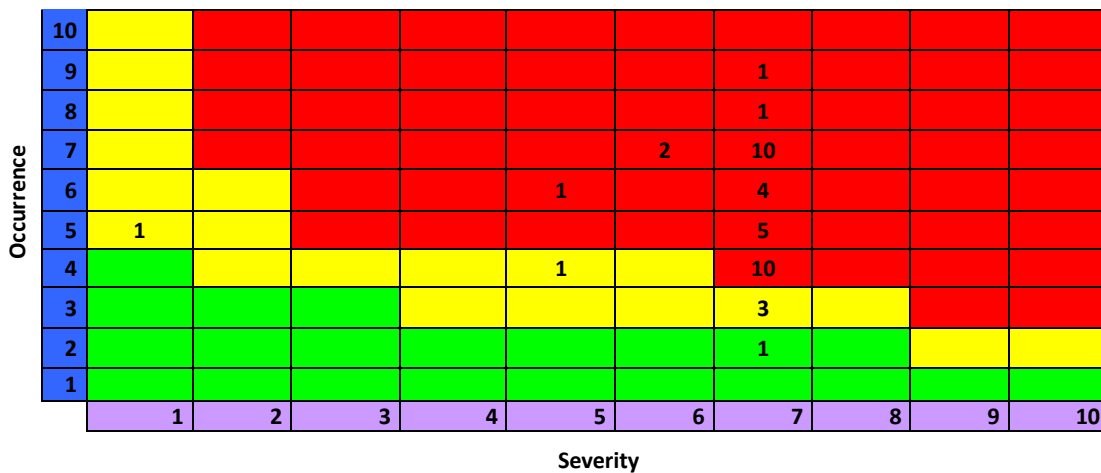


Figure 5. Severity & occurrence evaluating matrix

If the German group is assessed according to the VDA-4 standard, Figure 5. Matrix of severity&occurrence evaluated. The matrix was created by looking at the severity and occurrence scores of all failure types in the Process FMEA Study Form. When using this matrix, severity and occurrence are evaluated. Because the use of the detection factor after the failure occurs is not very valuable for the VDA standard. In order to use and report this approach, after the severity and occurrence scores, it is determined in which region the relevant failure mode falls. Today, it is possible to do this work automatically with a simple excel formulation or FMEA software. In FMEA studies where there are multiple failure modes, it may be difficult to simply determine which failure corresponds to which column. This matrix is very simple to use. The severity score on the horizontal axis is determined by taking into account the occurrence score on the vertical axis. When all risks are evaluated together with the team in the FMEA study, the 1 failure in the green zone, 5 failures in the yellow zone and 34 failures in the red zone. Action requirements for 34 activities should be determined according to the standards. Actions for activities specified in the study are defined in the "Recommendations" column of the Process FMEA Study Form. The risk level of the process has been minimized by taking action for the risks indicated by red.

4.3. AIAG&VDA FMEA Method (Action Priority)

In the FMEA study, the scoring made before and after the action was defined according to the FMEA AIAG&VDA standard. In the evaluation prepared by using the automotive industry AP matrix, the high-risk activity was brought to the medium level after the action. The risk was re-evaluated according to the new method, taking into account the scores in Table 2. It can refer to AIAG&VDA FMEA, 2019 handbook AP table to find out which scores are action prioritized. High risk necessary to take action and reduce risk. In Medium, it is recommended to reduce the risk by taking action (Maisano et al., 2020). When the risk is re-evaluated before and after the action, it is seen that the high risk mitigation into the medium risk. This is a critical improvement for the process and company.

Current Status				After actions			
Severity	Occurrence	Detection	AP	Severity	Occurrence	Detection	AP
7	5	10	High	7	2	6	Medium
7	3	10	Medium	7	3	5	Medium
7	2	8	Medium	7	2	6	Medium

Figure 6. AP evaluation

Integration of the automation system performed manually by the operators in the coating process has changed the magnitude of the risk from high to medium. Figure 6 shows the scoring and AP of the activities defined in the Table 2. When the operator's failure in using the wrong material is analyzed, it is seen that the root causes are manual material selection by the operator, wrong labelling on the raw material, wrong labelling for the returned material.. Scores of these three root causes are given in Figure 6.

