

# JOURNAL OF TURKISH OPERATIONS MANAGEMENT

CİLT/VOL

05

SAYI/ISSUE

01

YIL/YEAR

20

21





ANKARA YILDIRIM BEYAZIT UNIVERSITY  
JOURNAL OF TURKISH OPERATIONS MANAGEMENT

ISSN 2630-6433 e-ISSN 2630-6433

# JOURNAL OF TURKISH OPERATIONS MANAGEMENT

**YEAR: 2021**

**VOLUME: 5**

**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](mailto: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](mailto:eraslan@ybu.edu.tr)

**Editor-in-Chief / Editör**

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

[babek.erdebili2015@gmail.com](mailto:babek.erdebili2015@gmail.com) or [berdebili@ybu.edu.tr](mailto:berdebili@ybu.edu.tr)

**Associate Editors / Yardımcı Editörler**

Asst. Prof. Dr. Abdullah Yıldızbaşı Department of Industrial Engineering, Ankara Yildirim Beyazit University, Ankara, Turkey [ayildizbasi@ybu.edu.tr](mailto:ayildizbasi@ybu.edu.tr)

Asst. Prof. Dr. İbrahim Yılmaz Department of Industrial Engineering, Ankara Yildirim Beyazit University, Ankara, Turkey [iyilmaz@ybu.edu.tr](mailto:iyilmaz@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](mailto: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](mailto:Vikas.Kumar@uwe.ac.uk)

Prof. Dr. Ali Allahverdi Department of Industrial and Systems Management, Kuwait University, Kuwait [ali.allahverdi@ku.edu.kw](mailto:ali.allahverdi@ku.edu.kw)

Prof. Dr. Yusuf Tansel İç Department of Industrial Engineering, Baskent University, Turkey [yustanic@baskent.edu.tr](mailto:yustanic@baskent.edu.tr)

Assoc. Prof. Dr. Gülin Feryal Can Department of Industrial Engineering, Baskent University, Turkey [gfcan@baskent.edu.tr](mailto:gfcan@baskent.edu.tr)

Assoc. Prof. Dr. Hamid Reza Navidi Department of Applied Mathematics, Shahed University, Iran [navidi@shahed.ac.ir](mailto:navidi@shahed.ac.ir)

Assoc. Prof. Dr. Fatih Emre Boran Department of Industrial Engineering, Gazi University, Turkey [emreboran@gazi.edu.tr](mailto:emreboran@gazi.edu.tr)

Assoc. Prof. Dr. Sena Emre Daş Department of Industrial Engineering, Kırıkkale University, Turkey [senadas@kku.edu.tr](mailto:senadas@kku.edu.tr)

Assoc. Prof. Dr. Atour Taghipour Department of International Management, Normandy University, France [atour.tahipour@univ-lehavre.fr](mailto:atour.tahipour@univ-lehavre.fr)

Assoc. Prof. Dr. Elif Kılıç Delice Department of Industrial Engineering, Atatürk University, Turkey [elif.kdelice@atauni.edu.tr](mailto:elif.kdelice@atauni.edu.tr)

Assoc. Prof. Dr. Yucel Yılmaz Ozturkoglu Department of Logistics Management, Yasar University, Turkey [yucel.ozturkoglu@yasar.edu.tr](mailto:yucel.ozturkoglu@yasar.edu.tr)

Assoc. Prof. Dr. Dilek Yılmaz Department of Industrial Engineering, Istanbul University, Turkey [dborekci@istanbul.edu.tr](mailto:dborekci@istanbul.edu.tr)

Assoc. Prof. Dr. İbrahim Department of Industrial Engineering, Balıkesir [ikucukkoc@balikesir.edu.tr](mailto:ikucukkoc@balikesir.edu.tr)



## ANKARA YILDIRIM BEYAZIT UNIVERSITY

### JOURNAL OF TURKISH OPERATIONS MANAGEMENT

ISSN 2630-6433 e-ISSN 2630-6433

Küçükkoç Assoc. Prof. Dr. Nasr Hamood Mohamed Al- Hinai	University, Turkey Department of Mechanical and Industrial Engineering, College of Engineering Sultan Qaboos University, Oman	<a href="mailto:nhinai@squ.edu.om">nhinai@squ.edu.om</a>
Assoc. Prof. Dr. Burcu Özcan	Department of Industrial Engineering, Kocaeli University, Turkey	<a href="mailto:burcu.ozcan@kocaeli.edu.tr">burcu.ozcan@kocaeli.edu.tr</a>
Asst. Prof. Dr. Mahdi Fathi	Department of Information Technology and Decision Sciences, University of North Texas, USA	<a href="mailto:mahdi.fathi@unt.edu">mahdi.fathi@unt.edu</a>
Asst. Prof. Dr. Borzou Rostami	Lazaridis School of Business and Economics at Wilfrid Laurier University, Canada	<a href="mailto:brostami@wlu.ca">brostami@wlu.ca</a>
Asst. Prof. Dr. Mojtaba Ghiyasi	Faculty of Industrial and Management, Shahrood University, Iran	<a href="mailto:mog@shahroodut.ac.ir">mog@shahroodut.ac.ir</a>
Asst. Prof. Dr. Mohsen Afsharian	Institute of Management Control and Business Accounting, Technische Universität Braunschweig, Germany	<a href="mailto:m.afsharian@tu-braunschweig.de">m.afsharian@tu-braunschweig.de</a>
Asst. Prof. Dr. Hamidreza Ahady Dolatsara	School of Management, Clark University, USA	<a href="mailto:hahadydolatsara@clarku.edu">hahadydolatsara@clarku.edu</a>
Asst. Prof. Dr. Farzad Sattari Ardebili	Department of Management, Azad Ardebil University, Iran	<a href="mailto:farzadsattari@yahoo.com">farzadsattari@yahoo.com</a>
Asst. Prof. Dr. Zahra Sedighi Maman	Decision Sciences and Marketing, Adelphi University, USA	<a href="mailto:zmaman@adelphi.edu">zmaman@adelphi.edu</a>
Asst. Prof. Dr. Nasrin Mohabbati	Department of Information and Decision Sciences, California State University, USA	<a href="mailto:nasrin.mohabbati@csusb.edu">nasrin.mohabbati@csusb.edu</a>
Asst. Prof. Dr. Reza Kiani Mavi	School of Business and Law, Edith Cowan University, Australia	<a href="mailto:r.kianimavi@ecu.edu.au">r.kianimavi@ecu.edu.au</a>
Asst. Prof. Dr. Beata Mrugalska	Faculty of Engineering Management, Poznan University of Technology, Poland	<a href="mailto:beata.mrugalska@put.poznan.pl">beata.mrugalska@put.poznan.pl</a>
Asst. Prof. Dr. Erdal Aydemir	Department of Industrial Engineering, Suleyman Demirel University, Turkey	<a href="mailto:erdalaydemir@sdu.edu.tr">erdalaydemir@sdu.edu.tr</a>
Asst. Prof. Dr. Zeynep Ertem	Marshall School of Business, University of Southern California, USA	<a href="mailto:zeynepertem@gmail.com">zeynepertem@gmail.com</a>
Asst. Prof. Dr. Yavuz Selim Özdemir	Department of Industrial Engineering, Ankara Bilim University, Turkey	<a href="mailto:yavuz.selim.ozdemir@ankarabilim.edu.tr">yavuz.selim.ozdemir@ankarabilim.edu.tr</a>
Asst. Prof. Dr. Nuzhat Sadriwala	Department of Accounting, Manikyalal Verma Shramjeevi College, India	<a href="mailto:sadriwalanuzhat@gmail.com">sadriwalanuzhat@gmail.com</a>
Asst. Prof. Dr. Ahmet Çalık	Institute of Graduate Education, KTO Karatay University, Turkey	<a href="mailto:ahmet.calik@karatay.edu.tr">ahmet.calik@karatay.edu.tr</a>
Asst. Prof. Dr. Abdullah Yıldızbaşı	Department of Industrial Engineering, Ankara Yildirim Beyazıt University, Turkey	<a href="mailto:ayildizbasi@ybu.edu.tr">ayildizbasi@ybu.edu.tr</a>
Asst. Prof. Dr. Sercan Demir	Department of Industrial Engineering, Harran University, Turkey	<a href="mailto:sercandemir@harran.edu.tr">sercandemir@harran.edu.tr</a>
Asst. Prof. Dr. Gerçek Budak	Department of Industrial Engineering, Ankara Yildirim Beyazıt University, Turkey	<a href="mailto:gbudak@ybu.edu.tr">gbudak@ybu.edu.tr</a>
Asst. Prof. Dr. İbrahim Yılmaz	Department of Industrial Engineering, Ankara Yildirim Beyazıt University, Turkey	<a href="mailto:iyilmaz@ybu.edu.tr">iyilmaz@ybu.edu.tr</a>
Dr. Amir Mohammad Fathollahi-Fard	École de Technologie Supérieure, University of Québec, Canada	<a href="mailto:amir-mohammad.fathollahi-fard.1@ens.etsmtl.ca">amir-mohammad.fathollahi-fard.1@ens.etsmtl.ca</a>
Dr. Fateme Marandi	Department of Industrial Engineering and Management Systems, Amirkabir University of Technology, Iran	<a href="mailto:fatem.marandi@aut.ac.ir">fatem.marandi@aut.ac.ir</a>
Dr. Rameshwar Dubey	Liverpool Business School, Liverpool John Moore's University, UK	<a href="mailto:r.dubey@ljmu.ac.uk">r.dubey@ljmu.ac.uk</a>
Dr. Saeedeh Parsaeefard	Department of Electrical and Computer Engineering, University of Toronto, Canada	<a href="mailto:saeidah.fard@utoronto.ca">saeidah.fard@utoronto.ca</a>
Dr. Menekşe Salar Barım	Research Industrial Engineer, National Institute	<a href="mailto:mzs0053@auburn.edu">mzs0053@auburn.edu</a>





## ANKARA YILDIRIM BEYAZIT UNIVERSITY

### JOURNAL OF TURKISH OPERATIONS MANAGEMENT

ISSN 2630-6433 e-ISSN 2630-6433

Dr. Adem Pınar,	for Occupational Safety and Health, USA Logistics and Strategic Planner, Turkish Armed Forces, Turkey	<a href="mailto:adempinar@yahoo.com">adempinar@yahoo.com</a>
Inst. Nihan Çağlayan	Department of Management and Organization, Ahi Evran University, Turkey	<a href="mailto:nihancaglayan@ahievran.edu.tr">nihancaglayan@ahievran.edu.tr</a>
Res. Asst. Selin Çabuk	Department of Industrial Engineering, Cukurova University, Turkey	<a href="mailto:selincabuk@cu.edu.tr">selincabuk@cu.edu.tr</a>

#### Advisory Board / Danışma Kurulu

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



ANKARA YILDIRIM BEYAZIT UNIVERSITY

JOURNAL OF TURKISH OPERATIONS MANAGEMENT

ISSN 2630-6433 e-ISSN 2630-6433

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

### **Current Publication Schedule**

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

### **Manuscript Evaluation Process**

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

### **Open Access Policy**

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

### **Publication Fees**

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



INDEXING DATABASES

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



CONTENTS / İÇİNDEKİLER

**Research Articles / Araştırma Makaleleri**

- Development of a new model of gross domestic product forecasting  
**Yusuf Tansel İç, Hakan Civelek** 564-575
- Bakım ekiplerinin en kısa yoldan santrallara ulaşımı: hidroelektrik santral örneği  
**Tuğba Danışan, Evrencan Özcan, Tamer Eren** 576-587
- Üçüncü parti lojistik firma seçiminde q seviyeli bulanık TOPSIS uygulaması  
**Adem Pınar** 588-597
- Belirsizlik altında kaynak kısıtlı çok modlu çoklu proje çizelgeleme  
**Serdar Soysal, Berna Dengiz, Kumru Didem Atalay** 598-614
- Elektrik üretim santrallarında iş güvenliği uzmanı seçiminde hibrit bir karar modeli  
**Emel Erol, Evrencan Özcan, Tamer Eren** 615-629
- An overview of agri-food supply chains in the covid-19 pandemic period  
**Esra Ekinci, Berrak Çayır, Burak Arifoğlu, Yücel Öztürkoğlu** 630-640
- Afet lojistiğinde üç aşamalı karma tamsayı bir model önerisi  
**Hüseyin Soyöz, Bahar Özyörük** 641-661
- Bakım için makine öğrenme tekniklerinin analizi ve bir uygulama  
**Gözde Nur Calayır, Mehmet Kabak** 662-675
- Intuitionistic fuzzy green supplier selection and an application in the machine manufacturing sector  
**Fulya Zaralı** 676-687
- Yüksek seviyeli radyoaktif maddelerin taşınmasında hata ağacı analizi yönteminin kullanımının incelenmesi  
**Furkan Erdoğan, Ergün Eraslan** 688-702



# Journal of Turkish Operations Management

## Development of a new model of gross domestic product forecasting

Yusuf Tansel İç<sup>1\*</sup>, Hakan Civelek<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup>Department of Industrial Engineering, Baskent University, Etimesgut, Ankara,  
e-mail: yustanic@baskent.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0001-9274-7467>

<sup>2</sup>Department of Industrial Engineering, Baskent University, Etimesgut, Ankara,  
e-mail: hkn.cvlk19@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0003-4219-4264>

\*Corresponding author

### Article Info

#### Article History:

Received: 19.02.2021  
Revised: 22.03.2021  
Accepted: 24.03.2021

#### Keywords:

Economics,  
Forecasting,  
Design of experiments,  
Economic growth,  
Factorial design

### Abstract

Economic growth is a result of the increase in real Gross Domestic Product (GDP). Countries or international organizations estimate economic growth to predict the future cycle of the economy. Thus, decision-makers will be able to develop early policies against future situations. In this study, factorial designs, one of the experimental design methods, are used to estimate economic growth. Economic growth and growth estimation studies frequently used time series analysis and econometric methods to determine the factors. In this paper, we analyzed the correlation of the factors such as the inflation rate, unemployment rate, industrial production index, foreign trade volume to GDP ratio, and the ratio of gross external debt stock to GDP by using the correlation analysis. Then, we determined a novel regression model. The output of the regression model is the rate of change in GDP. The novel forecasting model emerges when providing a suitable regression model. In this study, we present a novel  $2^k$  factorial design methodology to solve the GDP forecasting problem. It is different from conventional forecasting models that require complex statistical evaluations. Furthermore, we propose a general framework of the model from the econometrics perspectives and a numerical solution to illustrate this demonstration.

## 1. Introduction

Economic growth, price stability, and using resources at the employment level are crucial macroeconomic targets. Economic growth is the increase in the number of goods and services produced by the country in a certain period. Economic growth is usually a long-term issue. Using the resources from inadequate employment level to employment level or increasing productivity in production factors impact economic growth. Also, many factors affect the economic growth rate positively or negatively.

Economic growth forecasting is a crucial issue in the management of the economy. In the literature, researchers proposed many approaches to forecasting economic growth. In this study, we present a new economic growth forecasting model using the experimental design methodology. We created experimental combinations of the  $2^k$  fractional factorial design with three replications using the MINITAB package program to obtain results. In the first replication, first quartile data from the year 2005 to 2017 for the five selected factors set. Then, second and third quarter data for years from 2005 to 2017 reflect for the second and third replications, respectively. We examined the data through the MINITAB program using ANOVA analysis for obtaining the regression equation required for economic growth forecasting. The alternative forecasting scenarios can easily facilitate the regression equation. We present three illustrative examples in this study.

The organization of the paper is as follows: Section 2 presents the literature review. Section 3 and 4 present the factorial design application steps. Section 5 illustrates examples. Finally, Section 6 presents the conclusions.

## 2. Literature Review on Forecasting of Economic Growth

The forecasting studies on economic growth went back to the beginning of the 20th century. Apart from these studies, there are many other studies published in the literature. For example, Sommers and Suits (1971) proposed a cross-sectional model for economic growth. In line with this model, they presented three simple equations for economic growth. They then made a growth forecasting through these equations. Fair and Parke (1980) established a nonlinear estimation model in 1976 and developed it in 1978. In his model, there are 97 coefficients, 29 of which are stochastic. Stock and Watson (2002) estimated the macroeconomic time series variables using several estimators in their study for the United States (US) in 2002. The dynamic factor model established a statistical framework for the prediction of indicators. Their estimation results from the developed model performed better than the univariate autoregression models.

Smets and Wouters (2003) proposed a dynamic stochastic equilibrium model at fixed prices in 2002 and used the prediction study using their multi-variate technique. Adofson et al. (2007) presented a forecasting technique. They developed a dynamic stochastic equilibrium model for open economic conditions. Krkoska and Teksoz (2009) analyzed the performance of Gross Domestic Product (GDP) growth and inflation forecasts for 25 transitional countries between 1994 and 2007 and showed a positive correlation between empirical results. Modis (2013) considered GDP growth as a natural growth process appropriate to the structure of the logistic-growth equation that suggested the S-shaped logistics model would provide good explanations and predictions for the last 80 years in both the nominal and real GDP in the US. Feng and Zhang (2014) used the Artificial Neural Networks (ANN) approach to obtain nonlinear functions to predict GDP growth. This approach offers advantages in self-learning, harmonization, adaptation and fault tolerance, and economic growth forecast applications. They suggested that the ANN method achieves better results in performance and efficiency compared to traditional methods.

Dias, Pinheiro, and Rua (2015) analyzed the multi-factor forecasting model performance of Portugal GDP growth rate using the monthly data set. They concluded that the multi-factor model performs significantly better than the univariate autoregressive model. Ferraini and Scaramozzino (2016) analyzed the effect of production complexity and adaptability on output level and economic growth rate. They confirmed that increasing complexity had an uncertainty effect on the output level. But increase the growth of human capital positively affecting economic growth. In 2016, Maksimovic, Jovic, and Jovanovic (2016) studied the fuzzy logic approach to GDP forecasting. They investigated the effects of agriculture, the manufacturing industry, and the service sector's impact on the GDP growth rate. As a result, they conclude that the service sector is the most effective sector for GDP growth. On the contrary, the manufacturing industry is the minimal effective sector on the GDP growth.

Markovic et al. (2017) developed and implemented the Extreme Learning Machine (ELM) to forecast the GDP growth rate. In the study, they analyzed GDP growth according to ten science and technology-related factors. They compared ELM results with artificial neural networks (ANN) and fuzzy logic results. Based on their simulation results, ELM has better forecasts of the GDP growth rate than the previous studies. Heiberger (2017) proposed a Bayesian approach using probabilistic network criteria to estimate GDP growth rate through networks for the financial markets. He asserted that the model correctly predicted all stagnation and welfare phases of the US economy. Dülger (2016) presented a data mining application by using the ANN technique for GDP forecasting. Feuerriegel and Gordon (2019) proposed a news-based methodology for predicting macroeconomic indicators. They used an experiment-based machine learning model to predict macroeconomic outcomes based on word occurrences and historic lags. Cerqueira et al. (2009) presented Engle–Granger's static equation methodology for estimating the Brazilian GDP quarterly series between the years 1960–1996. Amirat and Zaidi (2020) predicted GDP growth using knowledge-based economy indicators in Saudi Arabia based on time series data collected from 1991 to 2017. They used principal component analysis to choose suitable indicators for their framework, the multiple linear regressions for estimating GDP, and paired t-test to judge the predicted GDP.

Das and Coondoo (2018) examined the relationship between India's quarterly overall GDP, services GDP, manufacturing GDP, and the corresponding monthly data on manufacturing and services Purchasing Managers' Index from January 2006 to July 2014. Dua (2017) discussed the evolution of macroeconomic modeling. Dua's study focused on Bayesian methods and provided some applications for the Bayesian Vector Autoregression methods to the Indian economy. Ndoricimpa (2020) examined the threshold effects of public debt on economic growth in Africa. Kouziokas (2020) proposed a weighted support vector machines-based kernel approach applied in Gross Domestic Product growth forecasting. Yoon (2021) presented a method creating with the machine learning models such as a gradient boosting model and a random forest model to forecast real GDP growth of Japan years from 2001 to 2018. Costa et al. (2020) analyzed the classical time series model efficiency

(Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average and a Holt-Winter method) implemented to Brazilian GDP.

The main aim of our study is to present a new GDP forecasting model. In this paper, we proposed a novel  $2^k$  factorial design methodology to solve the GDP forecasting problem. Furthermore, we examine a general framework of the presented model in the econometrics perspectives and a numerical solution to the demonstration. The model proposes a methodology using a relevant macro-economic data set to obtain the regression model. The  $2^k$  factorial design methodology is the concept to determining the regression model. The developed forecasting model should also be expandable, adaptable, easy to use, and flexible for different economic environments.

### 3. Data Set

There have been attempts to use GDP forecasting issues in econometrics, social sciences, politics, and economics in literature (Arestis et al., 2001; Baldwin, 1995; Choe, 2003; Christopoulos, 2004; Freire-Seren, 2004; Lin and Sosin, 2001; Sylwester, 2001; Koulakiotis et al., 2012). Generally published studies from the area of social sciences and do not insist on familiar mathematical techniques. They presented to reflect main factors impact on GDP growth rate. As a result of the literature review on the factors affecting economic growth, we selected nine factors for evaluation in this study. These factors are “inflation rate (A),” “foreign trade volume /GDP (B),” “unemployment rate (C),” “industrial production index (D),” “external debt/GDP (E),” Research and Development (R&D) expenditures/GDP (F),” “domestic credit volume of deposit banks/GDP (G),” “foreign direct investments/GDP (H),” and “yearly energy consumption-billion kWh” (I). The freely accessible data years 2005-2017 are collected. Data obtained from The Central Bank of the Republic of Turkey (2017), Turkish Statistical Institute (2017), and World Bank (2017) at various macro-economic measures for the Turkish economy annually or quarterly and made public on their web sites in addition to their collection of information and reports (Table 1).

#### 3.1. Correlation analysis for data set

Correlation analysis is a statistical method. It obtains the relationship between multiple variables and measures the degree of this relationship. The correlation coefficient ( $r$ ) usually has a number between -1 and +1. When changes the variables have the same directionality, there is a positive correlation and  $0 < r < 1$ . There is a negative correlation between the variables in the opposite direction with each other. It has a value between  $-1 < r < 0$  in this case (Yurdakul and İç, 2009). Using the independent factors as much as possible in the experimental design is important to achieve suitable results. We perform correlation analysis using the MINITAB program to obtain an independent factor set. As a result of the analysis, Table 2 shows the correlation coefficient's grades.

In the case of “P-Value  $< 0.05$ ”, there was a significant correlation between the two factors. On the other hand, there was no correlation between the factors in the case “P-Value  $> 0.05$ ”. After eliminations, the remaining independent five factors are inflation rate (A), trade volume / GDP ratio (B), unemployment rate (C), industrial production index (D), and external debt / GDP ratio (E) for experimental design.

### 4. Experimental Design

In this study, a  $2^k$  factorial design is used. The factor combinations must create with low and high levels for the experiment (Montgomery, 2013; Hinkelmann and Kempthorne, 2008; Antony and Capon, 1998; Chang, 2011). For this purpose, a  $2^k$  fractional factorial design is used that would provide the least number of experimental combinations ( $1/4$  fraction =  $2(5-2) = 8$  runs with three replication) according to 5 factors using the MINITAB program.

**Table 1.** Data set

Year	A	B	C	D	E	F	G	H	I
2005	8.18	37.3	9.7	59.6	33.8	0.57	0.1797	0.0170	162
2006	9.6	40.8	8.9	64.0	37.7	0.56	0.2159	0.0320	176



2007	8.76	40.6	9.2	68.5	36.6	0.69	0.2479	0.0283	192
2008	10.44	42.7	12.0	68.1	35.8	0.69	0.2699	0.0191	198
2009	6.25	37.3	11.9	61.3	41.2	0.81	0.2976	0.0097	195
2010	8.57	38.5	10.0	69.4	37.5	0.80	0.3700	0.0081	211
2011	6.47	44.8	8.5	80.1	36.4	0.80	0.4078	0.0193	229
2012	8.89	44.4	8.8	83.5	39.0	0.83	0.4288	0.0123	239
2013	7.49	42.1	9.1	89.0	41.2	0.82	0.4963	0.0110	240
2014	8.85	42.5	10.2	94.2	43.4	0.86	0.5257	0.0092	252
2015	7.67	40.5	12.0	100.0	46.5	0.88	0.5485	0.0140	262
2016	7.78	39.3	9.0	103.4	46.9	0.94	0.5680	0.0087	274
2017	11.14	45.5	10.0	112.6	48.9	0.96	0.5733	0.0088	296

**Table 2.** Correlation analysis

	A	B	C	D	E	F	G	H
B	0.207							
	<b>0.519</b>							
C	0.041	-0.283						
	<b>0.899</b>	<b>0.373</b>						
D	-0.180	0.342	-0.092					
	<b>0.575</b>	<b>0.277</b>	<b>0.776</b>					
E	-0.305	-0.089	0.237	0.821				
	<b>0.336</b>	<b>0.784</b>	<b>0.459</b>	<b>0.100</b>				
F	-0.442	0.179	0.103	0.811	0.800			
	<b>0.150</b>	<b>0.577</b>	<b>0.750</b>	<b>0.001</b>	<b>0.002</b>			
G	-0.665	-0.266	0.290	0.384	0.642	0.758		
	<b>0.018</b>	<b>0.404</b>	<b>0.360</b>	<b>0.218</b>	<b>0.024</b>	<b>0.004</b>		
H	0.392	0.153	-0.245	-0.470	-0.522	-0.756	-0.644	
	<b>0.208</b>	<b>0.634</b>	<b>0.442</b>	<b>0.123</b>	<b>0.082</b>	<b>0.004</b>	<b>0.024</b>	
I	-0.255	0.362	-0.042	0.968	0.822	0.921	0.986	-0.586
	<b>0.423</b>	<b>0.248</b>	<b>0.896</b>	<b>0.000</b>	<b>0.001</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.045</b>

Pearson Correlation Coefficients

P-Value

*Positive correlation*

Note: Research and publication ethics were followed in this study.

#### 4.1. Application

The inflation rate, unemployment rate, industrial production index, trade volume / GDP ratio, and external debt / GDP ratio are adjusted from 2005 to 2017 for the first eight runs (Table 3). The median values of the data are assigned as threshold values. In the data set, the median values are 8.57 for inflation rate; 40.8 for trade volume / GDP ratio, 9.7 for unemployment, 80.1 for production index, and 38 for external debt/ GDP ratio (Figure 1). The second and third replication values are obtained using the 2nd and 3rd quarter data for the same years with the final experimental design is obtained in the same way (Table 3).