5. Conclusion

FMEA is the pre-detection and analysis of potential failures. Although it is widely used in the automotive industry, many industries carry out FMEA studies. FMEA is a risk assessment method. The assessment of risk varies from industry to industry and from customer to customer. By determining and analyzing the risks of both designs and processes, many risks will be eliminated and reliable products will be produced. FMEA is a very powerful tool as it can detect potential failures in advance. After identifying and analyzing the risk, there are different approaches to determine the magnitude of the risk. Following and applying the up-to-date ones of these approaches gives businesses an advantage over customers.

In the beginning, relying on the operators, the manually operated coating was converted to a system for automatic process with this FMEA study. With this application, companies will reduce both operating costs and contribute to the country's economy in the context of continuous improvement. In addition, such studies within the scope of innovation will provide competitive advantage to businesses by providing serious positive contributions to the future point of industrial systems. The new system has allowed the operator to be managed completely automatically with a closed system without handling. The operator only selects the recipe and the system carries out all other operations (measurement and preparation) within the recipe itself. Images for automation are available in the Figure 7. Coating process before – after.

In the traditional risk analysis approach, RPN is used, but in recent years, RPN has been replaced by different methods and different matrix evaluations. With this study, the evaluation matrix used by the automotive German group and AIAG& VDA FMEA, 2019 version were used as a different approach for a problem in an automotive supplier company. The intended method specific to the industry and company can be preferred.

When the analysis was made according to the potential failures that may occur in the process, there was a 69.8% decrease in the total RPN values before and after the actions. In the coating process, it was observed that the risk was reduced by 69.8% by enabling the operator to perform the manual operations with automation. Analyzes were performed using traditional RPN evaluation as well as new methods. After the improvements made, all failures that were in the red area according to the VDA standard are now in the green and yellow areas. According to the AIAG VDA FMEA, 2019 version standard, high-risk activities have been reduced to medium or low. With this improvement, Industry 4.0 studies were also leaded and communication between machines (prescription-based preparation, mixing, measuring) was ensured.

As a result, Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) has a structure that evaluates risk. It requires a certain experience and knowledge for businesses to determine and manage possible risks in advance. In order to obtain maximum benefit from FMEA studies, determining the scope of the study, following the suggested actions and supporting the management are among the important elements. Companies that systematically implement FMEA; It gains a competitive advantage in the industry by designing high reliability and quality products with low costs and producing them in a short time. It is possible to give priority to the efforts to reduce the risk by informing the Senior Management about the extent of the risk. In FMEA studies, new technology and innovation studies are brought to the fore. FMEA and digitalization can be considered together for the new studies to be done in the coming years.

Before



After



Figure 7. Coating process before -after

6. Limitations and Further Research

FMEA types are available as process FMEA, design FMEA, system FMEA, machine FMEA, service FMEA, logistics FMEA. In this study, only the process FMEA was evaluated. Other FMEA types have not been evaluated within the scope of this study. FMEA study was prepared for the sub-process of the supplier company which is operating in the automotive sector. These risks may change in other companies. As well as the risk assessment criteria of different OEM's vary as indicated in the literature section of the study. The VDA standard used by the German group and AIAG&VDA standard were used in this study. It appears as customer requests in automotive and other sectors where FMEA studies must now be managed with software. Therefore, studies can be made by integrating with software and the relation of digitalization with FMEA.

Acknowledgment

This study was presented as a Master's Thesis titled " Problem Solving With Failure Mode And Effect Analysis (FMEA) Method: An Application In Automotive Parts Industry" as a Master's Thesis on 17 June 2017 under the supervision of Prof. Dr. Mehmet Selami YILDIZ, Department of Business Administration, Düzce University. This study contains a part of the master's thesis written by Nesimi KÖK. This article has been prepared by compiling the author's thesis and using up-to-date information.