Factors and related yearly GDP values from 2005 to 2017 for the first replication

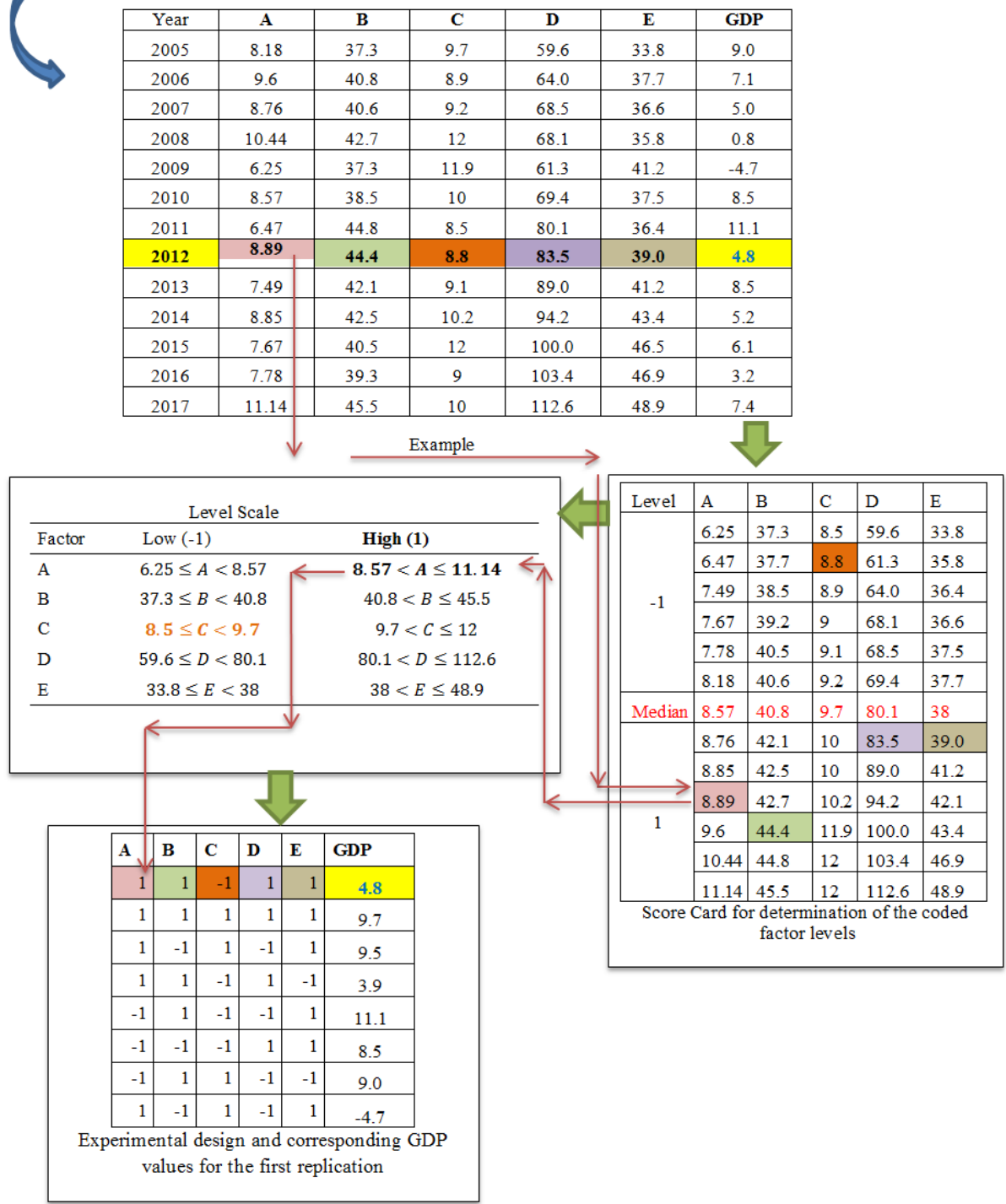


Figure 1. Determination of experimental design for the replication 1

4.2. 2<sup>k</sup> Factorial Design Analysis

The empirical outcomes are examined by the Analysis of Variance (ANOVA) analysis. The ANOVA results give a summary of the factor effects (Table 4). Hence, the regression model (Eq. 1) is a generalization of the GDP forecasting:

$$y = 5.229 - 0.146A + 2.196B - 2.321C - 1.146D + 1.558E + 1.912B * C \tag{1}$$

**Table 3.** Final experimental design and corresponding GDP values for all 3 replications

A	B	C	D	E	GDP
1	1	-1	1	-1	4.8
1	1	1	1	1	9.7
1	-1	1	-1	1	9.5
1	1	-1	1	-1	3.9
-1	1	-1	-1	1	11.1
-1	-1	-1	1	1	8.5
-1	1	1	-1	-1	9
1	-1	1	-1	1	-4.7
-1	1	-1	-1	1	11.7
-1	-1	1	1	-1	-4.7
1	1	1	1	1	5.2
-1	1	-1	-1	1	7.9
1	-1	1	-1	1	0.8
1	-1	-1	-1	-1	5
-1	1	1	-1	-1	3.6
1	1	-1	1	-1	7.6
-1	-1	1	1	-1	-3.4
1	1	1	1	1	5.6
1	-1	-1	-1	-1	6.5
-1	1	1	-1	-1	9
-1	-1	1	1	-1	-4.7
-1	-1	-1	1	1	8
1	-1	-1	-1	-1	7.1
-1	-1	-1	1	1	8.5

**Table 4.** Factors and their effects

	Effect	Coefficient	SE Coef	T	P
Term		5.229	0.6329	8.26	0.000
A	-0.292	-0.146	0.6329	-0.23	0.821
<sup>a</sup> B	4.392	2.196	0.6329	3.47	<b>0.003</b>
<sup>a</sup> C	-4.642	-2.321	0.6329	-3.67	<b>0.002</b>
D	-2.292	-1.146	0.6329	-1.81	0.089
<sup>a</sup> E	3.175	1.588	0.6329	2.51	<b>0.023</b>
<sup>†</sup> B*C	3.825	1.912	0.6329	3.02	<b>0.008</b>
B*E	-0.958	-0.479	0.6329	-0.76	0.460
S = 3,10040		R-Sq = 73,69%		R-Sq(adj) = 62,18%	

<sup>a</sup> Main factors B, C, and E are statistically significant (p < 0.05), A and D is not.

<sup>†</sup> Two-way interaction is statistically significant (p < 0.05)

**4.3. Model Validation**

Model verification measures are used to determine “how accurately the model obtained by the analysis can represent the actual system”. The Absolute Relative Error (ARE) method is used to validation process (Kleijnen and Sargent, 2000; Dengiz et al., 2016):

$$ARE(R, F) = \frac{|R-F|}{R} \tag{2}$$

where; R is realized growth values, F is the value estimated from the developed model.

The equation is tested against scenarios at seven selected design points-other than the 2<sup>3</sup> design- within their possible ranges to provide the validity of the developed regression equation in this paper (Table 5). Then, the outputs determined from the regression equation (F) are compared with the results obtained from the realized growth values (R) using the same combination of variables (see Table 5).

**Table 5.** Validation test results

A	B	C	D	E	Y (GDP)		
					R	F	
1	1	-1	1	-1	4.8	5.05	
1	1	1	1	1	9.7	7.41	
1	1	-1	1	-1	3.9	5.05	
-1	1	-1	-1	1	11.1	10.81	
-1	-1	-1	1	1	8.5	7.75	
-1	1	1	-1	-1	9	6.82	
1	-1	-1	-1	1	7.1	6.59	
Average							0.14

When the first test point of this design is applied to the regression model, the result will be obtained as follows:

$$y = 5.229 - 0.146 * (1) + 2.196 * (1) - 2.321 * (-1) - 1.146 * (1) + 1.558 * (-1) + 1.912 * (1) * (-1) = 5.05 \quad (2)$$

When the same process is applied to other experimental points, model results and ARE values are obtained in Table 5. In this case, the average ARE value was calculated as 14%. Therefore, it is concluded that the regression equation can be used as the GDP forecasting model since it is computationally efficient enough to explore all possible combinations among five economic factors.

## 5. Empirical Tests of the Developed Model

### 5.1. Test 1

We proposed a retrospective test study for the regression model using the fourth-quarter data for 2005-2017 (Table 6).

**Table 6.** Empirical test result for the developed model

Q4	Factor values					GDP	Coded values calculated by interpolation approach					Forecast	ARE
	A	B	C	D	E		A	B	C	D	E		
2005	7.62	37.36	9.87	64.89	34.16	10.5	-0.275	0.318	-0.165	-0.777	-0.163	6.87	0.3457
2006	9.83	40.76	8.9	67.49	37.97	6.3	0.424	0.550	-0.538	-0.680	0.077	7.91	0.2556
2007	8.16	39.17	9.53	71.22	36.89	5.5	-0.104	0.442	-0.296	-0.541	0.009	7.26	0.3200
2008	10.93	38.61	11.53	62.55	36.16	-5.9	0.772	0.403	0.473	-0.864	-0.037	6.20	2.0511
2009	5.71	37.4	12.33	67.73	41.55	3.1	-0.880	0.321	0.781	-0.671	0.303	6.04	0.9484
2010	7.43	39.48	10.43	77.48	37.77	9.7	-0.335	0.463	0.050	-0.308	0.064	6.68	0.3113
2011	9.2	44.89	8.6	87.36	36.71	9.9	0.225	0.831	-0.654	0.060	-0.003	7.37	0.2556
2012	6.77	41.28	8.73	89.3	39.25	4.2	-0.544	0.585	-0.604	0.132	0.158	7.36	0.7524
2013	7.48	42.77	9.33	96.35	41.29	6.9	-0.320	0.687	-0.373	0.395	0.286	7.12	0.0319
2014	8.76	41.19	10.67	100.32	43.32	5.9	0.085	0.579	0.142	0.543	0.415	6.35	0.0763
2015	8.16	39.41	10.6	111.04	46.35	7.5	-0.104	0.458	0.115	0.942	0.606	5.96	0.2053
2016	7.57	39.82	12.2	114.77	47.31	4.2	-0.291	0.486	0.731	1.000	0.666	5.28	0.2571
2017	12.27	45.64	10.33	126.84	53.25	7.3	1.000	0.882	0.012	1.000	1.000	7.43	0.0178
Average													0.4483

For 2005:  $y = 5.229 - 0.146 * (-0.28) + 2.196 * (0.32) - 2.321 * (-0.17) - 1.146 * (-0.78) + 1.558 * (-0.16) + 1.912 * (0.32) * (-0.17) = 6.87$

The factor values are converted to coded values between -1 and +1 by interpolation. Predicted GDP values and ARE comparisons results are given in Table 6. In this example, the regression equation is applied to historical data, and the average ARE value is calculated as 44.8%.

5.2. Test 2

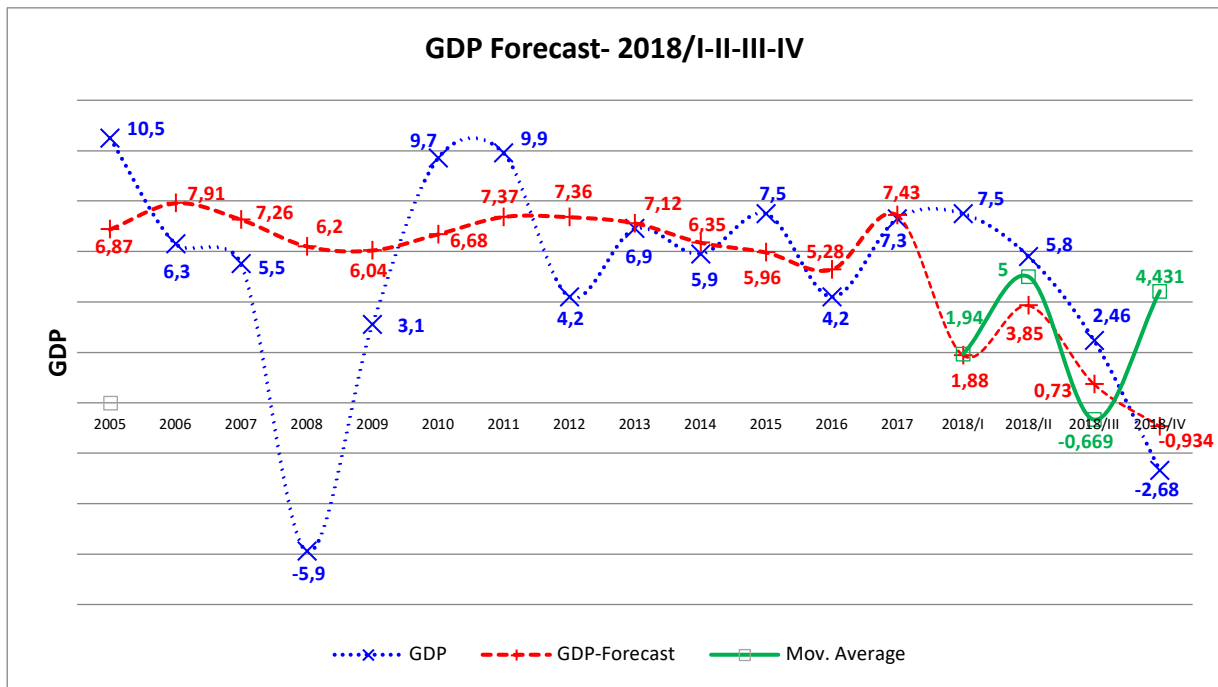
This test proposes a new forecasting study for model testing using data for the 2018 year (Table 7). The factor values are converted to coded values between -1 and +1 by interpolation. Forecasted GDP values and current GDP values comparison results are given in Table 7. It is seen that the results obtained for the proposed model are very close to each other.

**Table 7.** Empirical test result for the developed model

	2018-I		2018-II		2018-III		2018-IV	
	Real- Uncoded	Coded	Real- Uncoded	Coded	Real- Uncoded	Coded	Real- Uncoded	Coded
A	10.23	0.645	15.39	1	24.52	1	20.3	1
B	31.64	-1	30.38	-1	28.96	-1	25.63	-1
C	10.5	0.347	9.6	-0.083	11.1	0.608	12.3	1
D	120.7	1	107.2	0.83	114.8	1	117.2	1
E	52.4	1	51.5	1	53	1	55	1
GDP-Forecast		1.88		3.85		0.73		<b>-0.934</b>
GDP-Forecast-Moving Average	4.943		5.003		-0.669		4.431	
GDP	7.5		5.8		2.46		-2.68	

For 2018-IV:  $y = 5.229 - 0.146 * (1) + 2.196 * (-1) - 2.321 * (1) - 1.146 * (1) + 1.558 * (1) + 1.912 * (-1) * (1) = -0.934$

Figure 2 shows the graphical illustration of the proposed model for the Turkish GDP data concerning the fourth quarter of 2005-2017. The graphic also shows the forecasting results from 2018-Q1 to 2018-Q4 between the periods. Furthermore, we proposed another prediction results from the moving average method (Figure 3).



**Figure 2.** 2<sup>k</sup> experimental design model fitted to the observed Turkish quarterly GDP ("x") period from 2005 to 2017. Forecast (red line) for the horizon of 2018 (green line), superimposed on the values observed in this period

It is shown that the proposed 2<sup>k</sup> experimental design model is capable of predicting the GDP reasonably. The prediction also occurred significantly in periods after the strong recession, such as the international financial crisis of 2008.

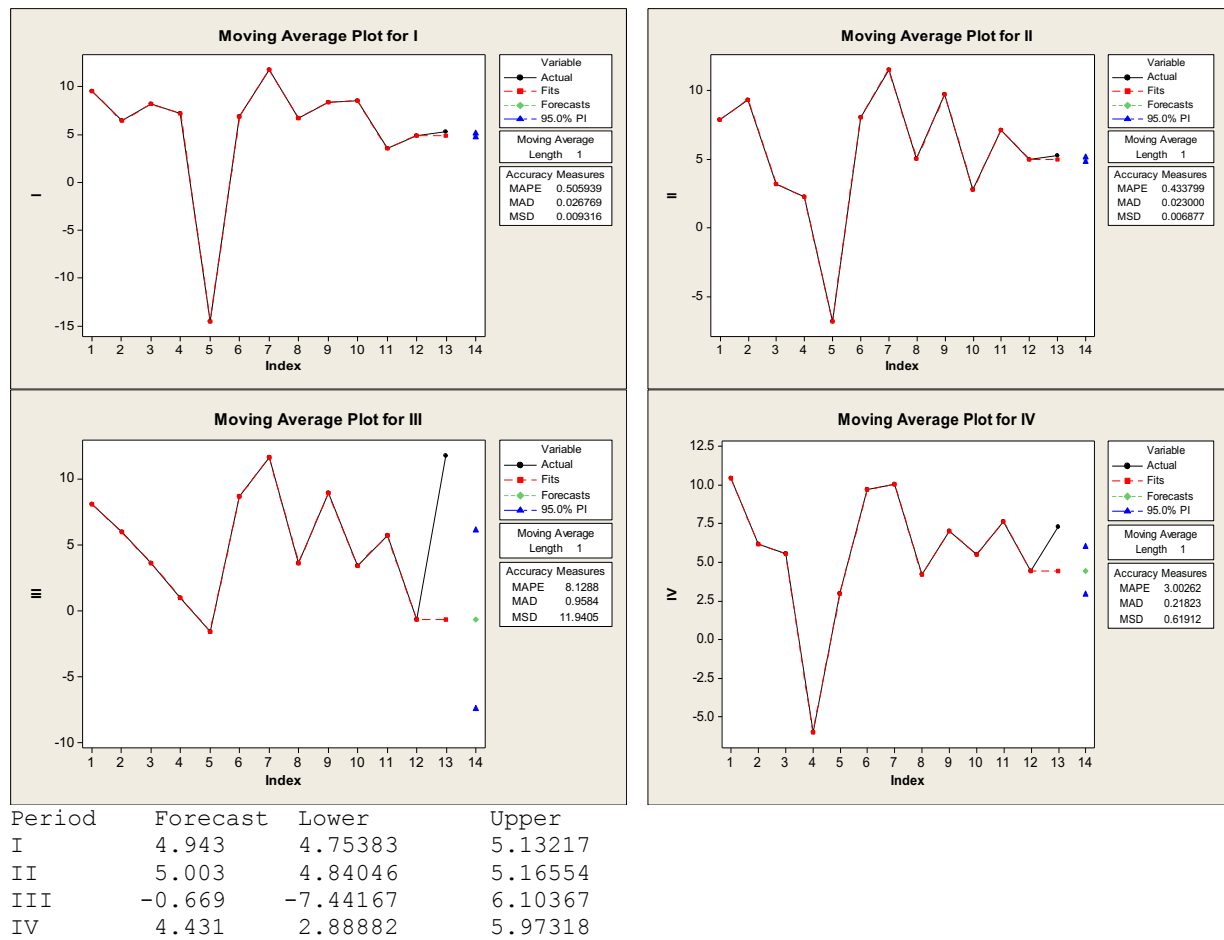


Figure 3. GDP forecasting results for 2018 periods using the moving average method

5.3. Test 3

In this test, we form a mathematical model using the obtained regression equation as the objective function. On the other hand, the factors used in the regression equation represent decision variables. We can determine the factor levels to set a growth rate equal to “7.0” using the non-linear mathematical model:

$$Z = 5.229 - 0.146x_1 + 2.196x_2 - 2.321x_3 - 1.146x_4 + 1.558x_5 + 1.912x_2x_3 \tag{3}$$

Subject to:

$$-1 \leq x_1 \leq 1 \tag{4}$$

$$-1 \leq x_2 \leq 1 \tag{5}$$

$$-1 \leq x_3 \leq 1 \tag{6}$$

$$-1 \leq x_4 \leq 1 \tag{7}$$

$$-1 \leq x_5 \leq 1 \tag{8}$$

When the mathematical model is solved with MS Excel Solver so that the objective function is equal to 7.0, and the following solution results are obtained:  $x_1 = -0.0253$ ,  $x_2 = 0.310947$ ,  $x_3 = -0.31292$ ,  $x_4 = -0.18332$ ,  $x_5 = 0.232539$ .

Results obtained with MS Excel Solver consist of coded values between -1 and 1. Interpolation is applied to convert these values to actual values. When these results are converted to encoded data, the following results are obtained:  $A = 8.63$ ,  $B = 42.67$ ,  $C = 9.7$ ,  $D = 81.24$ ,  $E = 43.11$ . It can be said that the values of the factors should be close to the above results for a level of 7.0 growths for the Turkish Economy. It is seen that the results obtained for the proposed model are very close to each other.

## 6. Conclusion

This study proposes a GDP forecasting model to estimate economic growth targets. The aim is to create a regression function obtained by taking into account the principles of experiment design. The obtained regression function represents the objective function of the mathematical model. It provides an idea with the macroeconomic indicators for the targeted growth figures using the factors and their lower/upper limits as constraints. The model, of course, has a prediction error. However, the fact that it depends on the model based on historical data. But it can provide a significant reference for the objective of the forecasting process.

The major disadvantage of the prediction model is its usefulness for estimating the next 1-2 years. Apart from this, it's an appropriate model for estimating especially quarterly periods. Of course, it is significant to have a balanced economic period and environment for the prediction process. Balancing the economic conditions is considerable for the forecasting process. Because the Turkish economy balanced between the 2005-2017 periods (except for 2008) in comparison to other years, our forecasts were successful. The new regression model development process is simple by updating with new data in specific periods. On the other hand, for future work, modeling stages can be programmed in a computer environment.

### Contribution of Researchers

Hakan Civelek contributed to establishing the Introduction and Literature Review sections and collection of the data. Yusuf Tansel İç contributed to developing the model, obtaining the model solution, and writing the paper.

### Conflict of Interest

The authors declared that there is no conflict of interest.

### References

- Adofson, M., Laseen, S., Linde, J., Villani, M. (2007). Bayesian estimation of an open economy dsge model with incomplete pass-through. *Journal of International Economics*, 72(2), 481-511. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jinteco.2007.01.003>
- Amirat, A., Zaidi, M. (2020). Estimating GDP growth in Saudi Arabia under the government's vision 2030: a knowledge-based economy approach. *J Knowl Econ* 11, 1145–1170. doi: <https://doi.org/10.1007/s13132-019-00596-2>
- Antony, J. and Capon, A. (1998). Teaching experimental design techniques to industrial engineers. *Int. J. Engng Ed.*, 14(5), 335-343. <https://www.ijee.ie/articles/Vol14-5/ijee1033.pdf>
- Arestis, P., Demetriades, P.O., & Luintel, K.B. (2001). Financial development and economic growth: the role of stock markets. *Journal of Money, Credit and Banking*, 33(1), s. 16–41. doi:<https://doi.org/10.2307/2673870>
- Baldwin, R.E. (1995). The effects of trade and foreign direct investment on employment and relative wages, *OECD Economic Studies*, 4. doi: <https://doi.org/10.1787/888157653682>
- Central Bank of Republic of Turkey (2017). Erişim adresi: <https://evds2.tcmb.gov.tr/index.php?/evds/serieMarket>
- Cerqueira, L.F., Pizzinga, A. & Fernandes, C. (2009). Methodological procedure for estimating Brazilian quarterly GDP series. *Int Adv Econ Res* 15, 102–114. doi:<https://doi.org/10.1007/s11294-008-9187-2>
- Choe, J. I. (2003). Do foreign direct investment and gross domestic investment promote economic growth? *Review of Development Economics*, 7(1), 44-57. doi: <https://doi.org/10.1111/1467-9361.00174>
- Christopoulos, D. (2004). The relationship between output and unemployment: evidence from Greek regions. *Papers in Regional Science*, 83(3), 611-620. doi: <https://doi.org/10.1007/s10110-004-0198-y>
- da Costa, K. V. S., da Silva, F. L. C., & Coelho, J. D. S. C. (2020). Forecasting quarterly Brazilian GDP: univariate models approach. *arXiv preprint arXiv:2010.13259*. [arXiv:2010.13259v1](https://arxiv.org/abs/2010.13259)



- Das, S., Coondoo, D. (2018). Is PMI useful in quarterly GDP growth forecasts for India? An exploratory note. *J. Quant. Econ.* 16, 199–207. doi: [10.1007/s40953-017-0116-1](https://doi.org/10.1007/s40953-017-0116-1)
- Dengiz, B., İç, Y.T., Belgin, Ö. (2016). A meta-model based simulation optimization using hybrid simulation-analytical modeling to increase the productivity in automotive industry. *Mathematics and Computers in Simulation*, 120, 109-128. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matcom.2015.07.005>
- Dias, F., Pinheiro, M., Rua, A. (2015). Forecasting Portuguese GDP with factor models: pre- and post-crisis evidence, *Economic Modelling*, 44(C), 266-272. doi: <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2014.10.034>
- Dua, P. (2017). Macroeconomic modelling and Bayesian methods. *J. Quant. Econ.*, 15, 209–226. doi: <https://doi.org/10.1007/s40953-017-0077-4>
- Dülger, E. (2016). *Ekonomide öncü göstergeler ile büyüme tahmini uygulaması*. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, Turkey (In Turkish). <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=0W0pDX4SiqLdaZ2J5z-hIA&no=NRkPffcIJUMaHHnzMvN70w>
- Fair, R.C., Parke, W.R. (1980). Full-information estimates of a nonlinear macro-econometric model, *Journal of Econometrics*, 13(3), 269-291. doi: [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(80\)90080-9](https://doi.org/10.1016/0304-4076(80)90080-9)
- Feng, L., Zhang, J. (2014). Application of artificial neural networks in tendency forecasting of economic growth. *Economic Modelling*, 40, 76-80. doi: <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2014.03.024>
- Feuerriegel, S., Gordon, J. (2019). News-based forecasts of macroeconomic indicators: A semantic path model for interpretable predictions. *European Journal of Operational Research*, 272, 162–175. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.05.068>
- Ferraini, B., Scaramozzino, P. (2016). Production complexity, adaptability and economic growth. *Structural Change and Economic Dynamics*, 37, 52-61. doi: <https://doi.org/10.1016/j.strueco.2015.12.001>
- Freire-Seren, M. J. (1999). Aggregate R&D expenditure and endogenous economic growth. *UFAE and IAE Working Papers* No: WP436.99. <https://econpapers.repec.org/scripts/redir.pf?u=http%3A%2F%2Fpareto.uab.es%2Fwp%2F1999%2F43699.pdf;h=repec:aub:autbar:436.99>
- Sommers, P. M., Suits, D.B. A cross-section model of economic growth. *The Review of Economics and Statistics*, 53(2), 121-128. doi: <https://doi.org/10.2307/1925707>
- Heiberger, R. H., (2017). Predicting economic growth with stock networks. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 489, 102-111. doi: <https://doi.org/10.1016/j.physa.2017.07.022>
- Hinkelmann, K., Kempthorne, O. (2008). *Design and Analysis of Experiments*, A John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, USA.
- Kleijnen, J.P.C., Sargent, R.G. (2000). A Methodology for fitting and validating meta-models in simulation. *European Journal of Operational Research*, 120,14–29. doi: [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(98\)00392-0](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00392-0)
- Koulakiotis, A., Lyroudi, K. & Papasyriopoulos, N. (2012). Inflation, GDP and causality for European Countries. *Int Adv Econ Res* 18, 53–62. doi: <https://doi.org/10.1007/s11294-011-9340-1>
- Kouziokas, G. (2020). A new W-SVM kernel combining PSO-neural network transformed vector and Bayesian optimized SVM in GDP forecasting. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 92, 103650. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2020.103650>
- Krkoska, L., Teksoz, U. (2009). How reliable are forecast of gdp growth and inflation for countries with limited coverage? *Economic Systems*, 33(4), 376-388. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecosys.2009.04.003>
- Lin, S., Sosin, K. (2001). Foreign debt and economic growth. *Economics of Transition*, 9(3), 635-655. doi: <https://doi.org/10.1111/1468-0351.00092>

- Maksimovic, G., Jovic, S., Jovanovic, R. (2016). Economic growth rate management by soft computing approach. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 464, 520-524. doi: <https://doi.org/10.1016/j.physa.2016.08.063>
- Markovic, D., Petkovic, D., Nikolic, V., Milovancevic, M. & Petkovic, B. (2017). Soft computing prediction of economic growth based in science and technology factors. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 465, 217-220. doi: <https://doi.org/10.1016/j.physa.2016.08.034>
- Montgomery, D. C. (2013). *Design and Analysis of Experiments*, Eight Ed., A John Wiley & Sons, Inc., USA.
- Modis, T. (2013). Long-term GDP forecast and the prospects for growth. *Technological Forecasting & Social Change*, 80(8), 1557-1562. doi: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2013.02.010>
- Ndoricimpa, A. (2020). Threshold effects of public debt on economic growth in Africa: A new evidence. *Journal of Economics and Development*, 22(2), 187-207. doi: <https://doi.org/10.1108/JED-01-2020-0001>
- Stock, J.H., Watson, M. W. (2002). Macroeconomic forecasting using diffusion indexes. *Journal of Business and Economic Statistics*, 20(2), 147-162. doi: <https://doi.org/10.1198/073500102317351921>
- Smets, F., Wouters, R. (2003). An estimated dynamic stochastic general equilibrium model of the euro area, *Journal of the European Economic Association*, 1(5), 1123-1175. doi: <https://doi.org/10.1162/154247603770383415>
- Sylwester, K. (2001). R&D and economic growth. *Knowledge, Technology, & Policy*, 13(4), 71-84. doi: <https://doi.org/10.1007/BF02693991>
- Turkish Statistical Institute (2017). Erişim adresi: [http://www.tuik.gov.tr/PreIstatistikTablo.do?istab\\_id=2218](http://www.tuik.gov.tr/PreIstatistikTablo.do?istab_id=2218)
- World Bank (2017). Erişim adresi: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.KD.ZG?locations=TR&view=chart>
- Yoon, J. (2021). Forecasting of real GDP growth using machine learning models: Gradient boosting and random forest approach. *Comput Econ*, 57, 247–265. doi: <https://doi.org/10.1007/s10614-020-10054-w>
- Yurdakul, M., İç, Y.T. (2009). Application of correlation test to criteria selection for multi criteria decision making (MCDM) models. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 40(3-4), 403–412. doi: <https://doi.org/10.1007/s00170-007-1324-1>



# Journal of Turkish Operations Management

## Bakım ekiplerinin en kısa yoldan santrallara ulaşımı: hidroelektrik santral örneği

Tuğba Danışan<sup>1</sup>, Evrencan Özcan<sup>2</sup>, Tamer Eren<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Endüstri Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale  
e-mail: tugbadanisan@gmail.com, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0003-1998-6810>

<sup>2</sup>Endüstri Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale  
e-mail: evrencan.ozcan@kku.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-3662-6190>

<sup>3</sup>Endüstri Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale  
e-mail: teren@kku.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0001-5282-3138>

\*Sorumlu Yazar

### Makale Bilgisi

#### Makale Geçmişi:

Geliş: 19.12.2020  
Revize: 06.02.2021  
Kabul: 25.02.2021

#### Anahtar Kelimeler:

Bakım,  
En kısa yol,  
Hidroelektrik santral,  
Floyd-Warshall

### Özet

Elektrik santralleri bir ülkenin enerji arzının karşılanmasına hizmet eden önemli tesislerdir. Elektrik enerji talebinin sürekli olması nedeniyle elektrik üretiminin de kesintisiz olması gerekmektedir. Bu durum santrallerin uzun yıllar çalışmasından kaynaklı yıpranmasına yol açmaktadır. Üretim sürdürülebilirliğinin sağlanması için santrallara bazı bakımların yapılması gerekmektedir. Bu nedenle santrallerdeki arızaların giderilmesi ve bakımların yapılması için zaman önemli bir kısıttır. En kısa zamanda bakımlara başlanması sürdürülebilirlik noktasında önem arz etmektedir. Santraldeki mekanik, elektriksel ve elektronik tüm ekipmanların bakımı, uzman bakım ekipleri tarafından yapılmaktadır. Bu çalışmada Türkiye'deki elektrik enerjisi talebinin yaklaşık %31,9'unu karşılayan Hidroelektrik Santraller (HES) için uygulama yapılmıştır. Çalışmada bakım için görevlendirilen üç ekibin santrallara en kısa yoldan ulaşması problemi ele alınmıştır. Türkiye'deki HES'ler arasında yıllık üretim miktarı yüksek olan on iki HES için çalışma yapılmıştır. Santrallerdeki bakımlarda görev alabilecek ekipler her santralde bulunmamaktadır. Çalışmaya dahil edilen on iki HES için bakımları yapabilecek sadece üç ekip bulunmaktadır. Bu nedenle bu üç ekibin santrallara en kısa yoldan ulaşmaları amaçlanmıştır. Problem çözümünde Floyd-Warshall algoritması kullanılmıştır. C tabanlı bir kod yardımı ile elde edilen çözümler sonucunda bakım ekiplerinin santrallara ulaşımında optimal sonuç veren en kısa yollar bulunmuştur.

## Transportation of maintenance teams to power plants from the shortest path: a case for the hydroelectric power plant

### Article Info

#### Article History:

Received: 19.12.2020  
Revised: 06.02.2021  
Accepted: 25.02.2021

#### Keywords:

Maintenance,  
Shortest path,  
Hydroelectric power plant,  
Floyd-Warshall

### Abstract

Power plants are important facilities that serve to meet the energy supply of a country. Since the demand for electrical energy is continuous, electricity generation must also be uninterrupted. This situation causes the power plants to wear out due to long years of operation. In order to ensure the sustainability of production, some maintenance should be done to the power plants. For this reason, time is an important constraint for repairing breakdowns and performing maintenance in power plants. Starting maintenance as soon as possible is important in terms of sustainability. The maintenance of all mechanical, electrical and electronic equipment in the plant is carried out by expert maintenance teams. In this study, applications were made for Hydroelectric Power Plant (HPP), which meet approximately 31.9% of the electricity demand in Turkey. In this study, the problem of three teams assigned for maintenance reaching the plants in the shortest path was discussed. This study was made for twelve HPPs with high

annual production amount were carried out among HPPs in Turkey. The teams that can take part in the maintenance of the plants is not available in every power plant. There are only three teams that can do maintenance for the twelve HPPs included in the study. These three teams were aimed to reach the power plants from the shortest path to do the necessary maintenance.

## 1. Giriş

Endüstriyel anlamda bakım, bir makine ya da ekipmanın işlevini yerine getirememesinin nedenlerinin ortadan kaldırılması için yapılan uygulamaların bütünüdür. Bakım, üretim tesislerinin güvenilir, kalite düzeyi yüksek, ekonomik, verimli, kesintisiz ve çevreye duyarlı üretim yapması olarak tanımlanan sürdürülebilirlik hedefine üst düzeyde katkı sağlayan bir prosestir (Özcan, Danışan ve Eren, 2019). Sürekli üretim tesisleri arasında yer alan santrallerin uzun yıllar işletilmesi sonucu maruz kaldıkları metal yorgunluğu, yüksek basınç, yüksek sıcaklık gibi koşullar altında çalıştırılması, özellikle yaşlı denilebilecek santrallerde bakım uygulamalarının gerçekleştirilmesini zorunlu hale getirmektedir (Özcan, Danışan ve Eren, 2020a). Yapılan bu çalışmanın uygulama alanı olan Hidroelektrik Santraller (HES) için genel olarak arıza (düzeltici), kestirimci, periyodik (önleyici) ve revizyon bakım olmak üzere dört bakım stratejisi uygulanmaktadır. Arıza bakım, yaşanan bir arıza sonucu uygulanan ve bakım süresi arızanın büyüklüğüne göre değişen bir bakım stratejisidir. Periyodik bakım, santralin arızaya düşmesini önlemek amacıyla yapılan haftalık, aylık, yılda iki kez ve yılda bir gibi farklı periyotlarda gerçekleştirilen planlı uygulamalardan oluşan bakımlardan oluşmaktadır. Kestirimci bakım, ekipman arızasının ne zaman ortaya çıkacağını tahmin edebilmek amacıyla ekipmanın çalışma durumunun izlenerek arıza süresini ve bakım maliyetini azaltmanın amaçlandığı uygulamalardan oluşmaktadır. Revizyon bakım ise santrallerde uygulanan ve diğer bakım stratejilerine göre daha uzun sürede tamamlanan uygulamalardan oluşan bakım stratejisidir (Danışan, 2019; Yumuşak, 2020).

Santrallerdeki bakım uygulamaları santral çalışırken yapılabileceği gibi revizyon bakım gibi büyük çaplı bakımlarda santral ünite ya da bloğunun durdurulması söz konusu olmaktadır. Bu nedenle bölge ya da ülke genelinde elektrik kesintileri de yaşanmaktadır. İstenmeyen röle işlemleri ve arızaları, iletişim ve bilgi hataları, donanım ve teçhizat arızaları gibi operasyonel hatalardan kaynaklı olarak oluşan elektrik kesintileri ise maliyeti büyük sonuçlar doğurmaktadır. Özellikle Türkiye’de elektrik kesintisi olması durumunda üretim kaybının saatte 100 milyon dolar gibi büyük bir maliyete (Polat ve Şekerci, 2015) neden olması elektrik üretim santrallerinde kesintisiz üretimin sağlanmasının önemini ve kesinti olması durumunda ülke genelinde oluşacak zararı gözlemlemek adına önemlidir. Tüm bu nedenlerden dolayı santrallerde uygulanacak bakımların kısa sürede elektrik üretim sistemini etkilemeyecek şekilde tamamlanması gerekmektedir. Bu nedenle santrallerde yaşanan bazı arızaların giderilmesi ve çeşitli bakım uygulamalarının yapılabilmesi için zaman önemli bir kısıttır ve santrallerde bakımların en kısa sürede tamamlanması üretimin sürdürülebilirliği noktasında önem arz etmektedir.

HES’ler Türkiye’deki elektrik enerjisi talebinin karşılanmasında önde gelen yenilenebilir enerji kaynaklarından (EMO, 2020). Bu çalışmada HES’lerin bakımı için görevlendirilen ekiplerin santrallara en kısa yoldan ulaşması problemi ele alınmıştır. Problem kapsamında Türkiye’deki on iki HES üzerinde çalışma yapılmıştır. Çalışmada bakım için görevlendirilen ekiplerin en kısa sürede en kısa yoldan santrallara ulaşımını sağlamak amaçlanmıştır. Floyd-Warshall algoritması kullanılmıştır. C tabanlı bir kod yardımı ile elde edilen çözümler sonucunda bakım ekiplerinin santrallara ulaşımında optimal sonuç veren en kısa yollar bulunmuştur.

Yapılan bu çalışma ile bilindiği kadarıyla;

- Uygulama alanının enerji sektörü olması nedeniyle bu sektörde ele alınan en kısa yol problemlerinde bir ilk olması,
- Sürdürülebilirliğin önemli olduğu büyük alt yapı yatırımlarından olan santraller için bakım ekiplerinin en kısa yoldan santrallara ulaşımının dikkate alınması ile kısa sürede bakıma başlama olanağını sağlaması ve santral üretiminde sürdürülebilirliği sağlama noktasında katkı sağlaması,
- Türkiye’deki yenilenebilir enerji kaynaklarından önde gelen HES’ler için problemin ele alınarak elektrik enerjisi talebinin karşılanmasında santral arıza giderimi ve bakım uygulamalarına hizmet etmesi,
- Bakım ekiplerinin farklı noktalardan ulaşımının dikkate alınarak herhangi bir acil durumda santrallara en kısa hangi yoldan ulaşılması gerektiğine çözüm getirmesi,
- Ekiplerin başlangıç santrallerden diğer santrallara ulaşımının nasıl olacağına cevap verilmesi, bu problem için de algoritma yapısına uygunluğu nedeni ile Floyd Warshall algoritmasının kullanılması,
- Bir C program kodu ile çok kısa sürede problem için çözümlerin alınması ve uygulama kolaylığı sağlaması yönlerinden bir ilk gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın devamında ikinci bölümde en kısa yol problemine dair incelenen literatüre, üçüncü bölümde yöntem

bilgisine, dördüncü bölümde problem uygulamasına ve beşinci bölümde ise sonuç kısmına yer verilmiştir.

## 2. Bilimsel Yazın Taraması

Yapılan çalışmada on iki HES' te planlanan bakımların yapılması için görevlendirilen ekiplerin en kısa yoldan santrallara ulaşımının sağlanması amaçlanmıştır. Bu problem literatürde en kısa yol problemleri olarak yer almaktadır. Bu problemlerde Dijkstra, Floyd-Warshall, Prim algoritması gibi birçok yöntem ile çözümler bulunmuştur. En kısa yol problemlerinin uygulama alanı genellikle bir bölge ya da birimdeki noktalar arasında en kısa mesafenin kat edilmesi amacıyla yapılmıştır.

Djojo ve Karyono (2013) gerçekleştirdikleri çalışma ile gerçek bir ağ koşullarını temsil eden yapıyı ele almış ve yöntem kıyaslamaları ile problemi sunmuşlardır. Pradhan ve Mahinthakumar (2013) ise büyük ölçekli bir ulaşım ağı için tüm çiftlerin en kısa yolunu bulmak için kullanılan Floyd-Warshall ve Dijkstra yöntemlerinin performans analizini yapmışlardır. Hanzl, Bartuška, Rozhanskaya ve Průša (2016) South Bohemian bölgesinde on altı düğümlü ulaşım ağının belirlenmesi için Floyd yöntemini kullanmışlardır. Zuo ve Shen (2017) ulaşım ağında optimal kısa yolun belirlenmesini Floyd tabanlı bir algoritma ile çözüm sunarlar. Esuabana, Ikpong, ve Okon (2018), Nijerya'daki yirmi bir şehrin dikkate alındığı ve bu şehirler arasında ulaşımın en kısa yoldan nasıl sağlanabileceğine dair çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Dermawan (2019) bir tren yolculuğunda en iyi yolu bulmada en iyi rotanın tren yolculuğunun minimum fiyata olmasını sağlayan yolun olduğu dikkate alınarak Dijkstra ve Floyd-Warshall algoritmalarının karşılaştırmasını yapmıştır. Yanwei, Gengyu, Fangzhi, Chen, Shedong, ve Zhiwei (2019) ise ulaşım koordinasyonunun sağlanmasında optimal yolun seçilmesinde Floyd tabanlı bir algoritma ile bu probleme çözüm getirmişlerdir.

Bu çalışmalarla birlikte özellikle depolama, turizm, araç seyahati, sağlık, lojistik, park yeri gibi farklı alanlarda da bu problem için çalışmalar yapılmıştır. Qing, Zheng ve Yue (2017) otomatik depolama sistemlerinde en kısa yolun hesaplanmasında Dijkstra yöntemini kullanmışlardır. Turizm sektöründe çalışmalarını gerçekleştiren Xu, Miao, Liu ve Panneerselva (2017) etkili seyahat planlaması için en kısa yolun belirlenmesinde Floyd tabanlı bir uygulama yaparlarken Pandika, Irawan ve Setianingsih (2018) de yine turizm sektöründe bu problemi ele almış ve bir bölgedeki tıkanıklığın özellikle bir turizm alanına ulaşımında aksamalara neden olması dolayısıyla karayolu üzerinde oluşan tıkanıklığı önlemek için en uygun rotayı oluşturabilen bir uygulama geliştirmişlerdir. Araç seyahatinde en kısa yol problemini dikkate alan Huang, Wu ve Zhan (2007) kullanıcıların seyahat ederken iki düğüm arasındaki en uygun en kısa yolu tekrar tekrar hesaplamak zorunda kalabileceği navigasyon hizmetlerindeki dinamik en kısa yol problemini dikkate alırken Tang, Qian ve Duan (2017) araç seyahat sürelerine dayanarak en hızlı araç rotalarının belirlenmesi için çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Mirino ve diğ. (2017) ambulans çağırma raporu sunan ve en yakın hastaneye en iyi rotayı belirleyerek mağdura veya acil hastaya ilk müdahale sürecine destek sağlamak amacıyla bu problemi dikkate almışlardır. Triana ve Syahputri (2018) gerekli en yakın garajı bulmak için medya bilgilerinden yararlanılan ve Floyd-Warshall yöntemini kullanan bir uygulama ile en yakın garaj konumunu bulmuşlardır. Tang, Pan ve Qian (2019) üretime dayalı ileri ve tersine lojistikte optimal yolun belirlenmesi Floyd tabanlı bir çözüm sunarak lojistik alanında çalışma yapmışlardır. Bu alanlar dışında Khan, Konar ve Chakraborty (2014) Floyd-Warshall temelli kablosuz sensör ağlarında yönlendirme için yeni bir algoritma önermiş, Swathika ve Hemamalini (2016) mikrogrid ağların izlenmesinde Prim ve Dijkstra temelli bir çözüm sunmuşlardır. Ramadhan ve diğ. (2018) ise Floyd-Warshall ve Prim algoritmalarının kıyaslamasını sunarak en kısa yol problemini ele almışlardır. Alani, Baseel, Hamdi ve Rashid (2020) ise tek kaynaklı en kısa yol problemini ele almış ve bu problem için A\* ve karınca kolonisi algoritmasından faydalanmışlardır. Chen, Chen, Chen ve Lam (2020) A\* tekniğine dayalı verimli bir en kısa yol problemini ele almış ve bir çözüm önerisinde bulunurlarken, Ferone, Festa ve Guerriero (2020) en kısa yol problemini için matematiksel bir modelle dal sınır yöntemini kullanarak çözüm sunmuşlardır. Çözümlerinde ILOG CPLEX çözücüsünden faydalanmışlardır. Jia ve Zhang (2020) ise bakım planlaması için gerçekleştirdikleri çalışmada iki aşamalı bir çözüm sunmuş ve matematiksel modelle birlikte benzetimli tavlama yöntemini kullanmışlardır. Pugliese, Ferone, Festa ve Guerriero (2020) zaman penceresi kısıtlamalarının hesaba katıldığı en kısa yol tur problemini ele almışlardır. Bu alandaki zaman pencereleriyle en kısa yol turu problemini ele alan ilk çalışma olduğu vurgusunu da yapmışlardır. Sepehrifar, Fanian ve Sepehrifar (2020) çok hedefli en kısa yol problemini çözmek için çok hedefli Dijkstra algoritmasını kullanarak problemlerine çözüm getirmişlerdir. Thanh, Binh ve Trung (2020) kümelenmiş en kısa yol problemi için evrimsel bir algoritma yaklaşımı önermişlerdir. Kümelenmiş gezgin satıcı probleminde önerilen bu algoritma denemiş ve sonuçları açıklamışlardır. Tu, Cheng, Yuan, Cheng ve Li (2020) kentsel ulaşımında elektrikli araçlar için kısıtlı güvenilir en kısa yol problemini ele almışlardır. Bu problem için karma tam sayılı programlama modeli geliştirmişlerdir. Wang, You, Song ve Zhang (2020) en kısa yol problemi için Wasserstein metriğini 0-1 karışık doğrusal olmayan bir modelle birlikte kullanmışlardır. İnan ve Baba (2021) yapmış oldukları çalışma ile limanlar arasında en kısa yolları hava ve deniz şartlarını göz ardı ederek Dijkstra algoritması ile hesaplamışlardır.

En kısa yol problemi üzerine yapılan son çalışmalarda özellikle dinamik yapıli problemlere odaklanılmış ve gerek matematiksel modeller gerekse en kısa yol probleminde kullanılan temel algoritmalarından olan Floyd, Dijkstra, Prim algoritmalarının yanı sıra birkaç yöntemle entegre edilen çalışmalar kullanılmış ve ayrıca sezgisel yaklaşımlarla dinamik yapıdaki bu sistemler için çözümler sunulmuştur. Örneğin Huang ve diğ. (2007)'nin yapmış oldukları çalışmada ulaşım ağlarında en uygun rotanın bulunması problemini ele almış, dinamik yapıli bir en kısa yol problemine çözüm getirmiş olup navigasyonların en uygun rotayı bulması için çalışmışlardır. Dinamik yapıli problemlerin karmaşıklığı ve kısa sürede çözümlenmesi gerekliliği optimal yöntemlerin yetersiz kalmasına ve problem karmaşık olduğu için sezgisel yöntemlerle desteklenmesini gerektirmiştir. Yapılan bu çalışmada ise sabit konumlu en kısa yol problemi ele alınmış olup sadece 12 düğümlü olan sabit bir yapı ele alınmıştır. Kullanılan Floyd Warshall algoritması karmaşıklığı Madkour ve diğ. (2017)'nin gerçekleştirmiş oldukları inceleme çalışmasında "The complexity of Floyd-Warshall algorithm is  $O(n^3)$ , where n is the number of vertices." ifadesi ile belirtildiği üzere polinom zamanda çözülen bir yapıya sahiptir. Gerek bu incelemenin gerekse Hanzl ve diğ. (2016)'nin yapmış oldukları çalışmanın baz alınması ve optimal sonuçlar sunması nedeniyle sadece Floyd Warshall algoritması kullanılmıştır. Yapılan bu çalışmada tüm bu alanlar dışında enerji sektöründe çalışılmıştır. Elektrik üretiminin kesintisiz ve güvenilir olması gerekliliği dikkate alındığında santral işletmecilerinin santrallarda yaşanan arızalardan ya da zorunlu bakım uygulamalarından dolayı santrallarda üretimi durdurması söz konusu olmaktadır. Bazen bir ekipmanın arızasının giderilmesi ya da bakımının yapılması o ekipmanın bulunduğu üniteyi de durdurmayı gerektirebildiği gibi santralin diğer birimlerinin de eş zamanda durdurulmasını gerektirebilmektedir. Bu nedenle elektrik üretim santrallarında yapılacak bakımların santrallarda daha fazla duruşa neden olmadan gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, on iki HES'i bünyesinde bulunduran bir işletmede mevcut bakım ekiplerinin herhangi bir arıza ya da zorunlu bakım durumunda santrallara en kısa yoldan ulaşması için optimum bir çözüm sunulmuştur. Özellikle santrallarda yaşanılacak beklenmedik bir arıza durumunda ekiplerin buldukları santrallardan diğer santrallara ulaşımının hangi yollardan yapılması gerektiği sorusu cevaplanarak bu soruna çözüm getirilmiştir.

Yapılan bu çalışmada ise elektrik üretim santralları arasında yer alan HES'ler dikkate alınmış olup bu santrallarda planlanan bakımların yapılması için görevli bakım ekiplerinin ulaşımının en kısa yoldan sağlanması amaçlanmıştır.

### 3. Yöntem

Floyd-Warshall algoritması, Floyd algoritması, Roy-Warshall algoritması, Roy-Floyd algoritması veya WFI algoritmaları olarak da bilinmektedir. Bu algoritma 1962'de Robert Floyd tarafından yayınlanmıştır. Ancak, bu algoritma esasen 1959'da Bernard Roy tarafından ve ayrıca 1962'de Stephen Warshall tarafından grafiğin geçişli kapanışını bulmak için yayınlanan önceki algoritmayla aynıdır. İç içe geçmiş üç döngü olarak Warshall algoritmasının modern formülasyonu ilk kez Peter Ingerman tarafından yine 1962'de tanımlanmıştır (Floyd, 1962; Weisstein, 2009). Floyd-Warshall algoritması, tüm köşe çiftlerini ağırlıklı bir grafik halinde hesaplayarak en kısa yolu araştırmaktadır. Bu algoritma, ara düğümlerden geçmeden düğüm çiftleri arasındaki tüm minimum mesafeyi bularak başlamakta ve bu değerler, minimum mesafe tablosuna kaydedilmektedir. Düğüm çiftleri arasındaki minimum mesafe, önceki değerle karşılaştırılarak belirlenmektedir. Herhangi bir değişiklik, minimum mesafe tablosunun değerini güncelleyecektir. Bu ilk düğümden son düğüme kadar, karşılaştırma için önceki sonuçlar kullanılarak işlem tekrarlanmaktadır. Floyd-Warshall algoritması ile sadece iki belirli düğüm arasındaki en kısa yolu aramakla kalmaz, aynı zamanda düğümler arasındaki en kısa yol tablosu da oluşturulmaktadır (Djojo ve Karyono, 2013; Madkour ve diğ. (2017); Ramadhan e diğ., 2018).

Yapılan bu çalışmada en kısa yolun bulunması için etkin ve optimal sonuçlar sunması ve tüm düğümler arasında en kısa yoldan ulaşımı sağlaması nedeniyle (Madkour ve diğ. 2017; Ramadhan ve diğ. 2018) Floyd-Warshall algoritması kullanılmıştır. Ulaşım ağları en kısa yol probleminin en çok çalışıldığı alanlardandır. Bu alanlarla birlikte depolama, turizm, araç seyahati, sağlık, lojistik, park yerleri gibi farklı alanlarda da bu problem için çözüm getirilmiş olup gerek Floyd algoritması gerekse diğer algoritmalar ayrı ayrı ya da entegre edilerek kullanılmıştır. Özellikle Madkour ve diğ. (2017)'nin bu alanda yapmış oldukları literatür incelemesi en kısa yol problemlerinde kullanılan yöntemler hakkında daha fazla bilgi sağlamak için önemli bir kaynaktır.