Presented at the 3rd International Annual Meeting of Socio-Economics Society on April 28-29, 2017.

Please contact the author for the full FMEA report.

Contribution of Authors

Both Nesimi Kök and Mehmet Selami Yıldız contributed to literature review, data collection, problem definition, data analysis, and conclusion.

Conflicts of Interest

The authors declared that there is no conflict of interest.

Funding

The information leading to this study was used as a master's thesis as titled "Problem Solving with Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Method: An Application in Automotive Parts Industry" conducted at Düzce University, Business Management department on June 17, 2017. This thesis was supported by the Scientific Research Projects (BAP) Commission of Düzce University (Project No: 2016.08.01.459).

References:

- Automotive Industry Action Group (AIAG). (2008). *Potential Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) Reference Manual*. Chrysler LLC, Ford Motor Company, General Motors Corporation
- AIAG (Automotive Industry Action Group) and VDA (Verband der Automobilindustrie). 2019. Failure mode and effects analysis – Design FMEA and process FMEA handbook. Southfield, MI
- Bao, J., Johansson, J. and Zhang, J. (2017), "An occupational disease assessment of the mining industry's occupational health and safety management system based on FMEA and an improved AHP model", *Sustainability*, Vol. 9 No. 1, p. 94. <https://doi.org/10.3390/su9010094>
- Bertsche, B. (2008), *Reliability in Automotive and Mechanical Engineering: Determination of Component and System Reliability*, Springer, Berlin.
- Carpitella, S., Certa, A., Izquierdo, J., & La Fata, C. M. (2018). A combined multi-criteria approach to support FMECA analyses: A real-world case. *Reliability Engineering & System Safety*, 169, 394-402. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2017.09.017>
- Chao.L.P, and Ishii. K., (2007). Design Process Error Proofing: Failure Modes and Effects Analysis of the Design Process". *Journal of Mechanical Design*. Vol. 129 Issue 5, pp. 491-501. <https://doi.org/10.1115/1.2712216>

- Chemweno, P., Pintelon, L., Van Horenbeek, A. and Muchiri, P. (2016), "Development of a novel methodology for root cause analysis and selection of maintenance strategy for a thermal power plant: a data exploration approach", *Engineering Failure Analysis*, Vol. 66, pp. 19-34. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2016.04.001>
- Chen, C. C. (2013). A Developed Autonomous Preventive Maintenance Programme Using RCA and FMEA. *International Journal of Production Research*, 51(18), 5404-5412. <https://doi.org/10.1080/00207543.2013.775521>
- Cornes, R., and Stockton, T. R. (1998). FMEA as an Integral Part of Vessel Design and Construction: Producing a Fault Tolerant Dp Vessel. In *Dynamic Positioning Conference*. <http://dynamic-positioning.com/proceedings/dp1998/Dcomes1.pdf>
- Eubanks, C. F., Kmenta, S., and Ishii, K. (1997). Advanced Failure Modes and Effects Analysis Using Behavior Modeling. In *ASME Design Engineering Technical Conferences* (pp.14-17). <https://doi.org/10.1115/DETC97/DTM-3872>
- Geramian, A., Shahin, A., Minaei, B. and Antony, J. (2019), "Enhanced FMEA: an integrative approach of fuzzy logic-based FMEA and collective process capability analysis", *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 71 No. 5, pp. 800-81. <https://doi.org/10.1080/01605682.2019.1606986>
- Gilchrist, W. (1993). Modelling Failure Modes and Effects Analysis. *International Journal Of Quality & Reliability Management*, 10(5). <https://doi.org/10.1108/02656719310040105>
- Gueorguiev, T., Kokalarov, M., & Sakakushev, B. (2020, November). Recent trends in FMEA methodology. In *2020 7th International Conference on Energy Efficiency and Agricultural Engineering (EE&AE)* (pp. 1-4). IEEE. <https://doi.org/10.1109/EEAE49144.2020.9279101>
- Hekmatpanah, M. (2011). The evaluation and application of FMEA in Sepahan Oil Co. *International Journal of Industrial and Manufacturing Engineering*, 5(4), 769-774. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1334119>
- Hettiarachchi, R. L., Koomsap, P., & Ardneam, P. (2021). VIKOR power law-based customer-oriented FMEA with complete unique risk priority numbers. *International Journal of Quality & Reliability Management*. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-06-2020-0197>
- Koomsap, P. and Charoenchokdilok, T. (2018), "Improving risk assessment for customer-oriented FMEA", *Total Quality Management and Business Excellence*, Vol. 29 Nos 13-14, pp. 1563-1579. <https://doi.org/10.1080/14783363.2016.1274229>
- Kok, N. and Yıldız M.S. (2017a). Problem Solving with Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Method an Application in Automotive Parts Industry. Master's Degree, Duzce University
- Kok, N. and Yıldız M.S. (2017b). Problem Solving with Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Method an Application in Automotive Parts Industry. 3 rd. International Annual Meeting of Sosyoekonomi Society, April 28-29, 2017 Ankara / Turkey, Hacettepe University, 340-346
- Liu, H.C., You, J.X., Lin, Q.L. and Li, H. (2014), "Risk assessment in system FMEA combining fuzzy weighted average with fuzzy decision-making trial and evaluation laboratory", *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 28 No. 7, pp. 701-714. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2014.900865>
- Liu, H. C., X. Q. Chen, C. Y. Duan, and Y. M. Wang. 2019a. Failure mode and effect analysis using multi-criteria decision making methods: A systematic literature review. *Computers & Industrial Engineering* 135:881–97. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.06.055>
- Madzik, P., & Shahin, A. (2020). Customer categorization using a three-dimensional loyalty matrix analogous to FMEA. *International Journal of Quality & Reliability Management*. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-05-2020-0179>
- Maisano, D. A., Franceschini, F., & Antonelli, D. (2020). dP-FMEA: An innovative Failure Mode and Effects Analysis for distributed manufacturing processes. *Quality Engineering*, 32(3), 267-285. <https://doi.org/10.1080/08982112.2020.1729991>