### 4. Bulgular

Bu çalışmada Türkiye'deki elektrik enerjisi talebinin büyük bir kısmını karşılayan ve yenilenebilir enerji kaynakları arasında önde gelen HES'lerin (EMO, 2020) bakımı için görevlendirilen üç ekibin santrallara en kısa yoldan ulaşması problemi ele alınmıştır. Problem kapsamında Türkiye'de halihazırda işletilen HES'ler arasından on iki HES üzerinde çalışma yapılmıştır. Elektrik üretim santrallarında yer alan ekipmanlar elektriksel, mekanik



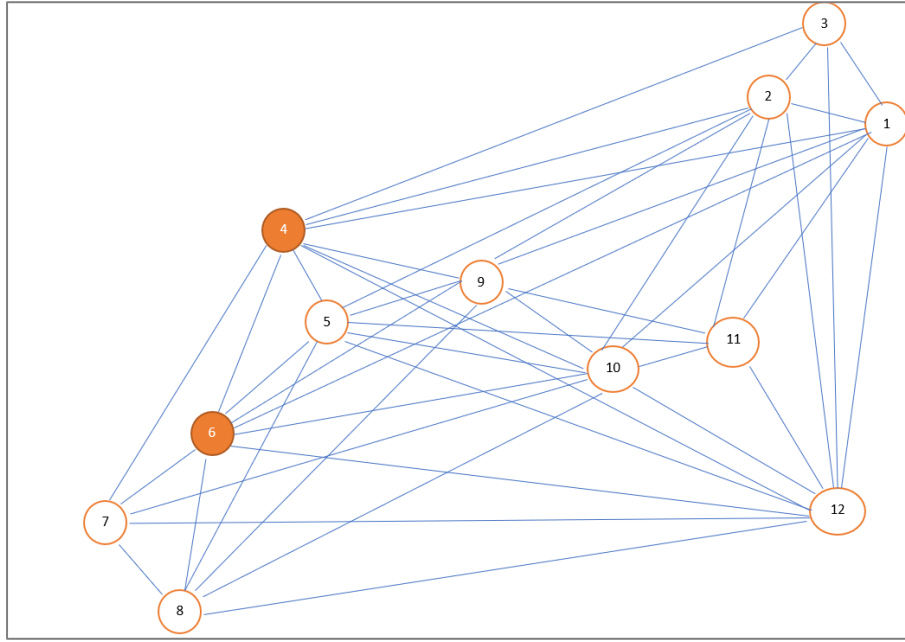
ve elektronik ekipmanlar olarak gruplandırılmaktadır. Çalışma kapsamında ele alınan elektriksel, mekanik ve elektronik bu ekipmanların bakımları farklı ihtivalara sahiptir (Başışme, 2003; Özcan ve diğ., 2019). Bu nedenle santrallardaki ekipmanlara yapılan bakımlarda ya da arızaların giderilmesinde görev alacak ekipler her santralda bulunmamaktadır. Çalışmaya dahil edilen on iki HES arasından bu kapsamdaki bakımları yapacak üç ekip mevcut olup bu ekipler sadece iki HES'te bulunmaktadır. Bu ekiplerden birincisi mekanik, ikincisi elektronik ve üçüncüsü ise elektronik ekipmanların bakımında uzman kişilerden oluşmaktadır. Birinci ve ikinci ekip aynı santralda görev almakta olup altı numaralı santralin personelleridir. Üçüncü ekip ise dört numaralı santralda görev almaktadır. Ekiplerin bulunduğu santrallar haricinde geriye kalan santrallarda yaşanan büyük arızaların giderilmesinde veya periyodik ve revizyon bakım gibi büyük çaplı bakım uygulamalarında bu ekipler görev aldıkları santrallardan diğer santrallara bakım için görevlendirilmektedir. Santrallarda yaşanan büyük çaplı arızalarda ya da revizyon bakım uygulamalarında santralların en kısa sürede bakımının yapıp çalışır hale getirilmesi gerek santral işletmecileri gerekse elektrik piyasası için oluşturduğu kayıplar ve maliyetler açısından önem arz etmektedir. Bu nedenle bu çalışmada bakım için görevlendirilen ekiplerin en kısa sürede en kısa yoldan santrallara ulaşımını sağlamak amaçlanmıştır. En kısa yolun bulunması için optimal sonuçlar sunan Floyd-Warshall algoritması kullanılmıştır.



Şekil 1. Santralların Türkiye haritasındaki konumları

Santrallardaki bakım uygulamaları santral çalışırken yapılabileceği gibi revizyon bakım gibi büyük çaplı bakımlarda santral ünite ya da bloğunun durdurulması söz konusu olmaktadır. Bu nedenle bölge ya da ülke genelinde elektrik kesintileri de yaşanmaktadır. Bu elektrik kesintileri ise maliyeti büyük sonuçlar doğurmaktadır. Özellikle Türkiye'de elektrik kesintisi olması durumunda üretim kaybının saatte 100 milyon dolar gibi büyük bir maliyete (Polat ve Şekerci, 2015) neden olması santrallarda yaşanan büyük çaplı arızalarda ya da revizyon bakım uygulamalarında santralların en kısa sürede bakımının yapıp çalışır hale getirilmesi açısından önem arz etmektedir. Bu nedenle bu çalışmada bakım için görevlendirilen ekibin en kısa sürede en kısa yoldan santrallara ulaşımını sağlamak amaçlanmıştır. Problem kapsamında ele alınan on iki santralin bulunduğu konum Şekil 1'deki haritada yer almaktadır. Santral konumları ve mesafeleri Google Haritalar yardımı ile bulunmuş olup öncelikle Şekil 2'de yer alan şebeke ağı oluşturulmuştur. Her bir düğüm santralları temsil etmektedir.





Şekil 2. Problem kapsamında kurulan şebeke ağı

Her biri bir düğüm olarak ele alınan santraller arası mesafeler belirlenmiş ve bu mesafelere ait D ve S matrislerine Tablo 1 ve Tablo 2’de yer verilmiştir.

**Tablo 1.** Düğümler arası mesafelerin yer aldığı matrisi

Düğüm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	26	35	375	-	512	-	-	351	357	322	404
2		-	13	376	409	-	-	-	362	370	340	424
3			-	388	-	-	-	-	-	-	-	439
4				-	70	150	209	-	122	135	-	306
5					-	109	-	184	78	91	164	250
6						-	61	76	177	183	-	312
7							-	23	-	240	-	354
8								-	240	245	-	346
9									-	17	88	-
10										-	75	168
11											-	114
12												-

**Tablo 2.** Düğümleri ifade eden matrisi

Düğüm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	2	3	4	-	6	-	-	9	10	11	12
2	1	-	3	4	5	-	-	-	9	10	11	12
3	1	2	-	4	-	-	-	-	-	-	-	12
4	1	2	3	-	5	6	7	-	9	10	-	12
5	-	2	-	4	-	6	-	8	9	10	11	12
6	1	-	-	4	5	-	7	8	9	10	-	12
7	-	-	-	4	-	6	-	8	-	10	-	12
8	-	-	-	-	5	6	7	-	9	10	-	12
9	1	2	-	4	5	6	-	8	-	10	11	-
10	1	2	-	4	5	6	7	8	9	-	11	12
11	1	2	$\infty$	$\infty$	5	$\infty$	$\infty$	$\infty$	9	10	-	12
12	1	2	3	4	5	6	7	8	$\infty$	10	11	-

Şebekede bazı santrallara direkt olarak ulaşım sağlanabilirken bazılarında bir santral üzerinden ulaşım sağlanabilmektedir. Mesafelerin belirlenmesinden sonra C programlama dili ile oluşturulan kod yardımıyla problem çözümü yapılmıştır.

Yapılan çözüm sonucunda ulaşılan D ve S matrisleri Tablo 3 ve Tablo 4'te yer almaktadır.

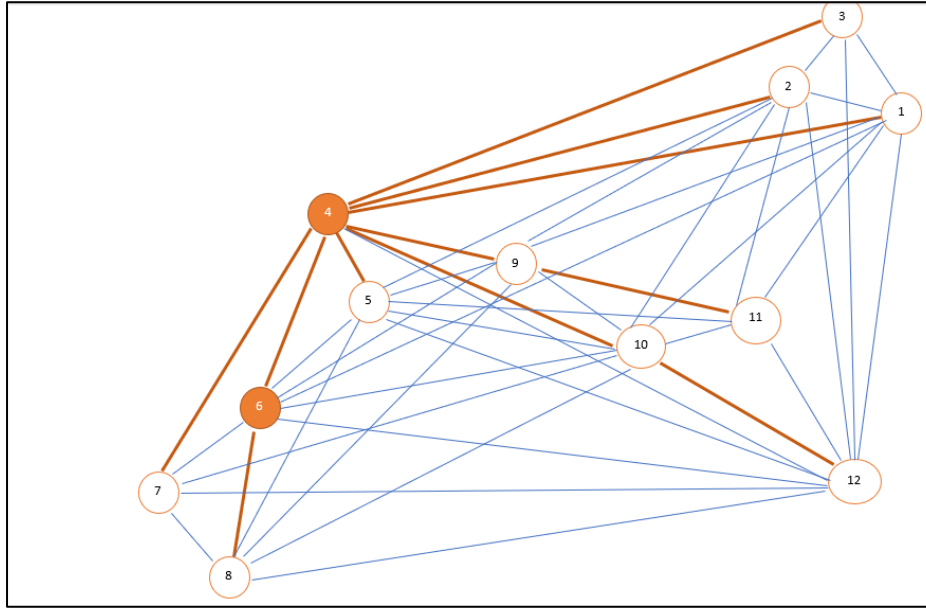
**Tablo 3.** Çözüm sonucu elde edilen uzaklık matrisi

Düğüm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	26	35	375	429	512	573	588	351	357	322	404
2	26	0	13	376	409	518	579	593	362	370	340	424
3	35	13	0	388	422	531	592	606	375	383	353	437
4	375	376	388	0	70	150	209	226	122	135	210	303
5	429	409	422	70	0	109	170	184	78	91	164	250
6	512	518	531	150	109	0	61	76	177	183	258	312
7	573	579	592	209	170	61	0	23	238	240	315	354
8	588	593	606	226	184	76	23	0	240	245	320	346
9	351	362	375	122	78	177	238	240	0	17	88	185
10	357	370	383	135	91	183	240	245	17	0	75	168
11	322	340	353	210	164	258	315	320	88	75	0	114
12	404	424	437	303	250	312	354	346	185	168	114	0

**Tablo 4.** Çözüm sonucu elde edilen S matrisi

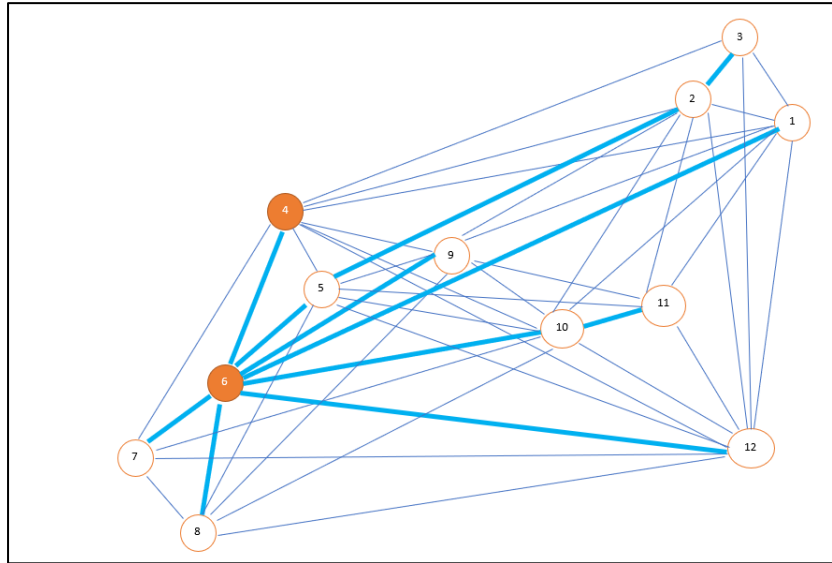
Düğüm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	2	3	4	9	6	6	6	9	10	11	12
2	1	0	3	4	5	5	6	5	9	10	11	12
3	1	2	0	4	2	2	2	2	2	2	2	2
4	1	2	3	0	5	6	7	6	9	10	9	10
5	9	2	2	4	0	6	6	8	9	10	11	12
6	1	5	2	4	5	0	7	8	9	10	10	12
7	6	6	2	4	6	6	0	8	6	10	10	12
8	6	5	2	6	5	6	7	0	9	10	10	12
9	1	2	2	4	5	6	6	8	0	10	11	10
10	1	2	2	4	5	6	7	8	9	0	11	12
11	1	2	2	9	5	10	10	10	9	10	0	12
12	1	2	2	10	5	6	7	8	10	10	11	0

Yapılan çözüme göre kaynak düğüm alınan dört ve altı numaralı santrallar için sonuçlar incelenmiştir. On iki HES için yapılacak elektriksel bakımlar için kaynak düğümü dört olarak alınmış olup şebeke ağındaki ulaşım yollarına Şekil 3'te yer verilmiştir.



Şekil 3. Elektriksel bakım ekibinin santrallara ulaşım yolları

Elde edilen bu sonuca göre dört numaralı kaynak düğümden çıkan elektriksel bakım ekibi diğer santrallara en kısa yoldan nasıl ulaşacağı gösterilmiştir. Burada gerek Tablo 4'te gerekse Şekil 3'te gözlemlenebileceği gibi sekiz numaralı santrale altı numaralı santraldan, on bir numaralı santrale dokuz numaralı santraldan, on iki numaralı santrale on numaralı santraldan gidilmesi, diğer santrallara ise direkt olarak dört numaralı santraldan ulaşımın sağlanması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Eğer gerçekleştirilecek bakım mekanik veya elektronik bakım ekibinin göreviyle ilgili ise bu durumda kaynak düğüm altı numaralı santral olarak alınmaktadır. Çözüm sonucunda şebeke ağındaki ulaşım yollarına Şekil 4'te yer verilmiştir.



Şekil 4. Mekanik ve elektronik bakım ekiplerinin santrallara ulaşım yolları

Bu sonuçlarla birlikte bakım ekiplerinin aynı anda birden fazla santralin bakımı ile görevlendirilmesi durumunda izlenecek bakım sırasına göre Tablo 4 yardımı ile hangi santraldan hangi santrale hangi yolu kullanarak ulaşımın gerektiği de gözlemlenebilmektedir. Burada Şekil 4'te gözlemlenebileceği gibi on bir numaralı santrale on numaralı santraldan, üç numaralı santrale önce beş sonra iki numaralı santraldan, diğer santrallara ise direkt olarak altı numaralı santraldan ulaşımın sağlanması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Yapılan bu çalışma sonucunda on iki HES' e sahip olunan bir portföyde kısıtlı sayıda olan bakım ekiplerinin buldukları santrallardan diğer santrallara ulaşımı en kısa yoldan optimal olarak sağlanmıştır. Mekanik, elektronik bakım ekipleri diğer santrallarda yaşanılacak bir arızanın giderilmesi için ya da santralların periyodik bakımlarının başladığı zamanlarda santrallara ulaşımı en kısa yollardan sağlayacaktır. Altı numaralı santralde yer

alan bu ekipler için özellikle bakım planlamaları yapılırken santrallara ulaşımında önceliklendirme yapılması örneğin bakımlar başladığında ekiplerin üç numaralı santrala beş ve iki numaralı santral bakımını gerçekleştirdikten sonra gitmesinin diğer yolları kullanarak gitmesine göre daha avantajlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Yine ulaşılan sonuçlarda elektriksel bakım ekibinin ise bakım uygulamaları başladığında bulunduğu dört numaralı santraldan on iki numaralı santrala ulaşımında öncelikle on numaralı santrala uğramasının daha avantajlı olduğu da ulaşılan sonuçlardandır. Ulaşılan tüm sonuçlar sayesinde ekiplerin santrallara en kısa yoldan ulaşımı sağlanarak santrallardaki bakıma daha erken başlanması avantajı elde edilmiştir. Ayrıca bu ekipler için yapılacak planlamalarda özellikle santral bakımlarının başladığı zamanda santrallara ulaşımında önceliklendirme yaparak bu süreci tamamlamanın daha etkin olduğu ve saniyelik duruşların dahi büyük maliyetlere neden olduğu bu tesislerde bakımlardan kaynaklı duruşların daha az sürede olması sağlanmış olacaktır. Bununla birlikte bakımların da daha erken başlayıp bitirilmesi ile daha kısa sürede bakım uygulamaları tamamlanmış olacaktır.

## 5. Sonuçlar

Bakım, üretim tesislerinin güvenilir, kalite düzeyi yüksek, ekonomik, verimli, kesintisiz ve çevreye duyarlı üretim yapması olarak tanımlanan sürdürülebilirlik hedefine üst düzeyde katkı sağlayan bir prosestir (Özcan ve diğ. 2019). Üretimin sürdürülebilirliğinin sağlanması noktasında yıpranan santrallara çeşitli bakımların yapılması gerekmektedir. Bu nedenle santrallarda yaşanan bazı arızaların giderilmesi ve bakımların yapılabilmesi için zaman önemli bir kısıttır ve en kısa zamanda bakımlara başlanması sürdürülebilirlik noktasında önem arz etmektedir (Özcan ve diğ.,2020b). Özellikle Türkiye’de elektrik kesintisi olması durumunda üretim kaybının saatte 100 milyon dolar gibi büyük bir maliyete (Polat ve Şekerci, 2015) neden olması santrallarda yaşanan büyük çaplı arızalarda ya da revizyon bakım uygulamalarında santralların en kısa sürede bakımının yapılmasının ne denli önemli olduğunu da gözler önüne sermektedir. Bu nedenle bu çalışmada Türkiye’de elektrik enerjisi talebini karşılamak için halihazırda çalışan on iki HES bakımı için görevlendirilen bakım ekiplerinin buldukları santrallardan diğer santrallara ulaşımını en kısa yoldan sağlamaları amaçlanmıştır. Bakım için üç farklı ekip bulunmakta olup bu ekipler buldukları santrallar haricinde diğer santrallardaki bakımları da yerine getirmekle görevlidir. Bu nedenle bu üç ekibin elektrik üretim santrallarının kesintisiz üretimi sağlaması gerekliliği ve herhangi bir elektrik kesintisinin ülke genelinde büyük maliyetlere yol açması nedeniyle en kısa sürede santrallara ulaşımının sağlanması istenmektedir.

Çalışmada en kısa yol problemlerin çözümünde tüm düğümler arasındaki en kısa yolların bulunmasını sağlayan ve etkin sonuçların alınmasını sağlayan Floyd-Warshall algoritması kullanılmış olup bu algoritma bir C programında kodlanarak problem sonuçları elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre üç ekibin ulaşımı optimal olarak bulunmuştur. Örneğin elde edilen sonuçlara göre dört numaralı kaynak düğümden çıkan elektriksel bakım ekibi diğer santrallara en kısa yoldan nasıl ulaşacağı bulunmuştur. Sekiz numaralı santrala altı numaralı santraldan, on bir numaralı santrala dokuz numaralı santraldan, on iki numaralı santrala on numaralı santraldan gidilmesi, diğer santrallara ise direkt olarak dört numaralı santraldan ulaşımın sağlanması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Eğer gerçekleştirilecek bakım mekanik veya elektronik bakım ekibinin göreviyle ilgili ise on bir numaralı santrala on numaralı santraldan, üç numaralı santrala önce beş sonra iki numaralı santraldan, diğer santrallara ise direkt olarak altı numaralı santraldan ulaşımın sağlanması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Yapılan çalışma ile bilindiği kadarıyla uygulama alanının enerji sektörü olması nedeniyle bu sektörde ele alınan en kısa yol problemlerinde bir ilk olması, sürdürülebilirliğin önemli olduğu büyük alt yapı yatırımlarından olan santrallar için bakım ekiplerinin en kısa yoldan santrallara ulaşımının dikkate alınması ile kısa sürede bakıma başlama olanağını sağlaması ve santral üretiminde sürdürülebilirliği sağlama noktasında katkı sağlaması, Türkiye’deki yenilenebilir enerji kaynaklarından önde gelen HES’ler için problemin ele alınarak elektrik enerjisi talebinin karşılanmasında santral arıza ve bakım uygulamalarına hizmet etmesi, bakım ekiplerinin farklı noktalardan ulaşımının dikkate alınarak herhangi bir acil durumda santrallara en kısa hangi yoldan ulaşılması gerektiğine çözüm getirmesi, ekiplerin başlangıç santrallardan diğer santrallara ulaşımının nasıl olacağına cevap vermesi, bu problem için de algoritma yapısına uygunluğu nedeni ile Floyd Warshall algoritmasının kullanılması, ve bir C program kodu ile çok kısa sürede problem için çözümlerin alınması ve uygulama kolaylığı sağlaması yönlerinden bir ilk gerçekleştirilmiştir. Ekiplerin santrallara en kısa yoldan ulaşımı sağlanarak santrallardaki bakıma daha erken başlanması avantajı elde edilmiştir. Yapılacak planlamalarda özellikle santral bakımlarının başladığı zamanda santrallara ulaşımında önceliklendirme yapılarak bu süreci tamamlamanın daha etkin olduğu gözlemlenmiştir. Bulunan çözümler sayesinde saniyelik duruşların dahi büyük maliyetlere neden olduğu bu tesislerde bakımlardan kaynaklı duruşların daha az sürede olması sağlanmış olacaktır. Bununla birlikte bakımların da daha erken başlayıp bitirilmesi ile daha kısa sürede bakım uygulamaları tamamlanmış olacaktır.

İlerleyen çalışmalarda oluşan ihtiyaçlara göre kurulan şebeke ağı genişletilerek halihazırda elektrik talebini karşılayan diğer santrallarla birlikte problem kapsamı değiştirilebileceği gibi yol uzunluğu yerine maliyeti ya da

kritikliği gibi farklı amaçlar doğrultusunda da en kısa yol problemi dikkate alınabilir. Ayrıca bu çalışmanın devamında ulaşılan bu sonuçlar kullanılabilir ve bakım ekiplerinin özellikle periyodik bakım uygulamaların başladığı zamanlarda santrallara ulaşımında önceliklendirme yapılarak bir bakım planlama çalışması yapılabilir.

## Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Tuğba Danışan, problem verilerinin elde edilerek problemin çözülmesi, bilimsel yayın araştırması ve makalenin oluşturulması; Evrencan Özcan, problem çözüm sürecinin takibi, kontrolü ve makalenin hazırlanması; Tamer Eren, makalenin hazırlanması ve kontrolü konularında katkı sağlamışlardır.

## Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

## Kaynaklar

- Alani, S., Baseel, A., Hamdi, M. M., & Rashid, S. A. (2020). A hybrid technique for single-source shortest path-based on A\* algorithm and ant colony optimization. *IAES International Journal of Artificial Intelligence*, 9(2), 356. Doi: <http://doi.org/10.11591/ijai.v9.i2.pp356-363>
- Başşme, H. (2003). Hidroelektrik santraller ve hidroelektrik santral tesisleri. *EÜAŞ genel müdürlüğü hidrolik santraller dairesi başkanlığı*.
- Chen, B. Y., Chen, X. W., Chen, H. P., & Lam, W. H. (2020). Efficient algorithm for finding k shortest paths based on re-optimization technique. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 133, 101819. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2019.11.013>
- Danışan, T. (2019). Hidroelektrik santrallarda bakım çizelgeleme. Yüksek lisans tezi, *Kırıkkale üniversitesi fen bilimleri enstitüsü*.
- Dermawan, T. S. (2019). Comparison of dijkstra dan floyd-warshall algorithm to determine the best route of train. *IJID (International Journal on Informatics for Development)*, 7(2), 54-58. Doi: <https://doi.org/10.14421/ijid.2018.07202>
- Djojo, M. A. & Karyono, K. (2013, November). Computational load analysis of dijkstra, a\*, and floyd-warshall algorithms in mesh network. In *2013 International Conference on Robotics, Biomimetics, Intelligent Computational Systems*, 104-108. Doi: <https://doi.org/10.1109/ROBIONETICS.2013.6743587>
- Ferone, D., Festa, P., & Guerriero, F. (2020). An efficient exact approach for the constrained shortest path tour problem. *Optimization Methods and Software*, 35(1), 1-20. Doi: <https://doi.org/10.1080/10556788.2018.1548015>
- EMO, (2020). Türkiye elektrik enerjisi istatistikleri. [https://www.emo.org.tr/genel/bizden\\_detay.php?kod=88369](https://www.emo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=88369)
- Esuabana, I., Ikpang, I. N., & Okon, E. O. J. (2018). Shortest transportation route network in nigeria using floyd-warshall's algorithm. *Mathematical theory and modeling*, 5, 145-160. Doi: <https://doi.org/10.7176/MTM>
- Floyd, R. W. (1962). Algorithm 97: shortest path. *Communications of the ACM*, 5(6), 345. Doi: <https://doi.org/10.1145/367766.368168>
- Hanzl, J., Bartuška, L., Rozhanskaya, E., & Průša, P. (2016). Application of floyd's algorithm on transport network of south bohemian region. *Komunikácie: Communications (Scientific Letters of the University of Žilina)*, 18(2).
- Huang, B., Wu, Q., & Zhan, F. B. (2007). A shortest path algorithm with novel heuristics for dynamic transportation networks. *International journal of geographical information science*, 21(6), 625-644. Doi: <https://doi.org/10.1080/13658810601079759>
- İnan, T., & Baba, A. F. (2021). Ticari Gemiler İçin Seyir Süresi ve Yakıt Tüketiminin Azaltılması Amaçlı, Hava ve Deniz Şartlarına Göre Rota Optimizasyonu Sistemi (Ege Denizi Örneği). *Politeknik Dergisi*. Doi: <https://doi.org/10.2339/politeknik.643333>
- Jia, C., & Zhang, C., (2020). Joint optimization of maintenance planning and workforce routing for a geographically distributed networked infrastructure. *IISE Transactions*, 52(7), 732-750. Doi: <https://doi.org/10.1080/24725854.2019.1647478>

- Khan, P., Konar, G., & Chakraborty, N. (2014, December). Modification of floyd-warshall's algorithm for shortest path routing in wireless sensor networks. In *2014 Annual IEEE India Conference (INDICON)*, 1-6. Doi: <https://doi.org/10.1109/INDICON.2014.7030504>
- Madkour, A., Aref, W. G., Rehman, F. U., Rahman, M. A., & Basalamah, S. (2017). A survey of shortest-path algorithms. <https://arxiv.org/abs/1705.02044>
- Mirino, A. E. et al. (2017, October). Best routes selection using dijkstra and floyd-warshall algorithm. In *2017 11th International Conference on Information & Communication Technology and System (ICTS)*, 155-158. doi: <https://doi.org/10.1109/ICTS.2017.8265662>
- Özcan, E.C., Danışan, T., & Eren, T. (2019). Hidroelektrik santralların en kritik elektriksel ekipman gruplarının bakım stratejilerinin optimizasyonu için matematiksel bir model önerisi. *Pamukkale university journal of engineering sciences*, 25(4). Doi: <https://doi.org/10.5505/pajes.2018.38455>
- Özcan, E., Danışan, T., & Eren, T. (2020a). A hybrid model proposal for maintenance scheduling in hydropower plants. *Journal of the faculty of engineering and architecture of gazi university*, 35(4), 1815-1827. doi: <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.602774>
- Özcan E.C., Danışan T., Yumuşak R., Eren T. (2020b). An artificial neural network model supported with multi criteria decision making approaches for maintenance planning in hydroelectric power plants, *Maintenance and reliability*, 22 (3), 400-418. Doi: <http://dx.doi.org/10.17531/ein.2020.3.3>
- Pandika, I.K.L.D., Irawan, B., & Setianingsih, C. (2018, December). Application of optimization heavy traffic path with floyd-warshall algorithm. In *2018 International Conference on Control, Electronics, Renewable Energy and Communications (ICCEREC)*, 57-62. Doi: <https://doi.org/10.1109/ICCEREC.2018.8712110>
- Polat, Sezai, Hacer Şekerci. (2015). Dünyada ve ülkemizde önemli elektrik çöküntüleri." IV. *Elektrik tesisat ulusal kongre ve sergisi bildirileri*.
- Pradhan, A., & Mahinthakumar, G. (2013). Finding all-pairs shortest path for a large-scale transportation network using parallel Floyd-Warshall and parallel Dijkstra algorithms. *Journal of computing in civil engineering*, 27(3), 263-273. Doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000220](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000220)
- Pugliese, L. D. P., Ferone, D., Festa, P., & Guerriero, F. (2020). Shortest path tour problem with time windows. *European Journal of Operational Research*, 282(1), 334-344. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2019.08.052>
- Qing, G., Zheng, Z., & Yue, X. (2017, May). Path-planning of automated guided vehicle based on improved Dijkstra algorithm. In *2017 29th Chinese control and decision conference (CCDC)* ,7138-7143. Doi: <https://doi.org/10.1109/CCDC.2017.7978471>
- Ramadhan, Z., Siahaan, A.P.U., & Mesran, M. (2018, July). Prim and floyd-warshall comparative algorithms in shortest path problem. In *proceedings of the joint workshop ko2pi and the 1st international conference on advance & scientific innovation*, 47-58. Doi: <https://doi.org/10.4108/eai.23-4-2018.2277598>
- Sepehrifar, M. K., Fanian, A., & Sepehrifar, M. B. (2020). Shortest path computation in a network with multiple destinations. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 45(4), 3223-3231. Doi: <https://doi.org/10.1007/s13369-020-04340-w>
- Swathika, O.G., & Hemamalini, S. (2016). Prims-aided dijkstra algorithm for adaptive protection in microgrids. *IEEE journal of emerging and selected topics in power electronics*, 4(4), 1279-1286. Doi: <https://doi.org/10.1109/JESTPE.2016.2581986>
- Tang, K., Qian, M., & Duan, L. (2017, June). Choosing the fastest route for urban distribution based on big data of vehicle travel time. In *2017 international conference on service systems and service management*, 1-4. Doi: <https://doi.org/10.1109/ICSSSM.2017.7996286>.
- Tang, K., Pan, C., & Qian, M. (2019, August). Manufacturing/remanufacturing logistics network optimization based on floyd algorithm. In *journal of physics: conference series*, 1288(1), 012026. Doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1288/1/012026>
- Thanh, P. D., Binh, H. T. T., & Trung, T. B. (2020). An efficient strategy for using multifactorial optimization to solve the clustered shortest path tree problem. *Applied Intelligence*, 50(4), 1233-1258. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10489-019-01599-x>
- Triana, Y. S., & Syahputri, I. (2018). Implementation floyd-warshall algorithm for the shortest path of garage. *International journal of innovative science and research technology*, 3(2), 871-878. <https://goo.gl/DF9R4u>

Tu, Q., Cheng, L., Yuan, T., Cheng, Y., & Li, M. (2020). The constrained reliable shortest path problem for electric vehicles in the urban transportation network. *Journal of Cleaner Production*, 261, 121130. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121130>

Wang, Z., You, K., Song, S., & Zhang, Y. (2020). Wasserstein distributionally robust shortest path problem. *European Journal of Operational Research*, 284(1), 31-43. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.01.009>

Weisstein, Eric. (2009). Floyd-warshall algorithm, *Wolfram MathWorld*.

Xu, R., Miao, D., Liu, L., & Panneerselva, J. (2017, June). An optimal travel route plan for yangzhou based on the improved floyd algorithm. In 2017 IEEE international conference on internet of things (things) and IEEE green computing and communications (greencom) and IEEE cyber, physical and social computing (cpscom) and IEEE smart data (smartdata), 168-177. Doi: <https://doi.org/10.1109/iThings-GreenCom-CPSCo-SmartData.2017.30>

Yanwei, Z., Gengyu, W., Fangzhi, G., Chen, X., Shedong, R., & Zhiwei, X. (2019). Optimal coordination path selecting method for conduction transformation based on floyd algorithm. *Procedia computer science*, 162, 227-234. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.11.279>

Yumuşak, R., (2020). Hidroelektrik santrallarda bakım strateji seçimi. Yüksek lisans tezi, *Kırıkkale üniversitesi fen bilimleri enstitüsü*.

Zuo, X. F., & Shen, W. (2017). Improved algorithm about multi-shortest path problem based on floyd algorithm. *Computer science*, 44(5), 120-124. Doi: <https://doi.org/10.11896/j.issn.1002-137X.2017.05.041>





# Journal of Turkish Operations Management

## Üçüncü parti lojistik firma seçiminde q seviyeli bulanık TOPSIS uygulaması

Adem Pınar

Kara Kuvvetleri Lojistik Komutanlığı, 06135, Gümüşdere, Ankara, Türkiye  
e-mail: adempinar@yahoo.com, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0003-0471-7204>

### Makale Girişi

#### Makale Geçmişi:

Geliş: 22.12.2020  
Revize: 21.03.2021  
Kabul: 31.03.2021

#### Anahtar Kelimeler

Çok kriterli karar verme,  
Üçüncü parti lojistik firma seçimi,  
q Seviyeli bulanık kümeler,  
TOPSIS.

### Özet

Küresel rekabet ortamında işletmeler kaliteyi artırmak ve maliyetleri düşürmek için temel uzmanlık alanları dışında kalan lojistik faaliyetler için en uygun üçüncü parti lojistik firmayı seçme durumundadır. Bu seçimi yapacak karar vericilerin çoğu gerçek hayattaki belirsizliği yansıtan bulanık küme temelli karar verme yöntemleri tercih etmektedir. Bu çalışmada, literatürde ilk defa q seviyeli bulanık küme temelli bir karar verme yaklaşımı üçüncü parti lojistik firma seçimi için önerilmektedir. Q-ROF TOPSIS metodu kullanılarak yapılan çalışmada 5 alternatif firma için 10 kriter ve bu kriterlerin ağırlıkları belirlenmiş, karar vericilerin notları birleştirilmiş ve alternatifler sıralanmıştır.

## q-Rung orthopair fuzzy TOPSIS application for 3rd party logistics provider selection

### Article Info

#### Article History:

Received: 22.12.2020  
Revised: 21.03.2021  
Accepted: 31.03.2021

#### Keywords

Multiple-criteria decision making methods,  
Third party logistics provider selection,  
q-Rung orthopair fuzzy sets,  
TOPSIS

### Abstract

In the global competitive environment, businesses have to choose the most suitable third-party logistics company for logistics activities that are outside their core competencies in order to increase quality and reduce costs. Most decision makers make this choice using fuzzy set-based decision-making methods that reflect the uncertainty of real life. In this study, for the first time in the literature, a q-rung orthopair fuzzy set-based decision-making approach is proposed for third-party logistics provider selection. In the study using the TOPSIS method, 10 criteria and the weights of these criteria were determined for 5 alternative companies, the evaluations of decision makers were aggregated, and the alternatives were ranked.

## 1. Giriş

İşletmelerin küresel rekabet koşullarında kalite ve hizmet hızını artırmak ve maliyetleri düşürmeleri için temel uzmanlık alanı dışındaki lojistik faaliyetlerini bu konularda uzmanlaşmış üçüncü parti lojistik (3PL) hizmet

sağlayıcılarına aktarmaları beraberinde lojistik maliyet tasarrufu, rekabet avantajı ve müşteri memnuniyetinde artışı getirmektedir.

"Lojistik dış kaynak kullanımı", "lojistik ortaklık", "üçüncü parti lojistiği", "sözleşme lojistiği" gibi terimler, daha önce gerçekleştirilmiş olan lojistik faaliyetlerin bir kısmının veya tümünün sözleşme-dışı bırakılmasına ilişkin örgütsel uygulamaları tanımlamak için birbirinin yerine kullanılsa da (Selviaridis & Spring, 2007) 3PL, yalnızca taşıma veya depolama işlevlerinden ziyade genellikle birden fazla entegre lojistik hizmetlerin sunulması olarak tanımlanmaktadır (Leahy vd., 1995). Çağdaş 3PL düzenlemeleri, lojistik hizmetlerin spot satın alımlarının aksine resmi kısa veya uzun vadeli sözleşmeli ilişkilere dayanmaktadır (Murphy & Poist, 1998).

1980'lerde ortaya çıkan 3PL konsepti 1990'lardan itibaren yeni bir iş alanı olarak kabul edilmiş ve 2000'li yıllarda da şirketlerin dış kaynak kullanımına eğilmesiyle birçok işletme tarafından kullanılmaya (Govindan vd., 2016). Özellikle lojistik dış kaynak kullanımının büyümesi, temel olarak maliyetleri düşürme, performansı artırma, ana işlerine odaklanma ve stratejik ittifaklar yoluyla sanal girişimler kurma açısından getirdiği faydalar nedeniyle tercih edilmektedir. ABD'deki Fortune 500 şirketlerinin yaklaşık % 60'ının en az bir 3PL sözleşmesine sahip olduklarını ve lojistik sağlayıcıları pazarının büyümeye devam ettiği görülmektedir (Aguzzoul, 2014).

Temel olarak, 3PL sağlayıcı firma, bir şirket veya kuruluş içinde gerçekleştirilen lojistik faaliyetleri yürütmek için ona profesyonel anlamda lojistik, nakliye, depolama ve dağıtım, envanter yönetimi ve çapraz sevkiyat gibi gerekli hizmetleri sağlayarak şirketin lojistik hizmetlerini kolaylaştırabilmektedir. Bu şekilde kurulan lojistik ortaklıkların temel avantajları, firmaların asli işlerine konsantre olmalarına, tedarik zinciri ortaklıkları geliştirmelerine, verimliliklerini artırmalarına ve lojistik maliyetlerini düşürmelerine olanak tanınmaktadır (Govindan vd., 2016; H.-T. Liu & Wang, 2009).

3PL firma değerlendirme sürecinde şirket yöneticisi için; 3PL firmalarının hangi kriterler ışığında değerlendirileceği ve bu kriterlerin önceliklerinin ne olacağı hususları öne çıkmaktadır. En sık kullanılan kriterlerin maliyet, ikili ilişkiler, hizmet seviyesi, kalite, bilgi / ekipman sistemi, esneklik ve teslimat olduğu, bunların yanında profesyonellik, mali durum, konum ve itibarın da kullanıldığı belirtilmektedir (Aguzzoul, 2014). Özcan ve Ahiskali (2020) 3PL sağlayıcıları değerlendirmek için AHP ve TOPSIS metodlarını entegre ederek kriterleri belirlemiş ve sonrasında hedef programlama yaklaşımı ile alternatifleri değerlendirmiştir.

Literatür çalışmalarında da görüldüğü gibi, 3PL firma seçimi ile ilgili makalelerin çoğu, belirsiz faktörleri dikkate alarak 3PL sağlayıcıların değerlendirme sürecinde bulanık sayılarla desteklenen metodları kullanmıştır (Aguzzoul, 2014; Marasco, 2008). Günümüzde karar vericilerin çoğu algılarını kesin olmayan bilgiler kullanarak ifade ettiğinden (Pamucar vd., 2019), çok kriterli karar verme yöntemlerinde klasik kümelerin kesinlik içeren mevcut yaklaşımları yerine gerçek hayattaki belirsizliği daha iyi yansıtan ve ilk olarak Zadeh (1965) tarafından önerilen bulanık kümeler tercih edilmektedir. Bulanık metodlarla son dönemde yapılan çalışmalara bakacak olursak; Toragay ve Arıkan (2015) Tip 2 bulanık sayılarla Delphi-TOPSIS entegre metodu ile performans değerlendirmesi modeli önermiş, Fan vd. (2020) MABAC metodu ve bulanık sayıları kullanarak 3PL sağlayıcı seçim modeli oluşturmuştur. Jovčić vd. (2020) yük taşıma problemi için 3PL sağlayıcı seçiminde resim bulanık ARAS yöntemi kullanmış ve metodunu dokuz resim bulanık metotla karşılaştırmıştır. Mishra vd. (2021) bulanık CRITIC-EDAS metodu ile sürdürülebilir ters 3PL sağlayıcı seçimi yapmış ve diğer çağdaş metodlarla kıyaslamıştır.

Bu çalışmada, 3PL firma seçimi yapmak isteyen bir otomotiv şirketinin yetkilileri ile yapılan görüşmede yukarıda ifade edilen hususlar ışığında 3PL firma değerlendirme kriterleri ve bu kriterlerin ağırlıkları belirlenmiştir. Bu veriler, Yager (2017) tarafından literatüre kazandırılan q seviyeli bulanık kümeler ile desteklenen q-ROF TOPSIS metodu (Pınar & Boran, 2020) kullanılarak en uygun 3PL firma seçilmiştir.

Çalışma gerçek verilerle yapılmıştır. Çalışmanın literatüre katkısı, nicel verilere sahip olunmayan durumlarda öznel değerlendirmeler ile özellikle belirsizlik durumlarında başarılı sonuçlar veren q seviyeli bulanık sayılar kullanılarak yapılan ilk 3PL firma seçimi çalışmasıdır. Bu çalışmanın ikinci bölümünde 3PL firma seçimi konusunda literatür taraması sunulmuş, üçüncü bölümünde q-ROF TOPSIS metodu açıklanarak 3PL firma seçimi uygulaması yapılmış ve son bölümde sonuç ve öneriler sunulmuştur.

## 2. Literatür taraması

Marasco (2008), 1989 ve 2006 yılları arasında 3PL firma seçimi konusunda yayınlanan 152 makaleyi içerik ve metodolojiye dayalı olarak sınıflandıran bir literatür taraması yapmıştır. Aguzzoul (2014) ise literatür çalışmasında, 3PL değerlendirme yöntemlerini çok kriterli karar verme (MCDM) teknikleri, istatistiksel yaklaşımlar, yapay zeka, matematiksel programlama ve hibrit yöntemler olarak beşe ayırmaktadır.

3PL firma seçimi konusunda birçok araştırmacı çalışma yapmıştır. Meade ve Sarkis (2002), üçüncü parti ters lojistik firma seçimi için bir ANP modeli önermiş, (Bottani & Rizzi, 2006) 3PL firma seçimi ve sıralanması için

bulanık bir TOPSIS yaklaşımı geliştirilmiş, (Min & Joo, 2006), 3PL firmalarının verimliliğini ölçmek ve kıyaslamak için, Zhou vd. (2008) ise Çin'deki önde gelen on adet 3PL firmasının rekabet edebilirliğini ölçmek için veri zarflama analizi (VZA) kullanmış, Göl ve Çatay (2007) bir Türk otomotiv şirketi için 3PL firma seçiminde AHP metodunu kullanmış, Jharkharia ve Shankar (2007) uygun 3PL firma seçimi için bir analitik ağ süreci (ANP) modeli geliştirmiştir.

Birçok araştırmacı birkaç metodu içeren entegre karar verme yöntemleri kullanmıştır. Büyüközkan vd. (2008) bulanık AHP ve bulanık TOPSIS yaklaşımlarını kullanarak ilgili şirkete en uygun stratejik ortağını seçmek için hibrit bir model önermiş, Efendigil vd. (2008) tersine lojistik bağlamında 3PL firmasını seçmek için entegre bir bulanık AHP-YSA modeli önermiştir. H.-T. Liu ve Wang (2009), Tayvan'da 3PL firmasının değerlendirilmesi ve seçimi maksadıyla, önemli değerlendirme kriterlerini belirlemek için Delphi yöntemi, uygun olmayan 3PL firmalarını ortadan kaldırmak için bir çıkarım yöntemi ve son seçim için bir lineer programlama modeli olacak şekilde üç farklı teknikten oluşan entegre bir bulanık yaklaşım kullanmıştır. Li vd. (2012) 3PL firma performansını yönetim başarısı, iş gücü, hizmet kalitesi ve iş büyüme kriterleri açısından değerlendirmek için bulanık kümeler kullanmış, kapsamlı değerlendirme sonucunu maksimize eden doğrusal programlama yöntemi kullanarak Çin'deki bir klima üreticisinin ihtiyaç duyduğu 3PL firma seçimini yapmıştır.

Yayla vd. (2015) 3PL sağlayıcı değerlendirmesi için bulanık AHP ve bulanık TOPSIS'i birleştiren entegre bir model önermiş, Keshavarz Ghorabae vd. (2017) Kriterler Arası Korelasyon Açısından Kriterlerin Önemi (CRITIC) ve Bütünleşik Ağırlıklı Toplam ve Çarpım (WASPAS) metodlarını aralıklı tip 2 bulanık küme ile kullanarak 3PL firma değerlendirmesi yapmış, Ecer (2018) 3PL firma seçimi için bulanık AHP ve Ortalama Çözüm Uzaklığına Göre Değerlendirme (EDAS) metodlarını kullanmış, Pamucar vd. (2019) Best-Worst Yöntemi (BWM), WASPAS ve Çok Nitelikli Sınır Yaklaşım Alanı Kıyaslaması (MABAC) metodlarını bir arada kullanarak belirsizlik ortamında 3PL firma değerlendirmesi yapmıştır.

Literatürdeki 3PL firma seçimi çalışmalarında son dönemde belirsizlik ortamında karar vermeyi daha iyi modellediği görülen bulanık küme temelli çalışmalarda artış olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle çalışmamızda karar vericiye daha geniş karar verme alanı sağlayan q seviyeli bulanık küme temelli q-ROF TOPSIS metodu kullanılmıştır.

### 3. Üçüncü parti lojistik firma seçim uygulaması

3PL firma seçimi uygulaması için ağır araç parçaları üretip, 138 ülkeye yıllık 100 milyon doların üzerinde ihracat yapan bir otomotiv firması seçilmiştir. Şirket 24 farklı kategori altında yaklaşık 15 bin ürün çeşidi üretmenin yanı sıra alım-satımını yaparak piyasaya 30 bin çeşit ürün sunmaktadır. Literatürde, tedarikçi seçimi konusunda ilk defa Dickson (1966) tarafından 273 şirketle görüşerek ortaya atılan 23 tedarikçi seçim kriterinin de olduğu 30 kriter yapılan görüşmede otomotiv firmasına sunulmuştur. Söz konusu firma yetkilileri tarafından 3PL firma seçimi için kendilerine sunulan 30 kriter arasından aşağıdaki 10 kriter ağırlıklı ortalama metodu ile belirlenmiştir;

- X<sub>1</sub> - Kalite
- X<sub>2</sub> - Finansal Durum
- X<sub>3</sub> - Teslimat
- X<sub>4</sub> - Müşteri ile İletişim
- X<sub>5</sub> - Maliyetin Uygunluğu
- X<sub>6</sub> - Endüstrideki İtibarı ve Pozisyonu
- X<sub>7</sub> - Ürün Çeşitliliği
- X<sub>8</sub> - Prosedürlere Uyum
- X<sub>9</sub> - Karşılıklı Düzenlemelere Uyum
- X<sub>10</sub> - Üretim Tesislerinin Kapasitesi

#### 3.1. Uygulamanın aşamaları

TOPSIS metodunda kullanılacak alternatifler kümesi  $A = \{A_1, A_2, A_3, \dots, A_m\}$ , kriterler kümesi de  $X = \{X_1, X_2, X_3, \dots, X_n\}$  olsun. q-ROF TOPSIS metodunu öneren Pınar ve Boran (2020) yaptıkları parametre analizinde bu metodunun en iyi değerlerini q=3 ve p=1 olarak belirlediklerinden çalışmamızda aksi belirtilmeyen durumlarda q=3 ve p=1 olarak kabul edilmiştir. Q seviyeli bulanık TOPSIS metodunun aşamaları aşağıdaki şekildedir:

**Aşama 1:** Karar vericilerin ağırlıklarının belirlenmesi

Karar vericilerin değerlendirildikleri dilsel terimler q seviyeli bulanık sayılarla ifade edilirler. Mesela  $l$  adet karar vericiden  $k$ 'inci karar vericinin performansını değerlendirmek için  $D_k = [\mu_k, v_k, \pi_k]$  q-ROF sayısı kullanılır.

Söz konusu karar vericiyi değerlendirmek için q-ROF sayısının skor fonksiyonu (Wang & Li, 2018; Wei vd., 2018) Eş.1'de belirtilen formül yardımıyla hesaplanır:

$$\lambda_k = \frac{(1 + \mu_k^q - v_k^q)}{\sum_{k=1}^l (1 + \mu_k^q - v_k^q)} \quad \text{ve} \quad \sum_{k=1}^l \lambda_k = 1 \quad (1)$$

Çok kriterli grup karar verme yaklaşımı ile uygulanan q-ROF TOPSIS metodunda ilgili şirket 3PL firma seçiminde puan vermesi için üç uzman personelini görevlendirmiş ve onların uzmanlık seviyelerini aşağıdaki dilsel değişkenlerle değerlendirmiştir. Söz konusu değişkenler Tablo 1 yardımıyla bu terimlere karşılık gelen q-ROF sayılara dönüştürülmüştür:

**Tablo 1.** Dilsel değişkenler

Dilsel Değişkenler	$\mu$	$v$
Çok aşırı iyi (Aİ)	0,95	0,15
Çok iyi(Çİ)	0,85	0,25
İyi (İ)	0,75	0,35
Ortanın üzerinde (OÜ)	0,65	0,45
Orta seviyede (O)	0,55	0,55
Ortanın altında (OA)	0,45	0,65
Düşük (D)	0,35	0,75
Çok düşük (ÇD)	0,25	0,85
Aşırı derecede düşük (AD)	0,15	0,95

**Tablo 2.** Dilsel terimlerle yapılan 3PL firma değerlendirmesi

Kriter	3PL firma	KV1	KV2	KV3	Kriter	3PL firma	KV1	KV2	KV3
X <sub>1</sub> -Kalite	A1	Aİ	Çİ	OÜ	X <sub>6</sub> -Endüstrideki İtibarı ve Pozisyonu	A1	İ	Aİ	İ
	A2	Aİ	Aİ	İ		A2	Aİ	Aİ	Aİ
	A3	Çİ	Aİ	İ		A3	Çİ	Aİ	Çİ
	A4	İ	İ	İ		A4	Çİ	Aİ	Çİ
	A5	İ	İ	İ		A5	İ	Çİ	Çİ
X <sub>2</sub> - Finansal Durum	A1	Aİ	Aİ	Çİ	X <sub>7</sub> -Ürün Çeşitliliği	A1	Aİ	Aİ	Çİ
	A2	Aİ	Aİ	Aİ		A2	Aİ	Aİ	Aİ
	A3	OÜ	İ	İ		A3	Aİ	Aİ	Çİ
	A4	İ	Çİ	Çİ		A4	Çİ	Çİ	Çİ
	A5	İ	İ	İ		A5	İ	İ	OÜ
X <sub>3</sub> -Teslimat	A1	İ	İ	İ	X <sub>8</sub> -Prosedürlere Uyum	A1	Çİ	İ	Çİ
	A2	Çİ	İ	İ		A2	İ	Çİ	OÜ
	A3	OÜ	Çİ	İ		A3	Çİ	Çİ	Çİ
	A4	İ	İ	İ		A4	Çİ	Çİ	Çİ
	A5	Aİ	Çİ	İ		A5	Aİ	Çİ	Çİ
X <sub>4</sub> -Müşteri ile İletişim	A1	Çİ	Aİ	Çİ	X <sub>9</sub> -Karşılıklı Düzenlemelere Uyum	A1	Çİ	İ	Çİ
	A2	OÜ	İ	Aİ		A2	İ	İ	OÜ
	A3	İ	Çİ	Aİ		A3	Aİ	Çİ	Çİ
	A4	Aİ	Aİ	Aİ		A4	İ	İ	Çİ
	A5	Çİ	Aİ	Aİ		A5	Aİ	Çİ	Çİ
X <sub>5</sub> -Maliyetin Uygunluğu	A1	OÜ	İ	OÜ	X <sub>10</sub> - Üretim Tesislerinin Kapasitesi	A1	İ	İ	İ
	A2	İ	İ	Çİ		A2	Çİ	Çİ	Çİ
	A3	Aİ	Çİ	Çİ		A3	Aİ	Çİ	Çİ
	A4	Çİ	İ	Çİ		A4	Çİ	OÜ	İ
	A5	Çİ	İ	Çİ		A5	İ	İ	İ

Karar vericilerin (KV) uzmanlıkları aşağıdaki şekilde belirlenmiştir:

$KV_1$ =çok iyi (0,85;0,25),  $KV_2$  = iyi (0,75;0,35),  $KV_3$ =ortanın üzerinde iyi (0,65;0,45)

Her bir karar vericiyi değerlendirmek için q-ROF sayısının skor fonksiyonu Eş.1 ile belirtilen formül yardımıyla aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\lambda_{KV_1} = \frac{(1 + 0.85^3 - 0.25^3)/2}{(0.799 + 0.690 + 0.592)} = 0.384$$

$$\lambda_{KV_2} = \frac{(1 + 0.75^3 - 0.35^3)/2}{(0.799 + 0.690 + 0.592)} = 0.331$$

$$\lambda_{KV_3} = \frac{(1 + 0.65^3 - 0.45^3)/2}{(0.799 + 0.690 + 0.592)} = 0.285$$

Her bir KV tarafından dilsel terimlerle yapılan ve müteakiben Tablo 1 kullanılarak q-ROF sayı sistemine dönüştürülen söz konusu değerlendirmeler Tablo 2 ve Tablo3'te gösterilmiştir.