- Matzler, K., Bailom, F., Hinterhuber, H.H., Renzl, B. and Pichler, J. (2004), "The asymmetric relationship between attribute-level performance and overall customer satisfaction: a reconsideration of the importance-performance analysis", *Industrial Marketing Management*, Vol. 33 No. 4, pp. 271-277. [https://doi.org/10.1016/S0019-8501\(03\)00055-5](https://doi.org/10.1016/S0019-8501(03)00055-5)
- Narayanagounder, S., and Gurusami, K. (2009). A new approach for prioritization of failure modes in design FMEA using ANOVA. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 49(524-31). <https://www.academia.edu/download/6634826/v49-96.pdf>
- Pantazopoulos, G. and Tsinopoulos, G. (2005). Process Failure Modes and Effects Analysis (PFMEA): A Structured Approach for Quality Improvement in The Metal Forming Industry", *Journal of Failure Analysis and Prevention*, Volume 5, Issue 2, pp. 5-10. <https://doi.org/10.1361/15477020522933>
- Pazireh, E., Sadeghi, A. H., and Shokohyar, S. (2017) Analyzing the enhancement of production efficiency using FMEA through simulation-based optimization technique: A case study in apparel manufacturing. *Cogent Engineering*, 4(1), 1284373. <https://doi.org/10.1080/23311916.2017.1284373>
- Plinta, D., Golinska, E., & Dulina, L. (2021). Practical application of the new approach to FMEA method according to AIAG and VDA reference manual. *Communications-Scientific letters of the University of Zilina*, 23(4), B325-B335. <https://doi.org/10.26552/com.C.2021.4.B325-B335>
- Rezaee, M. J., S. Yousefi, M. Valipour, and M. M. Dehdar. 2018. Risk analysis of sequential processes in food industry integrating multi-stage fuzzy cognitive map and process failure mode and effects analysis. *Computers & Industrial Engineering* 123:325–37. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.07.012>
- Ristic, O., Iricanin, B.D. and Mijailovic, V. (2016), "Dynamic modelling and simulation of power transformer maintenance costs", *Serbian Journal of Electrical Engineering*, Vol. 13 No. 2, pp. 285-299. <https://doi.org/10.2298/SJEE1602289R>
- Sankar, R.N. and Prabhu, B.S. (2001), "Modified approach for prioritization of failures in a system failure mode and effects analysis", *International Journal of Quality and Reliability Management*, Vol. 18 No. 3, pp. 324-336. <https://doi.org/10.1108/02656710110383737>
- Scipioni, A., Saccarola, G., Centazzo, A., and Arena, F. (2002). FMEA Methodology Design, Implementation and Integration With HACCP System in A Food Company. *Food control*, 13(8), 495-501. [https://doi.org/10.1016/S0956-7135\(02\)00029-4](https://doi.org/10.1016/S0956-7135(02)00029-4)
- Segismundo, A. and Miguel, A. C. P. (2008). Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) in the Context of Risk Management in New Product Development: A Case Study in an Automotive Company. *International Journal of Quality & Reliability Management*, Volume 25, Issue 9, pp. 899 - 912. <https://doi.org/10.1108/02656710810908061>
- Shaker, F., Shahin, A. and Jahanyan, S. (2019), "Developing a two-phase QFD for improving FMEA: an integrative approach", *International Journal of Quality and Reliability Management*, Vol. 36 No. 8, pp. 1454-1474. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-07-2018-0195>
- Shi, S., Fei, H., & Xu, X. (2019). Application of a FMEA method combining interval 2-tuple linguistic variables and grey relational analysis in preoperative medical service process. *IFAC-Papers Online*, 52(13), 1242–1247. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.368>
- Shishebori, D., Akhgari, M. J., Noorossana, R., and Khaleghi, G. H. (2015). An Efficient Integrated Approach to Reduce Scraps of Industrial Manufacturing Processes: A Case Study from Gauge Measurement Tool Production Firm. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 76(5-8), 831-855. <https://doi.org/10.1007/s00170-014-6273-x>
- Society of Automotive Engineers (SAE J1739). (2008). Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design (Design FMEA) and Potential Failure Mode and Effects Analysis in Manufacturing and Assembly Processes (Process FMEA) and Effects Analysis for Machinery (Machinery FMEA). SAE International.
- Stamatis, D. H. (2003). Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution. ASQ Quality Press.

Stoll, H. W. (1999). Product design methods and practices. CRC Press.

Subriadi, A. P., and Najwa, N. F. (2020). The consistency analysis of failure mode and effect analysis (FMEA) in information technology risk assessment. *Heliyon*, 6(1), e03161. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03161>

Vahdani, B., Salimi, M., and Charkhchian, M. (2015). A New FMEA Method by Integrating Fuzzy Belief Structure and TOPSIS to Improve Risk Evaluation Process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 77(1-4), 357-368. <https://doi.org/10.1007/s00170-014-6466-3>

Verband der Automobilindustrie (VDA-4). (2012). Quality Management in the Automobile Industry. Volume 4: Product and Process FMEA, 1-70

Yeh, R. H., and Hsieh, M. H. (2007). Fuzzy Assessment of FMEA for A Sewage Plant. *Journal of the Chinese institute of industrial engineers*, 24(6), 505-512. <https://doi.org/10.1080/10170660709509064>

Zhao, X. (2011). A Process Oriented Quality Control Approach Based on Dynamic SPC and FMEA Repository. *International Journal of Industrial Engineering*, 18(8).

Wang, Y., Cheng, G., Hu, H., Wu, W. (2012). Development of risk-based maintenance strategy using FMEA for a continuous catalytic reforming plant. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 25, 958-965. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2012.05.009>