**Tablo 3.** 3PL firma değerlendirmesinin q-ROF sayılara dönüştürülmesi (1.Kriter için örneklenmiştir)

Kriterler	3PL firma	KV1		KV2		KV3	
	KV Ağ.	0,384	0,384	0,331	0,331	0,285	0,285
X1	A1	0,95	0,15	0,85	0,25	0,65	0,45
	A2	0,95	0,15	0,95	0,15	0,75	0,35
	A3	0,85	0,25	0,95	0,15	0,75	0,35
	A4	0,75	0,35	0,75	0,35	0,75	0,35
	A5	0,75	0,35	0,75	0,35	0,75	0,35

**Aşama 2.** Karar vericilerin görüşleri ile normalleştirilmiş karar matrisinin oluşturulması

$$q-ROFWA(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_l) = \left\langle \left( 1 - \prod_{k=1}^l (1 - \mu_k^q)^{\lambda_k} \right)^{1/q}, \prod_{k=1}^l v_k^{\lambda_k} \right\rangle \quad (2)$$

Söz konusu q-ROF sayıları ile önceki adımda bulunan KV ağırlıkları Eş.2 ile verilen q-ROFWA operatörü kullanılarak (P. D. Liu ve Wang, 2018) bu aşamada normalleştirilir. Normalleştirilmiş q-ROF karar matrisi aşağıdaki sunulmuştur:

$$R = \begin{matrix} & \begin{matrix} X_1 & X_2 & X_3 & X_4 & X_5 \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \\ A_5 \end{matrix} & \begin{bmatrix} (0,882; 0,243; 0,670) & (0,933; 0,173; 0,569) & (0,750; 0,350; 0,812) & (0,897; 0,211; 0,645) & (0,689; 0,414; 0,844) \\ (0,924; 0,191; 0,590) & (0,950; 0,150; 0,518) & (0,796; 0,307; 0,775) & (0,832; 0,302; 0,734) & (0,786; 0,318; 0,784) \\ (0,883; 0,232; 0,668) & (0,717; 0,385; 0,831) & (0,765; 0,344; 0,799) & (0,871; 0,246; 0,687) & (0,903; 0,205; 0,634) \\ (0,750; 0,350; 0,812) & (0,819; 0,284; 0,753) & (0,750; 0,350; 0,812) & (0,950; 0,150; 0,518) & (0,824; 0,279; 0,748) \\ (0,750; 0,350; 0,812) & (0,750; 0,350; 0,812) & (0,890; 0,226; 0,657) & (0,925; 0,182; 0,587) & (0,824; 0,279; 0,748) \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$R = \begin{matrix} & \begin{matrix} X_6 & X_7 & X_8 & X_9 & X_{10} \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \\ A_5 \end{matrix} & \begin{bmatrix} (0,860; 0,264; 0,701) & (0,933; 0,173; 0,569) & (0,824; 0,279; 0,748) & (0,824; 0,279; 0,748) & (0,750; 0,350; 0,812) \\ (0,950; 0,150; 0,518) & (0,950; 0,150; 0,518) & (0,772; 0,336; 0,794) & (0,726; 0,376; 0,826) & (0,850; 0,250; 0,718) \\ (0,897; 0,211; 0,645) & (0,932; 0,173; 0,569) & (0,850; 0,250; 0,718) & (0,903; 0,205; 0,634) & (0,903; 0,205; 0,634) \\ (0,897; 0,211; 0,645) & (0,850; 0,250; 0,718) & (0,850; 0,250; 0,718) & (0,786; 0,318; 0,784) & (0,775; 0,334; 0,792) \\ (0,819; 0,284; 0,753) & (0,726; 0,376; 0,826) & (0,903; 0,205; 0,634) & (0,903; 0,205; 0,634) & (0,750; 0,350; 0,812) \end{bmatrix} \end{matrix}$$

**Aşama 3.** Değerlendirme kriterlerinin önem derecelerini belirleme

Değerlendirmede kullanılacak kriterlerin önem derecesini belirtmekte kullanılan ağırlık değerleri karar vericilerin dilsel değişkenler şeklinde alınan değerlendirmelerinin q-ROF sayılara çevrilmesi ve Eş.3'ün tatbik edilmesi neticesinde Tablo 4'teki gibi hesaplanır:

$$W = \frac{\sum_{k=1}^l \lambda_k (1 + \mu_k^q - v_k^q)}{\sum_{j=1}^n W_j \sum_{k=1}^l \lambda_k (1 + \mu_k^q - v_k^q)} \quad (3)$$

Burada,  $W = [w_1 + w_2 + w_3, \dots, w_n]$ ,  $w_j = (\mu_j, v_j, \pi_j)$  ve  $j = 1, 2, 3, \dots, n$ .

**Tablo 4.** Kriter ağırlıkları

Kriterler	Karar vericilerin değerlendirmesi						Kriterin ağırlık değeri
	KV'nin ağırlığı	KV1		KV2		KV3	
Kalite	0,85	0,25	0,75	0,35	0,75	0,35	0,097
Finansal Durum	0,95	0,15	0,65	0,45	0,65	0,45	0,096
Teslimat	0,95	0,15	0,75	0,35	0,65	0,45	0,100
Müşteri ile İletişim	0,95	0,15	0,85	0,25	0,75	0,35	0,109
Maliyetin Uygunluğu	0,95	0,15	0,75	0,35	0,65	0,45	0,100
Endüstrideki İtibarı ve Pozisyonu	0,95	0,15	0,75	0,35	0,75	0,35	0,104
Ürün Çeşitliliği	0,95	0,15	0,85	0,25	0,75	0,35	0,109
Prosedürlere Uyum	0,85	0,25	0,75	0,35	0,65	0,45	0,094
Karşılıklı Düzenlemelere Uyum	0,85	0,25	0,75	0,35	0,65	0,45	0,094
Üretim tesisleri Kapasite	0,85	0,25	0,75	0,35	0,75	0,35	0,097

**Aşama 4.** Normalleştirilmiş ve ağırlıklandırılmış q-ROF karar matrisinin oluşturulması.

Hesaplanan ağırlık değerleri normalleştirilmiş q-ROF karar matrisiyle birleştirilir (Pınar ve Boran, 2020) ve sonucunda normalleştirilmiş ve ağırlıklandırılmış q-ROF karar matrisi elde edilir.

$r'_{ij} = (\mu'_{ij}, v'_{ij}, \pi'_{ij}) = (\mu_{A_{ij}}(x_j), v_{A_{ij}}(x_j), \pi_{A_{ij}}(x_j))$  Oluşturulan söz konusu matrisin bir elemanıdır ve burada  $i = 1, 2, 3, \dots, m; j = 1, 2, 3, \dots, n$  şeklinde ifade edilir. Oluşturulan R' matrisi aşağıda sunulmuştur:

	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$
$A_1$	(0,474; 0,871; 0,615)	(0,529; 0,845; 0,629)	(0,377; 0,900; 0,601)	(0,507; 0,844; 0,645)	(0,339; 0,915; 0,579)
$A_2$	(0,519; 0,851; 0,625)	(0,554; 0,833; 0,630)	(0,408; 0,888; 0,613)	(0,447; 0,878; 0,616)	(0,401; 0,891; 0,610)
$A_3$	(0,475; 0,867; 0,621)	(0,351; 0,913; 0,582)	(0,387; 0,899; 0,600)	(0,480; 0,858; 0,635)	(0,500; 0,853; 0,633)
$A_4$	(0,373; 0,903; 0,597)	(0,419; 0,886; 0,613)	(0,377; 0,900; 0,601)	(0,576; 0,813; 0,647)	(0,429; 0,880; 0,621)
$A_5$	(0,373; 0,903; 0,597)	(0,371; 0,904; 0,594)	(0,486; 0,861; 0,626)	(0,539; 0,831; 0,646)	(0,429; 0,880; 0,621)
	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$
$A_1$	(0,464; 0,871; 0,621)	(0,549; 0,827; 0,646)	(0,419; 0,887; 0,610)	(0,419; 0,887; 0,610)	(0,373; 0,903; 0,597)
$A_2$	(0,568; 0,821; 0,641)	(0,576; 0,814; 0,647)	(0,383; 0,903; 0,592)	(0,354; 0,912; 0,581)	(0,446; 0,874; 0,625)
$A_3$	(0,500; 0,851; 0,638)	(0,549; 0,827; 0,646)	(0,440; 0,878; 0,619)	(0,490; 0,862; 0,623)	(0,496; 0,857; 0,629)
$A_4$	(0,500; 0,851; 0,638)	(0,462; 0,860; 0,643)	(0,440; 0,878; 0,619)	(0,392; 0,898; 0,599)	(0,390; 0,899; 0,599)
$A_5$	(0,430; 0,878; 0,626)	(0,371; 0,899; 0,606)	(0,490; 0,862; 0,623)	(0,490; 0,862; 0,623)	(0,373; 0,903; 0,597)

**Aşama 5-7.** İdeal çözümlerin ve yakınlık değerlerinin bulunması:

Çalışmada maliyetin uygunluğu da dahil olmak üzere tüm kriterler kâr kriteri olarak hesaplanmıştır. Q-ROF TOPSIS yönteminde q-ROFPIS kârı maksimize ederken maliyeti minimize eder. q-ROFNIS kârı minimize ederken maliyeti maksimize eder. q-ROFPIS ( $A^*$ ) ile q-ROFNIS ( $A^-$ ) değerleri aşağıdaki şekilde bulunmuştur:

$$A^* = \begin{matrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \\ X_5 \\ X_6 \\ X_7 \\ X_8 \\ X_9 \\ X_{10} \end{matrix} \begin{bmatrix} (0,519; 0,851; 0,625) \\ (0,554; 0,834; 0,630) \\ (0,486; 0,862; 0,626) \\ (0,576; 0,813; 0,647) \\ (0,500; 0,853; 0,633) \\ (0,568; 0,821; 0,641) \\ (0,576; 0,814; 0,647) \\ (0,490; 0,862; 0,623) \\ (0,490; 0,862; 0,623) \\ (0,496; 0,857; 0,629) \end{bmatrix} \quad A^- = \begin{matrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \\ X_5 \\ X_6 \\ X_7 \\ X_8 \\ X_9 \\ X_{10} \end{matrix} \begin{bmatrix} (0,373; 0,903; 0,597) \\ (0,351; 0,913; 0,582) \\ (0,377; 0,900; 0,601) \\ (0,447; 0,878; 0,616) \\ (0,339; 0,915; 0,579) \\ (0,430; 0,878; 0,626) \\ (0,371; 0,899; 0,606) \\ (0,383; 0,903; 0,592) \\ (0,358; 0,912; 0,581) \\ (0,373; 0,903; 0,596) \end{bmatrix}$$

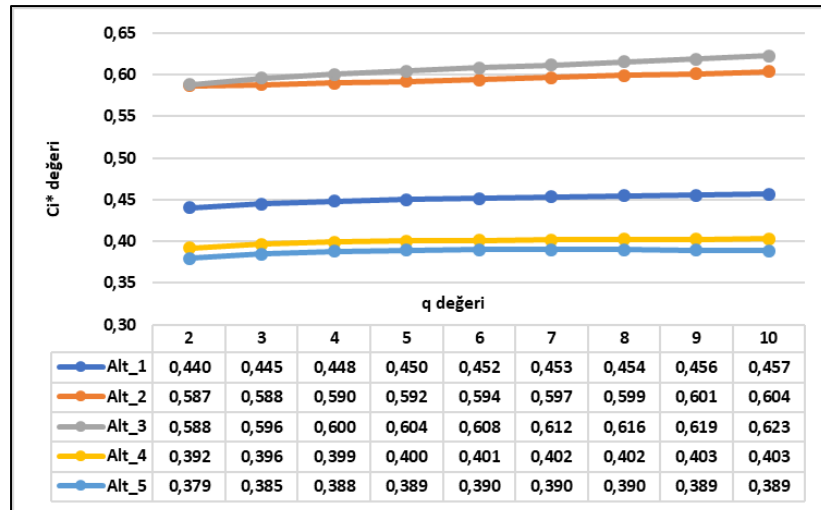
q-ROF sayıları ile ifade edilen alternatiflerin arasındaki ayırım ölçüleri Pınar ve Boran (2020) tarafından önerilen uzaklık ölçüsü yardımı ile hesaplanmıştır. Her bir alternatifin q-ROFPIS ve q-ROFNIS ideal çözümleriyle arasındaki mesafeyi belirten ve  $S_i^*$  ile  $S_i^-$  olarak ifade edilen ayırım ölçüleri ve ideal çözüme yakınlık olarak gösterilen  $C_i^*$  değeri hesaplanmış, hesaplanan değerler ve alternatiflerin sıralaması Tablo 5'te sunulmuştur.

**Tablo 5.** Yakınlık değerleri ve alternatiflerin sıralanması (q=3 için)

Alternatifler	S*	S <sup>-</sup>	C <sub>i</sub> *	Sıralama
Alternatif 1	0,046	0,037	0,445	3
Alternatif 2	0,034	0,049	0,588	2
Alternatif 3	0,034	0,050	0,596	1
Alternatif 4	0,050	0,033	0,396	4
Alternatif 5	0,051	0,032	0,385	5

#### Parametre Analizi

q-ROF TOPSIS metodu parametrik olması nedeniyle, q=(2-10) değerleri için sonuçlar hesaplanarak parametre analizi yapılmıştır (Şekil 1). q=2 de birbiri ile neredeyse aynı olan ilk iki sıradaki alternatif (Alt\_2=0,587; Alt\_3=0,588) q seviyesi arttıkça bu alternatiflerin puanlarının belirgin oranda farklılaştığı ve dolayısıyla bu metodun en önemli avantajlarından biri olan alternatifleri ayırt edicilik özelliğinin sonucunun ortaya çıktığı Şekil 1'de açıkça görülmektedir.



**Şekil 1.** Sonuçların parametre analizi

#### 4. Sonuç ve öneriler

3PL firmaları, tüm sektörlerden şirketlere maliyetleri düşürmeye, temel farklılaştırma faaliyetlerine odaklanmaya ve sonuç olarak, tüm sektörlerden şirketlere hızlı ve çeşitli hizmetler sunmalarını sağladıkları için lojistik sektöründe küresel çapta artan bir öneme sahiptir. Bu çalışmada 3PL firma seçimi konusunda literatürdeki

çalışmalar incelendiğinde belirsizlik ortamında bulanık küme temelli karar verme yaklaşımlarının kullanımlarında son yıllarda artış görüldüğü tespit edilmiştir. Literatürde 3PL firma seçiminde birçok bulanık küme temelli karar verme yaklaşımı kullanılsa da q seviyeli bulanık küme temelli bir yöntemin kullanılmadığı görülmüş ve bu eksiği gidermek maksadıyla q-ROF TOPSIS metodu ile bir otomotiv firması için kriterler seçilmiş, ağırlıklandırılmış ve en uygun 3PL firma seçimi yapılmıştır.

3PL firma seçimi için gerçek verilerin kullanıldığı çalışmada önerilen q-ROF TOPSIS metodu istikrarlı sonuçlar vermiştir. Sonuçların parametre analizi yapıldığında alternatifleri sıralamada q seviyesi q=2 den q=10'a doğru arttıkça alternatiflerin sıralamalarının değişmediği görülmektedir. q=2 için ilk iki sırada bulunan Alt2 ve Alt3'ün birbirlerine yakın değer aldıkları fakat q seviyesi arttıkça Alt3'ün bariz bir şekilde birinci olduğu, dolayısıyla da metodun parametrik özelliği kullanıldığında sonuçları ayırt edici özelliği ortaya çıkmaktadır.

Sonraki çalışmalarda q-ROF TOPSIS metodu 3PL firma seçiminde AHP, ELECTRE gibi diğer yöntemlerle entegre olarak kullanılabilir gibi tekil yöntem olarak 3. Parti tersine lojistik sağlayıcı firma seçiminde de kullanılabilir. Ayrıca diğer MCDM metotları (ELECTRE, VIKOR, PROMETHEE vb.) q-ROF kümelerle desteklenerek 3PL seçiminde kullanılabilir,

## Teşekkür

Doç. Dr. Fatih Emre BORAN'a bu çalışmaya katkılarından dolayı teşekkürü borç bilirim.

## Çıkar Çatışması

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

## Kaynaklar

- Aguezzoul, A. (2014). Third-party logistics selection problem: A literature review on criteria and methods. *Omega*, 49, 69-78. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2014.05.009>
- Bottani, E., & Rizzi, A. (2006). A fuzzy TOPSIS methodology to support outsourcing of logistics services. *Supply Chain Management: An International Journal*. Doi: <https://doi.org/10.1108/13598540610671743>
- Büyükoçkan, G., Feyzioğlu, O., & Nebol, E. (2008). Selection of the strategic alliance partner in logistics value chain. *International Journal of Production Economics*, 113(1), 148-158. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2007.01.016>
- Dickson, G. W. (1966). An analysis of vendor selection systems and decisions. *Journal of purchasing*, 2(1), 5-17. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1745-493X.1966.tb00818.x>
- Ecer, F. (2018). Third-party logistics (3PLs) provider selection via Fuzzy AHP and EDAS integrated model. *Technological and Economic Development of Economy*, 24(2), 615-634. Doi: <https://doi.org/10.3846/20294913.2016.1213207>
- Efendigil, T., Önüt, S., & Kongar, E. (2008). A holistic approach for selecting a third-party reverse logistics provider in the presence of vagueness. *Computers & Industrial Engineering*, 54(2), 269-287. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2007.07.009>
- Fan, J., Guan, R., & Wu, M. (2020). Z-MABAC Method for the Selection of Third-Party Logistics Suppliers in Fuzzy Environment. *IEEE Access*, 8, 199111-199119. Doi: [10.1109/ACCESS.2020.3035025](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3035025)
- Govindan, K., Khodaverdi, R., & Vafadarnikjoo, A. (2016). A grey DEMATEL approach to develop third-party logistics provider selection criteria. *Industrial Management & Data Systems*. Doi: <https://doi.org/10.1108/IMDS-05-2015-0180>
- Göl, H., & Çatay, B. (2007). Third-party logistics provider selection: insights from a Turkish automotive company. *Supply Chain Management: An International Journal*. Doi: <https://doi.org/10.1108/13598540710826290>
- Jharkharia, S., & Shankar, R. (2007). Selection of logistics service provider: An analytic network process (ANP) approach. *Omega*, 35(3), 274-289. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2005.06.005>



- Jovčić, S., Simić, V., Průša, P., & Dobrodolac, M. (2020). Picture fuzzy ARAS method for freight distribution concept selection. *Symmetry*, 12(7), 1062. Doi: <https://doi.org/10.3390/sym12071062>
- Keshavarz Ghorabae, M., Amiri, M., Kazimieras Zavadskas, E., & Antuchevičienė, J. (2017). Assessment of third-party logistics providers using a CRITIC–WASPAS approach with interval type-2 fuzzy sets. *Transport*, 32(1), 66-78. Doi: <https://doi.org/10.3846/16484142.2017.1282381>
- Leahy, S. E., Murphy, P. R., & Poist, R. F. (1995). Determinants of successful logistical relationships: a third-party provider perspective. *Transportation Journal*, 5-13. URL: <https://www.jstor.org/stable/20713268>
- Li, F., Li, L., Jin, C., Wang, R., Wang, H., & Yang, L. (2012). A 3PL supplier selection model based on fuzzy sets. *Computers & Operations Research*, 39(8), 1879-1884. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2011.06.022>
- Liu, H.-T., & Wang, W.-K. (2009). An integrated fuzzy approach for provider evaluation and selection in third-party logistics. *Expert Systems with Applications*, 36(3), 4387-4398. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.05.030>
- Liu, P. D., & Wang, P. (2018). Some q-Rung Orthopair Fuzzy Aggregation Operators and their Applications to Multiple-Attribute Decision Making. *International Journal of Intelligent Systems*, 33(2), 259-280. doi: <https://doi.org/10.1002/int.21927>
- Marasco, A. (2008). Third-party logistics: A literature review. *International Journal of production economics*, 113(1), 127-147. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2007.05.017>
- Meade, L., & Sarkis, J. (2002). A conceptual model for selecting and evaluating third-party reverse logistics providers. *Supply Chain Management: An International Journal*. Doi: <https://doi.org/10.1108/13598540210447728>
- Min, H., & Joo, S. J. (2006). Benchmarking the operational efficiency of third party logistics providers using data envelopment analysis. *Supply chain management: An International journal*. Doi: <https://doi.org/10.1108/13598540610662167>
- Mishra, A. R., Rani, P., & Pandey, K. (2021). Fermatean fuzzy CRITIC-EDAS approach for the selection of sustainable third-party reverse logistics providers using improved generalized score function. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 1-17. Doi: <https://doi.org/10.1007/s12652-021-02902-w>
- Murphy, P. R., & Poist, R. F. (1998). Third-party logistics usage: an assessment of propositions based on previous research. *Transportation Journal*, 37(4), 26-35. Doi: <https://www.jstor.org/stable/20713362>
- Pamucar, D., Chatterjee, K., & Zavadskas, E. K. (2019). Assessment of third-party logistics provider using multi-criteria decision-making approach based on interval rough numbers. *Computers & Industrial Engineering*, 127, 383-407. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.10.023>
- Pinar, A., & Boran, F. E. (2020). A q-rung orthopair fuzzy multi-criteria group decision making method for supplier selection based on a novel distance measure. *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, 11(8), 1749-1780. Doi: <https://doi.org/10.1007/s13042-020-01070-1>
- Selviaridis, K., & Spring, M. (2007). Third party logistics: a literature review and research agenda. *The international journal of logistics management*. Doi: <https://doi.org/10.1108/09574090710748207>
- Torağay, O., & Arıkan, M. (2015). Performance Evaluation of Faculty Departments by a Delphi Method Based on 2-Tuple fuzzy Linguistic Representation Model and TOPSIS. *International Journal of Basic & Applied Sciences*, 15, 1-10. URL: [http://ijens.org/Vol\\_15\\_I\\_06/150205-7373-IJBAS-IJENS.pdf](http://ijens.org/Vol_15_I_06/150205-7373-IJBAS-IJENS.pdf)
- Wang, R., & Li, Y. (2018). A Novel Approach for Green Supplier Selection under a q-Rung Orthopair Fuzzy Environment. *Symmetry*, 10(12), 687. doi: <https://doi.org/10.3390/sym10120687>
- Wei, G., Gao, H., & Wei, Y. (2018). Some q-rung orthopair fuzzy Heronian mean operators in multiple attribute decision making. *International Journal of Intelligent Systems*, 33(7), 1426-1458. doi: <https://doi.org/10.1002/int.21985>

Yager, R. R. (2017). Generalized Orthopair Fuzzy Sets. *Ieee Transactions on Fuzzy Systems*, 25(5), 1222-1230. doi: [10.1109/TFUZZ.2016.2604005](https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2016.2604005)

Yayla, A. Y., Oztekin, A., Gumus, A. T., & Gunasekaran, A. (2015). A hybrid data analytic methodology for 3PL transportation provider evaluation using fuzzy multi-criteria decision making. *International Journal of Production Research*, 53(20), 6097-6113. Doi: <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1022266>

Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information control*, 8(3), 338-353. Doi:[https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)

Zhou, G., Min, H., Xu, C., & Cao, Z. (2008). Evaluating the comparative efficiency of Chinese third-party logistics providers using data envelopment analysis. *International Journal of physical distribution & logistics management*. Doi: <https://doi.org/10.1108/09600030810875373>



# Journal of Turkish Operations Management

## Belirsizlik altında kaynak kısıtlı çok modlu çoklu proje çizelgeleme

Serdar Soysal<sup>1\*</sup>, Berna Dengiz<sup>2</sup>, Kumru Didem Atalay<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Türk Havacılık ve Uzay Sanayii, Ankara, Türkiye,

e-mail: sersoysal@yahoo.com, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-7093-7419>

<sup>2</sup> Endüstri Mühendisliği Bölümü, Başkent Üniversitesi, Ankara, Türkiye

e-mail: bdengiz@baskent.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-2806-3308>

<sup>3</sup> Endüstri Mühendisliği Bölümü, Başkent Üniversitesi, Ankara, Türkiye

e-mail: katalay@baskent.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-9021-3565>

\*Sorumlu Yazar

### Makale Bilgisi

#### Makale Geçmişi:

Geliş: 27.02.2021  
Revize: 18.04.2021  
Kabul: 27.04.2021

#### Anahtar Kelimeler:

Çok modlu,  
Çoklu proje çizelgeleme,  
Kaynak tahsisi  
Şans kısıtlı programlama,  
Stokastik faaliyet süreleri

### Özet

Bu makalede, faaliyet sürelerinin stokastik olması durumunda, kaynak kısıtlı çok modlu çoklu proje çizelgeleme problemi (KKÇMÇPÇP) ele alınmaktadır. Geliştirilen modelin amacı, öncüllük ilişkileri ve kaynak kısıtlarına bağlı olarak tüm projelere göre toplam ağırlıklı gecikmeyi en küçükmektir. Ele alınan problem, sınırlı yenilenebilir ve yenilenemez kaynaklar ve faaliyetler için tanımlı, farklı zaman-kaynak kullanım alternatiflerini gösteren modları içerir. Bu çalışmada kaynakların paylaşarak her bir projeye tahsis edilmesini benimseyen ve kaynak tahsis politikası olarak isimlendirilen, kaynak yönetim politikası kullanılmıştır. Problem, şans kısıtlı programlama (ŞKP) modeli olarak formüle edilmiştir. Çözüm yaklaşımının etkinliği, test problemleri üzerinde yapılan sayısal analizler ile gösterilmiştir.

## Multi-mode resource constrained multi-project scheduling under uncertainty

### Article Info

#### Article History:

Received: 27.02.2021  
Revised: 18.04.2021  
Accepted: 27.04.2021

#### Keywords:

Multi-mode  
Multi-project scheduling  
Resource dedication  
Chance-constrained programming  
Stochastic activity duration

### Abstract

This paper considers the multi-mode resource constrained multi-project scheduling problem (MMRCMPSP) with stochastic activity times. The objective of the proposed model is to minimize the total weighted tardiness for all projects, subject to precedence and resource constraints. The problem involves limited renewable and non-renewable resources and different modes which state different time-resource alternatives for activities. Resource dedication policy is used as a resource management policy, that resources are dedicated to each project. In this study, the problem is formulated as a chance constrained programming (CCP) model. The effectiveness of the solution approach is demonstrated by computational analyses on a set of test problems.

## 1. Giriş

Son yıllarda, havacılık, inşaat, savunma sanayi gibi alanlarda işletmeler, kıt kaynakların kullanımını dikkate alarak aynı anda birçok projeyi birlikte yürütmektedir. Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi, birden çok projenin çizelgelenmesine uyarlanarak teknik yazımda “Kaynak Kısıtlı Çoklu Proje Çizelgeleme Problemi (KKÇPÇP)” olarak adlandırılmıştır. Payne’e (1995), göre, projelerin %90’ı çoklu proje ortamında gerçekleştirilmektedir. Ayrıca

şirketlerin %84'ünde aynı anda birden çok proje, eş zamanlı olarak yürütülmektedir (Lova, Maroto ve Tormos, 2000).

Birden çok projenin ve her bir projenin birden çok faaliyetinin olduğu bir durumda, öncüllük ilişkileri ve kaynak kısıtları dikkate alınarak, tüm projelerin aynı anda başlayacağı varsayımı ile tüm faaliyetlerin planlanması, önemli bir işletme yönetimi problemidir.

Bu çalışmada, faaliyet sürelerinin stokastik olması durumunda, kaynak kısıtlı çok modlu çoklu projeli çizelgeleme problemi (KKÇMÇPÇP), kaynak kısıtlı proje çizelgeleme probleminin özel bir durumu olarak sunulmuştur. Kolisch, Sprecher ve Drexl (1995), kaynak kısıtlı proje çizelgeleme probleminin deterministik durum için NP-zor problemler sınıfına ait olduğunu göstermiştir. Bu nedenle, bu çalışmada ele alınan stokastik KKÇMÇPÇP'nin çözümünde işlem yükü çok arttığı için ele alınan problem doğal olarak NP-zor problem sınıfındadır.

Herhangi bir projedeki herhangi bir faaliyet, birkaç moddan birinde gerçekleştirilebilir. Faaliyetlerin gerçekleştirileceği modlar, öncüllük ilişkileri ve kaynak kısıtlamaları temelinde amacı eniyileyecek şekilde seçilir. Bu çalışmada ele alınan problemde birden çok mod dikkate alınmıştır. Bu durumda, her bir faaliyet bu modlardan herhangi birinde o mod için tanımlı zaman-kaynak alternatifine göre gerçekleştirilir.

Çoklu proje çizelgeleme problemi içinde kaynakların yönetimi çok önemlidir. Beşikçi, Bilge ve Ulusoy (2013), kaynak yönetimi politikasını, kaynakların çoklu proje ortamında her bir proje tarafından nasıl kullanıldığının karakterizasyonu olarak tanımlamaktadır. Literatürde, çoklu proje ortamı için genellikle kullanılan ortak yaklaşım kaynak paylaşım politikasıdır. Bu politika, ortak bir havuzdaki mevcut tüm kaynakların projeler tarafından paylaşılması ilkesine dayanmaktadır. Ancak projelerin uzak bölgelerde, farklı şehirlerde ve hatta farklı ülkelerde olması durumunda kaynak paylaşım politikası uygun bir politika değildir. Bu durumda, kaynakları paylaşmak zaman alıcı ve maliyetli olabilir. Örneğin, birçok inşaat projesi farklı ülke veya şehirlerde yürütülebilmektedir. Bu nedenle kaynak paylaşım politikası ile kaynakların projeler tarafından ortak bir havuzdan kullanımı olanaksızdır.

Bu nedenle, bu çalışmada her projeye, proje süreleri boyunca, kaynak tahsisi yapan kaynak tahsis politikası kullanılmıştır. Kaynaklar kısıtlı kapasiteye sahip olup yenilenebilir ve yenilenemez olmak üzere iki grup olarak dikkate alınmıştır. Aynı anda başlayabilecek faaliyetlerin birbirlerine göre üstünlükleri (öncelikleri) yoktur. Bu çalışmada, yukarıda belirtilen özelliklere sahip literatürde bulunan KKÇMÇPÇP için, daha gerçekçi bir yaklaşım olan, stokastik faaliyet süreleri tanımlanmıştır.

Ayrıca, dikkate alınan diğer bir gerçekçi yaklaşım da bir faaliyetin hem en erken hem de en geç bitiş zamanlarının stokastik olduğudur. Dolayısıyla faaliyet süreleri ve en erken, en geç bitiş zamanları normal dağılıma sahip rassal değişkenlerle tanımlanmıştır. Literatürde, stokastik faaliyet süresini dikkate alan az sayıda proje çizelgeleme problemleri bulunmaktadır. Ayrıca, özel bir proje çizelgeleme problemi olan KKÇMÇPÇP'lerinde stokastik yaklaşım kullanılarak çözüme ulaşan çalışma sayısı çok daha azdır. Bu çalışmanın yenilikçi bir yanı da stokastik faaliyet sürelerinin yanı sıra, faaliyetlerin en erken ve en geç bitiş zamanları da ilk kez bu çalışmada stokastik olarak dikkate alınmasıdır. Ayrıca, bu çalışmada KKÇMÇPÇP ilk kez Şans Kısıtlı Programlama (ŞKP) ile modellenip çözülmüştür. Makale aşağıda verilen şekilde organize edilmiştir.

Makalenin ikinci bölümünde ele alınan probleme ait literatür taraması verilmiştir. Problem tanımı, matematiksel formülasyonu ve çözüm yaklaşımı, üçüncü bölümde sunulmuştur. Matematiksel modelin çözümleri dördüncü bölümde rapor edilmiştir. Son olarak, beşinci bölümde sonuçlar verilmiş ve gelecekteki çalışmalar için bazı öneriler sunulmuştur.

## 2. Literatür Taraması

Bir projenin belirli hedef ve amaçlara ulaşarak tamamlanması için, faaliyetlerin hangi sırada yapılacağı ve ne zaman başlayacağı ile biteceğinin belirlenmesi, kaynakların planlanması, nasıl kullanılacağına tanımlanması, tedarik edilmesi ve yönetilmesi ile ilgili kararlar proje yönetimi kapsamında verilmesi gereken kararlardır. Dolayısıyla proje yönetimi içinde faaliyetlerin çizelgelenmesi problemi, özellikle kaynak kısıtlı çizelgeleme olarak karşımıza çıkmaktadır.

Proje çizelgeleme probleminin birçok uzantısı olup çeşitli araştırma alanlarında sınıflandırılmıştır. Dolayısıyla literatürde bu alanda yazılmış yüzlerce çalışma vardır. Bu çalışmada, kaynak tahsis politikasının ve stokastik faaliyet süresinin dikkate alındığı KKÇMÇPÇP ele alınmıştır. Bu nedenle de literatür taraması i) kaynak kısıtlı çoklu proje ortamında kaynak politikaları ii) çok modlu ortamda projelerin kaynak gereksinimlerinin belirlenmesi ve iii) proje planlamasında ŞKP modellemesi ile ilgili çalışmalarla sınırlı tutulmuştur.

Pritsker, Waiters ve Wolfe (1969), kaynak paylaşım politikasına sahip çoklu proje çizelgeleme problemi için faaliyet sürelerinin deterministik olduğu 0-1 doğrusal programlama modeli önermişlerdir. Çalışmalarında çıktının üretim zamanını, toplam proje tamamlanma zamanını ve toplam gecikme süresi/gecikme cezasını en küçüklemek üzere üç olası amaç fonksiyonu kullanmışlardır. Kurtuluş ve Narula (1985), kaynak paylaşım politikası ile deterministik bir ortamda çoklu proje çizelgeleme problemine ilişkin dört öncelik kuralını dikkate alarak altı ceza fonksiyonunun etkisini incelemişlerdir. Lawrence ve Morton (1993), amaç fonksiyonu ağırlıklı gecikme maliyetini en küçüklemek olan, kaynak kısıtlı çoklu proje ortamında çizelgeleme problemini, deterministik ortamda irdelemişlerdir. Zhu, Bard ve Yu (2006), amaç fonksiyonunun en küçük üretim süresi (minimum makespan) olduğu, çok modlu kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemini incelemişlerdir. Yüksek-düzeyle komşuluk arama stratejisine sahip bir dal sınır algoritması kesin bir çözüm yöntemi olarak sunulmuştur. Krüger ve Scholl (2009), deterministik ortamda çoklu proje çizelgeleme problemini sıra ve kaynak bağımlı transfer zamanı ve kaynak paylaşım politikasını dikkate alarak incelemişlerdir. Gonçaves, Mendes ve Resende (2008), deterministik bir ortamda kaynak paylaşımı politikasına sahip kaynak kısıtlı çoklu proje çizelgeleme problemi için Genetik Algoritma (GA) önermişlerdir. Beşikçi ve diğ. (2013), KKÇMÇPÇP'ni deterministik ortamda ele alarak kaynak tahsis politikası kullanmışlardır. Beşikçi, Bilge ve Ulusoy (2015), aynı problemi yine deterministik ortamda, kaynak tahsis politikası, toplam bütçe ve teslim tarihleriyle ele alarak iki-fazlı ve monolitik GA geliştirmişlerdir.

Diğer yandan, literatürde deterministik olmayan ortamda farklı proje çizelgeleme problemlerini çözmek için bazı yaklaşımlar önerilmiştir. Herroelen ve Leus (2015), belirsizlik altında örneğin reaktif çizelgeleme, stokastik proje çizelgeleme, bulanık proje çizelgeleme, dayanıklı (robust) çizelgeleme ve duyarlılık analizi gibi temel yaklaşımların kapsadığı bir derleme yayınlamışlardır. Bu yaklaşımlar tek projeli ve tek modlu ortamlar içindir. Golenko-Ginzburg ve Gonik (1998), kaynak kısıtlı tekli proje çizelgeleme için sezgisel bir yöntem önermektedir. Çalışmada, farklı kapasitelere sahip çeşitli kaynak türleri gerektiren stokastik faaliyetler içeren bir proje ele alınmıştır. Tsai ve Gemmil (1998), Tabu Arama algoritması geliştirmiş ve kaynak kısıtlı ve stokastik faaliyet süresi ile tek projeli çizelgeleme problemini çözmüşlerdir. Uzun zaman sonra, Stork (2000), stokastik işlem süresine sahip aynı problem için dal sınır algoritması önermiştir. Ashtiani, Leus ve Aryanezhad (2011), stokastik faaliyet süreleri ile sınırlı kaynak kısıtlı tek proje için çizelgeleme probleminde yeni bir çizelgeleme politikası önermiştir. Bu yeni çizelgeleme politikası sınıfında, bir ön çizelgeleme aşamasında bir dizi uygun sıralama kararları verilirken, kalan kararlar projenin yürütülmesi sırasında dinamik olarak alınır. Ke ve Liu (2005), stokastik faaliyet süresi ile tek proje için çizelgeleme problemini ele alarak toplam maliyeti en küçüklemek amacını sağlayan üç tür stokastik model önermişlerdir. Bu modelleri çözmek için stokastik simülasyon ve GA önermişlerdir.

Yang ve Chang (2005), tek proje için sınırlı ve belirsiz kaynak ve finansman temini altında inşaat projeleri için çizelgeleme problemini ele almışlardır. Problemi ŞKP olarak formüle etmiş ve deterministik eşitliği ile doğrusal programlama teknikleri ile çözümlenmişlerdir. Wang, Huang ve Ke (2015), belirsiz faaliyet süresi olan kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemini ele almış ve ŞKP olarak modellemişlerdir. Modeli çözmek için GA tabanlı algoritmalar geliştirmişlerdir. Uysal, İşleyen ve Çetinkaya (2018), kaynakların stokastik olduğu varsayımını kullanarak kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemini ele almışlardır. Çalışmalarında, şans kısıtlı, parçalı doğrusal, karma tamsayı programlama modeli için deterministik model geliştirerek çözmüşlerdir. Beşikçi ve diğ. (2013), belirsizliği dikkate almadan deterministik bir ortamda KKÇMÇPÇP için matematiksel model ve GA tabanlı çözüm önermişlerdir.

Yukarıda verilen literatür incelemesinden görüldüğü gibi, stokastik faaliyet süreleri veya belirsiz kaynak ve finansman koşulları altında, çoklu proje ortamında kaynak tahsisi politikası gibi farklı kaynak kullanım politikasını kabul eden, tek ve çok modlu yapılar dikkate alınmamıştır. Faaliyet zamanlarının çeşitli etkenlerle stokastik olduğu ve projelerin tamamlanmasında önemli rol oynadığı bilinmektedir. Dolayısıyla stokastik zamanlı KKÇMÇPÇP bu çalışmada ele alınarak, literatürdeki bu eksiklik giderilmeye çalışılmıştır.

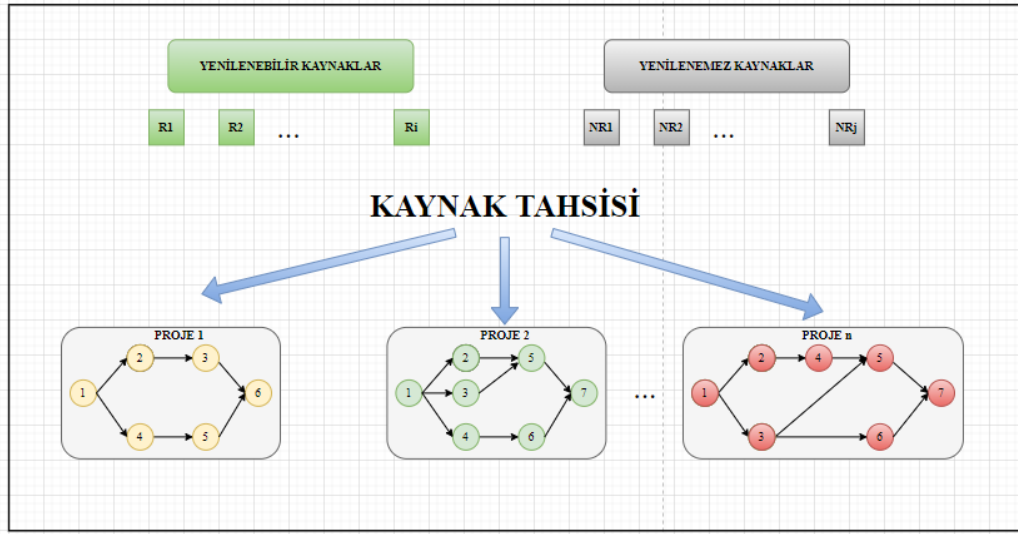
### 3. Stokastik KKÇMÇPÇP

#### 3.1 Problem Tanımı

Bu çalışmada ele alınan KKÇMÇPÇP sınırlı yenilenebilir ve yenilenemez kaynaklara sahiptir. Bu kaynaklar, projeler arasında paylaşılarak tahsis edilmektedir. Herhangi bir projede başlayan faaliyet kesintisiz devam eder. Başlangıçta tüm projelerin başlamaya hazır durumda olduğu varsayılmaktadır. Her projedeki her bir faaliyet, yürütme modu adı verilen farklı zaman-kaynak alternatifleri arasından yapılacak seçim ile yürütülebilir. Faaliyetler arasında öncüllük ilişkisi vardır. Öncüllerinin tümü tamamlanmadıkça hiçbir faaliyet başlatılamaz. Uygulamadaki

çoğu gerçek hayat problemlerinde, önemli belirsizlikler olsa da literatürde çalışmaların çoğu deterministik ortam koşullarında ele alınmaktadır.

Özellikle proje faaliyetleri gerçek yaşamda önemli ölçüde belirsizlikler içermektedir. Projenin yürütülmesi sırasında, hava koşulları, kaynak yetersizliği vb. gibi çeşitli etkiler nedeniyle proje faaliyet zamanları değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle bu çalışmada problemin gerçekçi bir yaklaşımla çözümü için faaliyet süreleri stokastik olarak ele alınmış ve normal dağılıma sahip rassal değişkenler olduğu varsayılmıştır. Bununla birlikte, gerçekçi diğer bir yaklaşımla, bir faaliyetin hem en erken hem de en geç bitiş zamanı da stokastik olarak ele alınmış ve normal dağılıma sahip olduğu varsayılmıştır. Yukarıda tanımlanan çoklu proje ortamının genel yapısı Şekil 1’de görülmektedir. Buna göre, yenilenebilir ve yenilenemez kaynaklar, çoklu proje ortamındaki her bir projeye tahsis edilerek projelerin kullanımına verilir. Tahsis edilen bu kaynaklar sadece ilgili projeye aittir ve tahsis işleminden sonra diğer projeler ile paylaşılamazlar. Bu çalışmanın amacı, projelerin toplam ağırlıklı gecikmelerini Bölüm 3.2 de verilen kısıtlar altında en küçüklemektir.



Şekil 1. Çoklu Proje Ortamının Genel Yapısı

### 3.2 Problemin Matematiksel Modeli

Bu çalışmada ele alınan problemin çözümü için ŞKP yaklaşımı önerilmiştir. ŞKP, ilk olarak Charnes ve Cooper (1959, 1962) tarafından geliştirilmiştir. ŞKP, stokastik programlama problemini deterministik programlama problemine dönüştürmek için kullanılan yaklaşımlardan biridir. Şans kısıtlı stokastik programlama problemi rasgele veriler içermektedir. Bu problemlerde, belirlenen olasılık limitlerine kadar kısıt bozulmalarına izin verilir. Kısıtlardaki bozulmaların genişliğini belirten olasılık ölçülerinin kümesiyle, doğrusal kısıtlar birleştiriliyorsa doğrusal programlama modeli şans kısıtlı olarak adlandırılır. Kısıtlardaki kısmi bozulmalara izin veren şans kısıtlı stokastik programlama problemi, yaklaşık güvenilirliği sağlayan bir yöntem olarak değerlendirilebilir. Bu yöntem genelleştirilmiş ve endüstriyel ve ekonomik problemleri de içeren pek çok alanda uygulanmıştır (Atalay ve Apaydın, 2011)

Bu problem stokastik kısıtlar altında, amaç fonksiyonunun en iyilenmesini amaçlamaktadır. Stokastik faaliyet süreli KKÇMÇPÇP’ye ilişkin tanımlar, açıklamalar ve ŞKP modeli izleyen kısımlarda verilmektedir.

#### Kümeler ve indisler

$V$	proje kümesi, $v \in V$
$J_v$	proje “ $v$ ” nin faaliyet kümesi, $j \in J_v$
$vN$	proje “ $v$ ” nin son faaliyeti
$P_v$	proje “ $v$ ” nin öncüllük ilişkileri kümesi
$M_{vj}$	proje “ $v$ ” nin “ $j$ ” inci faaliyetinin mod kümesi, $m \in M_{vj}$
$K$	yenilenebilir kaynaklar kümesi, $k \in K$
$I$	yenilenemez kaynaklar kümesi, $i \in I$
$T_v$	proje “ $v$ ” nin zaman dönemleri kümesi, $t \in T_v$

#### Parametreler

$E_{vj}$	proje "v" nin "j" inci faaliyetinin en erken bitiş zamanı (Rassal değişken-RD)
$L_{vj}$	proje "v" nin "j" inci faaliyetinin en geç bitiş zamanı (RD)
$r_{vjk m}$	proje "v" nin "m" modundaki "j" inci faaliyetinin yenilenebilir kaynak "k" kullanım miktarı
$w_{vji m}$	proje "v" nin "m" modundaki "j" inci faaliyetinin yenilenemez kaynak "i" kullanım miktarı
$dd_v$	proje "v" ye atanan bitiş tarihi
$R_k$	yenilenebilir kaynak "k" nın toplam kapasitesi
$W_i$	yenilenemez kaynak "i" nın toplam kapasitesi
$c_v$	proje "v" nin göreceli ağırlığı
$d_{vjm}$	proje "v" nin "m" modundaki "j" inci faaliyetinin süresi(RD)

### Karar Değişkenleri

$x_{vjmt} = \begin{cases} 1, & \text{proje "v" nin "m" modundaki "j" inci faaliyeti "t" döneminde tamamlanursa} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$	
$BR_{vk}$	proje "v" ye tahsis edilen yenilenebilir "k" tipinde kaynak miktarı
$BW_{vi}$	proje "v" ye tahsis edilen yenilenemez "u" tipinde kaynak miktarı
$TC_v$	proje "v" nin ağırlıklandırılmış gecikmesi

Faaliyet sürelerinin dağılımı genellikle normal dağılıma yakın dağılımlar gösterdiği için birçok araştırmada faaliyet süreleri normal dağılan rassal değişkenler olarak ele alınmıştır. Brucker, Drexl, Möhring, Neumann ve Pesch (1999), Chakraborty, Sarker ve Essam (2017), ile Yang ve Chang (2005) çalışmalarında tek proje için faaliyet sürelerinin normal dağıldığı varsayımını kullanmışlardır.

Stokastik faaliyet zamanı dikkate alınan çalışmamızda, faaliyet süresinin normal dağılıma sahip olduğu varsayılmıştır ( $d_{vjm} \sim Normal(E(d_{vjm}), Var(d_{vjm}))$ ).

Burada, ( $E_{vj}$ ) rassal değişkeninin,  $v$  projesinin  $j$  faaliyetinin bitiş süresine eşit veya bundan küçük olmasının olasılığının alt sınırı,  $(1 - \alpha_r)$ 'dir ve şans kısıtı Eş. (1) ile verilmiştir.

$$P \left[ E_{vj} \leq \sum_{m \in M_{vj}} \sum_{t \in T_v} tx_{vjmt} \right] \geq 1 - \alpha_r \quad (1)$$

öyle ki  $E_{vj} \sim Normal(E(E_{vj}), Var(E_{vj}))$  dir. Şans kısıtının deterministik eşitliği ise Eş.(2) ile tanımlanmıştır.

$$\frac{\sum_{m \in M_{vj}} \sum_{t \in T_v} tx_{vjmt} - E(E_{vj})}{\sqrt{Var(E_{vj})}} \geq K_{\alpha_r} \quad (2)$$

Eş. (2) düzenlenerek Eş.(3) elde edilir.

$$\sum_{m \in M_{vj}} \sum_{t \in T_v} tx_{vjmt} \geq E(E_{vj}) + K_{\alpha_r} \sqrt{Var(E_{vj})} \quad (3)$$

Ayrıca, ( $L_{vj}$ ) rassal değişkeninin,  $v$  projesinin  $j$  faaliyetinin bitiş süresine eşit veya bundan büyük olma olasılığı için üst sınır,  $\alpha_r$ 'dir ve şans kısıtı Eş. (4) ile tanımlanır.

$$P \left[ L_{vj} \geq \sum_{m \in M_{vj}} \sum_{t \in T_v} tx_{vjmt} \right] \geq \alpha_r \quad (4)$$

öyle ki  $L_{vj} \sim Normal(E(L_{vj}), Var(L_{vj}))$  dir. Şans kısıtının deterministik eşitliği Eş.(5) ile verilmiştir.

$$\frac{\sum_{m \in M_{vj}} \sum_{t \in T_v} tx_{vjmt} - E(L_{vj})}{\sqrt{Var(L_{vj})}} \leq K_{\alpha_r} \quad (5)$$

Eş. (5) düzenlenirse Eş. (6) elde edilir.

$$\sum_{m \in M_{vj}} \sum_{t \in T_v} tx_{vjmt} \geq E(L_{vj}) + K_{\alpha_r} \sqrt{Var(L_{vj})} \tag{6}$$

$d_{vjm}$  normal dağılıma sahip rassal değişken olmak üzere, her projedeki faaliyetler arasındaki öncüllük ilişkileri ile ilgili kısıt Eş.(7) ile verilmiştir.

$$\sum_{m \in M_{vb}} \sum_{t=E_{vb}}^{L_{vb}} (t - d_{vbm})x_{vbmt} \geq \sum_{m \in M_{va}} \sum_{t=E_{va}}^{L_{va}} tx_{vamt} \quad \forall (a, b) \in P_v, \quad \forall v \in V \tag{7}$$

Eş.(7) ile verilen kısıtın şans kısıtı Eş. (8) ile tanımlanmıştır.

$$P \left[ \sum_{m \in M_{vb}} \sum_{t=E_{vb}}^{L_{vb}} d_{vbm}x_{vbmt} \leq \sum_{m \in M_{vb}} \sum_{t=E_{vb}}^{L_{vb}} tx_{vbmt} - \sum_{m \in M_{va}} \sum_{t=E_{va}}^{L_{va}} tx_{vamt} \right] \geq 1 - \alpha_r \tag{8}$$

$\forall (a, b) \in P_v, \forall v \in V$

Burada  $P[.]$  olasılığı ifade etmektedir.  $(1 - \alpha_r)$  önceden belirlenmiş güven düzeyi olup, kısıtın olasılığının izin verilen en küçük değerini gösterir ve  $0 < \alpha_r < 1$  dir. Eş.(8)'de olasılığın içindeki eşitsizliğin sol tarafındaki rassal değişken  $c_{bv}$  ile ifade edilirse Eş. (9) elde edilir.

$$c_{bv} = \sum_{m \in M_{vb}} \sum_{t=E_{vb}}^{L_{vb}} d_{vbm}x_{vbmt} \quad b \in P_v \text{ and } \forall v \in V \tag{9}$$

$c_{bv}$  rassal değişkeni ortalaması

$$E(c_{bv}) = \sum_{m \in M_{vb}} \sum_{t=E_{vb}}^{L_{vb}} E(d_{vbm})x_{vbmt} \quad b \in P_v \text{ and } \forall v \in V \tag{10}$$

ve varyansı

$$Var(c_{bv}) = X^T V_{bv} X \quad b \in P_v \text{ and } \forall v \in V \tag{11}$$

olan normal dağılıma sahiptir. Burada  $X = (x_1, \dots, x_n)^T$  ve

$$V_{bv} = \begin{bmatrix} Var(d_{vb1}) & Cov(d_{vb1}, d_{vb2}) \dots Cov(d_{vb1}, d_{vbm}) \\ Cov(d_{vb2}, d_{vb1}) & Var(d_{vb2}) \dots Cov(d_{vb2}, d_{vbm}) \\ \vdots & \vdots \\ Cov(d_{vbm}, d_{vb1}) & Cov(d_{vbm}, d_{vb2}) \dots Var(d_{vbm}) \end{bmatrix}$$

kovaryans matrisidir. Bu durumda Eş. (8) Eş.(12) de görüldüğü şekilde yeniden yazılabilir.

$$P \left[ c_{bv} \leq \sum_{m \in M_{vb}} \sum_{t=E_{vb}}^{L_{vb}} tx_{vbmt} - \sum_{m \in M_{va}} \sum_{t=E_{va}}^{L_{va}} tx_{vamt} \right] \geq 1 - \alpha_r \quad \forall (a, b) \in P_v, \quad \forall v \in V \tag{12}$$

Burada  $c_{bv}$  normal dağılan rassal değişkeni standartlaştırılırsa

$$\frac{(c_{bv} - E(c_{bv}))}{\sqrt{Var(c_{bv})}} \sim Normal(0,1)$$



elde edilir ve dönüşüm sonucu Eş. (13) yazılabilir.

$$P \left[ c_{bv} \leq \sum_{m \in M_{vb}} \sum_{t=E_{vb}}^{L_{vb}} tx_{vbm} - \sum_{m \in M_{va}} \sum_{t=E_{va}}^{L_{va}} tx_{vam} \right] = F \left( \frac{\left( \sum_{m \in M_{vb}} \sum_{t=E_{vb}}^{L_{vb}} tx_{vbm} - \sum_{m \in M_{va}} \sum_{t=E_{va}}^{L_{va}} tx_{vam} \right) - E(c_{bv})}{\sqrt{Var(c_{bv})}} \right) \quad (13)$$

Burada F standart normal dağılım fonksiyonudur.  $K_{\alpha_r}$  standart normal rassal değişkenin değeri olmak üzere  $F(K_{\alpha_r}) = 1 - \alpha_r$  dir. Buna göre

$$F \left( \frac{\left( \sum_{m \in M_{vb}} \sum_{t=E_{vb}}^{L_{vb}} tx_{vbm} - \sum_{m \in M_{va}} \sum_{t=E_{va}}^{L_{va}} tx_{vam} \right) - E(c_{bv})}{\sqrt{Var(c_{bv})}} \right) \geq F(K_{\alpha_r}) \quad (14)$$

elde edilir. Buna göre Eş. (14) ancak ve ancak

$$\left( \sum_{m \in M_{vb}} \sum_{t=E_{vb}}^{L_{vb}} tx_{vbm} - \sum_{m \in M_{va}} \sum_{t=E_{va}}^{L_{va}} tx_{vam} \right) \geq E(c_{bv}) + (K_{\alpha_r} \sqrt{Var(c_{bv})}) \quad (15)$$

olduğu durumda sağlanır. Eş. (15)'de  $c_{bv}$  değeri yerine yazılarak Eş. (16) elde edilir.

$$\sum_{m \in M_{vb}} \sum_{t=E_{vb}}^{L_{vb}} tx_{vbm} - \sum_{m \in M_{va}} \sum_{t=E_{va}}^{L_{va}} tx_{vam} \geq \sum_{m \in M_{vb}} \sum_{t=E_{vb}}^{L_{vb}} E(d_{vbm})x_{vbm} + (K_{\alpha_r} \sqrt{X^T V_{bv} X}) \quad (16)$$

$d_{vbm}$  rassal değişkeni bağımsız olduğundan  $Cov(d_{vbi}, d_{vbj}) = 0$ 'dır. Bu durumda Eş.(16) Eş.(17)'ye dönüşür.

$$\sum_{m \in M_{vb}} \sum_{t=E_{vb}}^{L_{vb}} tx_{vbm} - \sum_{m \in M_{va}} \sum_{t=E_{va}}^{L_{va}} tx_{vam} \geq \sum_{m \in M_{vb}} \sum_{t=E_{vb}}^{L_{vb}} E(d_{vbm})x_{vbm} + \left( K_{\alpha_r} \sqrt{\sum_{m \in M_{vb}} \sum_{t=E_{vb}}^{L_{vb}} Var(d_{vbm})x_{vbm}^2} \right) \quad (17)$$

Böylece Eş. (8) ile verilen şans kısıtının deterministik eşitliği Eş.(17) ile ifade edilebilir.

$d_{vjm}$  normal dağılıma sahip rassal değişken olmak üzere, tüm projeler ve kaynak türleri üzerinde yenilenebilir kaynak kullanımıyla ilgili kısıtlar, tahsis edilmiş yenilenebilir kaynakların miktarından daha az veya ona eşit olmalıdır. Buna göre kısıt Eş.(18) ile ifade edilir.

$$\sum_{j \in J_v} \sum_{m \in M_{vj}} \sum_{q=\max\{t, E_{vj}\}}^{\min\{t+d_{vjm}-1, L_{vj}\}} r_{vjkm} x_{vjmq} \leq BR_{vk} \quad \forall k \in K, \forall t \in T, \forall v \in V \quad (18)$$

Eş.(18) ile verilen kısıtta toplamın üst sınırında bulunan  $d_{vjm}$  rassal değişkeni normal dağılıma sahiptir ve

$$z_{1-\alpha_r} = \frac{d_{vjm} - E(d_{vjm})}{\sigma_{d_{vjm}}} \sim Normal(0,1)$$

olarak standartlaştırılır. Burada  $z_{1-\alpha_r}$ ;  $1 - \alpha_r$  güven düzeyine ait standart normal rassal değişkenin değeri ve  $E(d_{vjm})$ ,  $\sigma_{d_{vjm}}$  sırasıyla  $d_{vjm}$  rassal değişkenin beklenen değeri ve standart sapmasıdır. Bu durumda Eş.(18), Eş. (19) olarak yeniden yazılabilir.

$$\sum_{j \in J_v} \sum_{m \in M_{vj}} \sum_{q=\max\{t, E_{vj}\}}^A r_{vjkm} x_{vjmq} \leq BR_{vk} \quad \forall k \in K, \forall t \in T, \forall v \in V \tag{19}$$

Burada  $A = \min \{t + \sigma_{d_{vjm}} z_{1-\alpha_r} + E(d_{vjm}) - 1, L_{vj}\}$  dır.

$E_{vj}$  ve  $L_{vj}$  normal dağılıma sahip rassal değişkenlerdir ve bu rassal değişkenleri zaman parametresi olarak alt ve üst limitlerde barındıran kısıtlar da yeniden düzenlenmelidir.  $E_{vj}$  kısıtlardan birinde toplam notasyonunun alt sınırı olarak bulunmaktadır. Bu rassal değişken standartlaştırılarak

$$z_{1-\alpha_r} = \frac{E_{vj} - E(E_{vj})}{\sigma_{E_{vj}}} \sim Normal(0,1)$$

elde edilir, burada  $E(E_{vj})$ ,  $\sigma_{E_{vj}}$  sırasıyla  $E_{vj}$  rassal değişkeninin beklenen değeri ve standart sapmasıdır. İlgili kısıtta bu rassal değişken yerine  $\sigma_{E_{vj}} z_{1-\alpha_r} + E(E_{vj})$  alınarak kısıt yeniden düzenlenir.

$L_{vj}$  kısıtlardan birinde toplamın üst sınırı olarak bulunmaktadır. Bu rassal değişken standartlaştırılarak

$$z_{1-\alpha_r} = \frac{L_{vj} - E(L_{vj})}{\sigma_{L_{vj}}} \sim Normal(0,1)$$

elde edilir; burada  $E(L_{vj})$ ,  $\sigma_{L_{vj}}$  sırasıyla  $L_{vj}$  rassal değişkeninin beklenen değeri ve standart sapmasıdır ve ilgili kısıtta bu rassal değişken yerine  $\sigma_{L_{vj}} z_{1-\alpha_r} + E(L_{vj})$  alınarak kısıt yeniden düzenlenir.

Stokastik durumda, rassal değişken içeren kısıtlarda, proje “ $v$ ” nin “ $m$ ” modundaki “ $j$ ” inci faaliyetinin süresi güncellenmelidir. Bu güncellemeler olasılıklarla ifade edilen şans kısıtlarının deterministik eşitliklerinin elde edilmesi ile yapılmıştır. Bu durumda (23), (24), (26) ve (27) numaralı kısıtlar ve amaç fonksiyonu rassal değişken içermediği için olduğu gibi bırakılmıştır. (21), (22), (25) numaralı kısıtlarda var olan toplam notasyonunun alt ve üst limitlerindeki rassal değişkenleri yukarıdaki açıklamalar doğrultusunda standartlaştırılarak yeniden düzenlenmiştir. (17) ve (19)’uncu kısıtlar şans kısıtlarından elde edilmiş deterministik kısıtları ifade etmektedir. Tüm bu açıklamalar doğrultusunda, stokastik KKÇMÇPÇP’ye ilişkin şans kısıtlı modelin deterministik matematiksel modeli aşağıdaki gibi oluşturulmuştur.

**Matematiksel model**

$$\min z = \sum_{v=1}^V TC_v \tag{20}$$

Kısıt (17) ve (19)

$$\sum_{m \in M_{vj}} \sum_{t=\sigma_{E_{vj}} z_{1-\alpha_r} + E(E_{vj})}^{\sigma_{L_{vj}} z_{1-\alpha_r} + E(L_{vj})} x_{vjmt} = 1 \quad \forall j \in J_v, \quad \forall v \in V \tag{21}$$

$$\sum_{j \in J_v} \sum_{m \in M_{vj}} \sum_{t=\sigma_{E_{vj}} z_{1-\alpha_r} + E(E_{vj})}^{\sigma_{L_{vj}} z_{1-\alpha_r} + E(L_{vj})} w_{vjim} x_{vjmt} \leq BW_{vi} \quad \forall i \in I \text{ and } \forall v \in V \tag{22}$$

$$\sum_{v \in V} BR_{vk} \leq R_k \quad \forall k \in K \tag{23}$$

$$\sum_{v \in V} BW_{vi} \leq W_i \quad \forall i \in I \quad (24)$$

$$TC_v \geq c_v \left( \sum_{t=\sigma_{E_{vN}} z_{1-\alpha_r} + E(E_{vN})}^{\sigma_{L_{vN}} z_{1-\alpha_r} + E(L_{vN})} \sum_{m \in M_{vN}} tx_{vNmt} - dd_v \right) \quad \forall v \in V \quad (25)$$

$$BR_{vk}, BW_{vi} \in Z^+ \quad \forall v \in V, \forall k \in K, \forall i \in I, Z^+: \text{Pozitif Tamsayı} \quad (26)$$

$$TC_v \geq 0, x_{vjmt} \in \{0, 1\} \quad \forall j \in J_v, \forall t \in T_v, \forall m \in M_{vj}, \forall v \in V \quad (27)$$

Amaç fonksiyonu (20), tüm projelerde toplam ağırlıklı gecikmeyi en küçükler. Kısıt kümesi (21), her projedeki tüm faaliyetlerin yalnızca bir kez planlanmasını garanti eder. Kısıt kümesi (17), her projedeki faaliyetler arasındaki öncüllük ilişkilerini ifade eder. Aralarında öncüllük ilişkisi bulunan 2 faaliyetten, öncül olanın tamamlanmadan ardıl olanın başlamayacağını garanti etmektedir. Kısıt kümesi (19), yenilenebilir kaynak kapasitesini, kısıt kümesi (22) yenilenemez kaynak kapasitesini kontrol etmektedir. Yenilenebilir ve yenilenemeyen kaynak kullanımı, her bir projeye tahsis edilen, toplam yenilenebilir ve yenilenemeyen kaynak miktarından fazla olamaz. Kısıt kümeleri (23) ve (24), sırasıyla tahsis edilmiş yenilenebilir ve yenilenemez kaynakların, verilen genel kaynak kapasitesinden daha büyük olamayacağını garanti eder. Kısıt kümesi (25), her proje için ağırlıklı gecikme değerlerini tanımlar. Kısıt kümeleri (26) ve (27),  $BR_{vk}, BW_{vi}, x_{vjmt}, TC_v$  için uygun aralık ve bütünlük sağlamaktadır.

Stokastik durumda, önerilen model, doğrusal olmayan karma tam sayılı bir modeldir. Bu model, tek projeye indirgenerek ve PSPLIB (<http://www.om-db.wi.tum.de/psplib/main.html>, Kolisch ve Sprecher, 1997)'de verilen en küçük faaliyet sayısına sahip test problemlerini çözmek için kullanılmış ve makul bir süre sınırında çözüm elde edilememiştir. Problem karmaşıklığı NP-zor grupta olduğundan ve model doğrusal olmadığından, kısıt kümesi (17) doğrusallaştırılarak anlamlı bir faaliyet boyutuna sahip problemler için makul bir süre içinde çözüm bulmak bu çalışmada hedeflenmiştir.

Eş. (28)'de verilen, bilinen matematiksel eşitsizlik, doğrusal dönüşüm için kullanılmıştır.

$$\begin{aligned} \sqrt{\sum_{i=1}^n a_i^2} &\leq \sum_{i=1}^n a_i, a_i \in R^+ \Rightarrow \sqrt{\sum_{m \in M_{vb}} \sum_{t=\sigma_{E_{vb}} z_{1-\alpha_r} + E(E_{vb})}^{\sigma_{L_{vb}} z_{1-\alpha_r} + E(L_{vb})} Var(d_{vbm}) x_{vbm}^2} \\ &\leq \sum_{m \in M_{vb}} \sum_{t=\sigma_{E_{vb}} z_{1-\alpha_r} + E(E_{vb})}^{\sigma_{L_{vb}} z_{1-\alpha_r} + E(L_{vb})} \sigma_{d_{vjm}} x_{vbm} \end{aligned} \quad (28)$$

Kısıt (17), Eş. (28)'de verilen dönüşüme göre düzenlenirse Eş. (29) elde edilir.

$$\begin{aligned} \sum_{m \in M_{vb}} \sum_{t=\sigma_{E_{vb}} z_{1-\alpha_r} + E(E_{vb})}^{\sigma_{L_{vb}} z_{1-\alpha_r} + E(L_{vb})} tx_{vbm} - \sum_{m \in M_{va}} \sum_{t=\sigma_{E_{va}} z_{1-\alpha_r} + E(E_{va})}^{\sigma_{L_{va}} z_{1-\alpha_r} + E(L_{va})} tx_{vam} &\geq \\ \sum_{m \in M_{vb}} \sum_{t=\sigma_{E_{vb}} z_{1-\alpha_r} + E(E_{vb})}^{\sigma_{L_{vb}} z_{1-\alpha_r} + E(L_{vb})} E(d_{vbm}) x_{vbm} + \left( K_{\alpha_r} \sum_{m \in M_{vb}} \sum_{t=\sigma_{E_{vb}} z_{1-\alpha_r} + E(E_{vb})}^{\sigma_{L_{vb}} z_{1-\alpha_r} + E(L_{vb})} \sigma_{d_{vjm}} x_{vbm} \right) &\end{aligned} \quad (29)$$

Böylece doğrusal olmayan matematiksel model, doğrusal bir modele dönüştürülmüş olur. Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

#### 4. Deneysel Çalışmalar

Bu bölümde, seçilen test problemlerinin, önerilen KKÇMÇPÇP'nin ŞKP modeli kullanılarak elde edilen çözüm sonuçları verilmiştir. Modelin, işlemci zamanı ve toplam ağırlıklı gecikme üzerindeki etkisini incelemek amacıyla tasarım parametreleri oluşturulmuştur. Bu tasarım parametreleri, farklı  $\sigma$  ve  $\alpha$  lardan oluşmaktadır. Stokastik KKÇMÇPÇP için literatürde mevcut bir test problem seti bulunmadığından, literatürdeki deterministik durum için kullanılan test problemleri dönüştürülerek stokastik faaliyet sürelerine sahip problem setleri elde edilmiştir. PSPLIB'nin j10 setinden altı adet tek proje problemi birleştirerek, çoklu projeli problem elde edilmiştir. Mevcut problemlerdeki deterministik faaliyet süreleri normal dağılımın ortalaması ve standart sapmanın ise ortalamanın 1/3'ü kadar olduğu varsayılmıştır. Böylece oluşturulan stokastik KKÇMÇPÇP setleri bu çalışmada sayısal analizler için kullanılmıştır. Oluşturulan test problemlerinin tipik bir örneği, Tablo 1 ve Tablo 2'de sırasıyla öncüllük ilişkileri ile süreler ve kaynak talepleri olarak verilmiştir. Bu kütüphanedeki her projede yer alan faaliyetler için tanımlı olan zaman-kaynak alternatiflerini gösteren 3 farklı mod stokastik problem setinde de kullanılmıştır.

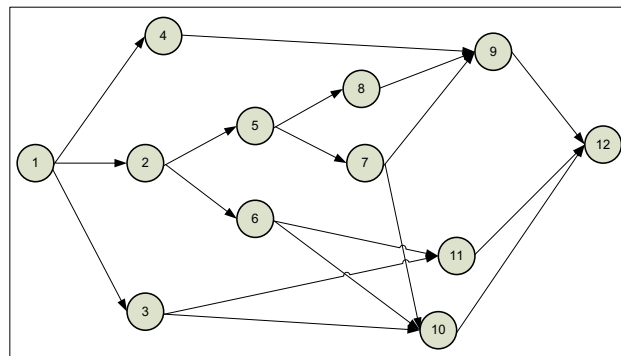
Ayrıca, faaliyet sürelerinin değişiminin problemin çözümü üzerindeki etkisini görmek için faaliyet süresine ait dağılımda,  $1\sigma$ ,  $3\sigma$  ve  $6\sigma$  olmak üzere 3 farklı standart sapma dikkate alınarak sonuçlar elde edilmiştir. Öte yandan, stokastik KKÇMÇPÇP'inde  $\alpha$  düzeylerinin üç farklı değeri (0.15, 0.1 ve 0.05) dikkate alınarak ŞKP modeli üzerindeki etkisi incelenmiştir. Burada ele alınan güven düzeyi, şans kısıtının sağlandığı en küçük olasılık değerini göstermektedir.

**Tablo 1.** Tipik bir öncelik ilişkileri örneği

Faaliyet No.	Mod Sayısı	Ardıl Sayısı	Ardılları
1	1	3	2 3 4
2	3	2	5 6
3	3	2	10 11
4	3	1	9
5	3	2	7 8
6	3	2	10 11
7	3	2	9 10
8	3	1	9
9	3	1	12
10	3	1	12
11	3	1	12
12	1	0	

**Kaynak:** PSPLIB (<http://www.om-db.wi.tum.de/psplib/main.html>, Kolisch ve Sprecher (1997))

Tablo 1'de faaliyet no 1 ve 12 kukla faaliyetler olup, sırasıyla projedeki kaynak ve bitiş faaliyetleridir. Ayrıca, bu tabloda faaliyetler arasındaki öncüllük ilişkisi, her bir faaliyetin ardıllarının listelenmesiyle temsil edilmektedir. Tablo 1'de sunulan verilere dayalı proje ağı Şekil 2'de görülmektedir.



**Şekil 2.** Örnek Projenin Temsili Ağı

Tablo 2, her modda çalışan faaliyetlerin süresini ve kaynak kullanımını listeler. Faaliyet 1 ve 12 kukla faaliyetler olduğu için sıfır süre ve sıfır kaynak tüketimi ile temsil edilmiştir. Örneğin 2 nolu faaliyet 1 nolu modda tanımlı kaynağı kullanırsa R1'den 6 birim ve N1'den 9 birim kullanarak bu faaliyeti ortalaması 3 birim ve standart sapması 1 olan normal dağılıma uygun bir sürede tamamlayabilecektir.

**Tablo 2.** Mod-süre-kaynak talebi gösteriminin tipik bir örneği

Faaliyet No	Mod	Süre Ort	Std.Sp	R 1	R 2	N 1	N 2
1	1	0	0	0	0	0	0
	1	3	1	6	0	9	0
2	2	9	3	5	0	0	8
	3	10	3.33	0	6	0	6
	1	1	0.33	0	4	0	8
3	2	1	0.33	7	0	0	8
	3	5	1.67	0	4	0	5
⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮	⋮
	1	6	2	0	2	0	10
11	2	9	3	0	1	0	9
	3	10	3.33	0	1	0	7
12	1	0	0	0	0	0	0

**Kaynak: PSPLIB - j102\_2 numaralı problem**

Bu çalışmada, stokastik KKÇMÇPÇP için önerilen ŞKP modeli karma tamsayı doğrusal matematiksel modele dönüştürülerek, GAMS 24.1'de kodlanmış ve Intel Core i5 üzerinde 1 saat süre sınırı altında 3.1 GHz kişisel bilgisayarda, CPLEX 12.5.0.1 çözücü kullanılarak çözülmüştür.

Bu çalışmada kullanılan stokastik özellikteki test problem seti, her problem için toplam 6 farklı projesi olan 20 test probleminden oluşturulmuştur. Projedeki faaliyet sayısı iki kukla değişken içermek üzere 12'dir. Herhangi bir projedeki her faaliyetin kullanacağı kaynaklar o projeye tahsis edilen kaynaklar arasından 3 farklı moddan seçilebilmektedir.

Test problemleri için belirlenen, 6 proje ve her proje için tanımlanan 12 faaliyet sayısı, 1 saatlik süre içerisinde, çözüm üretilebilen, en büyük proje ve PSBLIB deki faaliyet sayısı kombinasyonunu ifade etmektedir. PSBLIB de yer alan, görece olarak daha fazla faaliyet içeren (12'den çok) büyük ölçekli projeler kullanılarak oluşturulan, tek projeli problemlerde, verilen zaman kısıtında uygun çözüm elde edilememiştir. Ancak, proje sayısındaki değişimin, işlemci zamanı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla 3, 4 ve 5 projeli ve 12 faaliyetli problemler için, belirli standart sapma ve  $\alpha$  değerleri kullanılarak denemeler yapılmıştır. Bu deneme sonuçları, Tablo 3 de listelenmiştir.

Her bir problemdeki projelerin ağırlıklarını belirlemek için, projelerin teslim tarihleri dikkate alınmıştır. Buna göre, en geç teslim tarihine sahip olan proje, en düşük ağırlık değerine sahiptir. Teslim tarihleri sıralamasına göre, 3 projeli test problemi için, 1'den 3'e, 4 projeli test problemi için, 1'den 4'e ve 5 projeli test problemi için, 1'den 5'e kadar projeler ağırlıklandırılmıştır.

**Tablo 3.** Proje sayısının işlemci zamanına etkisi

Proje Sayısı	PSPLIB Proje No	$\alpha$	Standart Sapma						
			1 $\sigma$		3 $\sigma$		6 $\sigma$		
			Toplam Ağırlıklı Gecikme	İşlemci Zamanı (San.)	Toplam Ağırlıklı Gecikme	İşlemci Zamanı (San.)	Toplam Ağırlıklı Gecikme	İşlemci Zamanı (San.)	

3	$j_{102\_2}, j_{103\_3}, j_{103\_4}$	0,15	12	1474,12	18	1532,23	34	1484,27
		0,10	15	1572,45	23	1569,51	42	1601,03
		0,05	17	1429,20	25	1397,41	60	1522,34
4	$j_{104\_2}, j_{104\_3}, j_{104\_4}, j_{103\_5}$	0,15	22	1895,25	54	1792,11	88	1950,41
		0,10	30	1768,32	68	2061,52	112	1888,30
		0,05	35	1818,54	80	1872,45	134	1829,08
5	$j_{104\_5}, j_{105\_4}, j_{104\_8}, j_{104\_9}, j_{103\_6}$	0,15	20	2163,52	36	2068,49	64	2163,74
		0,10	26	1986,79	48	2163,45	92	2038,42
		0,05	29	2204,27	67	2052,41	128	2081,58

Tablo 3'te görüldüğü üzere, çoklu proje ortamında, proje sayısı arttıkça, ŞKP modelinin çözümü için kullanılan işlemci zamanı da artmaktadır. ŞKP modelinin çözümünde, proje kümesinin eleman sayısının artması, modelin çözüm süresini doğrudan etkilemektedir.

Çoklu proje ortamında, en geç teslim tarihine sahip olan proje en düşük ağırlık değerine sahip olacak şekilde, her bir problemdeki altı proje, teslim tarihleri sıralamasına göre 1'den 6'ya kadar ağırlıklandırılmıştır.

Stokastik KKÇMÇPÇP'nin ŞKP ile çözümüyle, her projeye tahsis edilen R1, R2, N1 ve N2 kaynak miktarları, her bir faaliyetin bitiş süresi vb. karar değişkenlerinin değerleri elde edilebilmektedir. Örneğin bu çalışma için oluşturulan 1. test problem seti içinden PSPLIB deki  $j_{102\_2}$  numaralı proje girdileri ile elde edilen sonuç aşağıdaki Tablo 4'te verilmektedir.

**Tablo 4.**  $j_{102\_2}$  projesi için karar değişkenleri değerleri

Proje	$x_{1213,2}$	$x_{1211,4}$	...	$x_{19223,2}$	$x_{110325,7}$	$BR_{1R1}$	$BR_{1R2}$	$BW_{1N1}$	$BW_{1N2}$	$TC_1$
$j_{102\_2}$	1	1	...	1	1	8	4	29	40	7,8

PSBLIB kütüphanesindeki  $j_{102\_2}, j_{103\_3}, j_{103\_4}, j_{103\_5}, j_{103\_6}, j_{103\_7}$  projeleri kullanılarak oluşturulan test problem setinin çözümü ile elde edilen sonuçlara göre,  $j_{102\_2}$  projesinin 2. faaliyeti, mod 1 tercihi ile beraber 3,2 zaman birimde tamamlanmaktadır. Yine aynı projenin 9. faaliyeti, mod 2 tercih edilerek 23,2 zaman birimde tamamlanmaktadır.  $j_{102\_2}$  projesine tahsis edilen yenilenebilir kaynak R1 sayısı, 8 iken R2 sayısı, 4'tür. Bununla birlikte,  $j_{102\_2}$  projesine tahsis edilen yenilenemez kaynak N1 sayısı 29 iken N2 sayısı 40'tır. Modelin çözümü sonucu, aynı proje için hesaplanan ağırlıklandırılmış gecikme değeri 7,8'dir.

Önerilen modelin sayısal analizi amacıyla faaliyet sürelerinin farklı  $\sigma$  düzeyleri ve farklı  $\alpha$  olasılık düzeyleri için elde edilen sonuçları Tablo 5'de verilmektedir. Tablo 5 incelendiğinde, problemlerin en küçük ve en büyük çözüm süresi arasındaki farkın yaklaşık 1000 saniye (16,66 dakika) olduğu görülmektedir.

Tablo 5'de faaliyet süresi standart sapması  $1\sigma$ 'dan  $6\sigma$ 'ya geçişirken aynı anda amaç fonksiyon değerinin arttığı yani beklendiği şekilde stokastik faaliyet sürelerinin değişiminin toplam ağırlıklı gecikmeyi arttırdığı görülmektedir. Standart sapmanın artması, faaliyet sürelerinin değişkenliğini artırarak, ortalamadan daha büyük farklılıkların oluşmasına neden olduğu için, projelerin tamamlanma sürelerini değiştirmiştir. Bu değişimde faaliyet sürelerinin artış gösterdiği gözlemlenmektedir. Bununla birlikte, toplam ağırlıklı gecikme etkilenmektedir. Örneğin 1. problem için,  $\alpha$  düzeyi 0.10 olduğunda, faaliyet sürelerinin standart sapması  $6\sigma$  için toplam ağırlıklı gecikme değeri en yüksek değerini (150birim) almaktadır.

Öte yandan,  $1\sigma$  ve  $3\sigma$  sapmaları için toplam ağırlıklı gecikme değerleri sırasıyla 36 ve 84 zaman birimidir. Bu nedenle, herhangi bir karar destek sistemi içinde bu modelin kullanılması ile, gecikmeyi azaltmak için faaliyet süresindeki değişkenliği azaltmanın etkisi, proje yöneticisi tarafından alternatif arayışlarla değerlendirilebilir. Birçok kontrol edilebilir ve kontrol edilemeyen faktörlerin, örneğin çalışan becerileri, kaynak miktarı, beklenmedik hava koşulları veya coğrafi koşullar gibi, ortaya çıkarılabileceği değişkenlikler, yönetimin dikkate alabileceği farklı durumlar için farklı stratejik kararlarla değerlendirilebilir ve böylelikle projeler yönetilebilir olacaktır.

Bu çalışmada ayrıca, aynı standart sapma değerlerinde öngörülen  $\alpha$  olasılık düzeyinin etkisi de incelenmiştir.  $\alpha$  değeri düştükçe amaç fonksiyon değerinin ( toplam gecikmenin) arttığı görülmektedir. Şans kısıtının sağlandığı

en küçük olasılık değerini gösteren  $1-\alpha$  değeri,  $\alpha$  değeri küçüldükçe büyümektedir. Bu durumda, ilgili şans kısıtının sağlanması daha katı hale gelmektedir. Bununla birlikte, kısıtın bozulmasına daha az izin verilmektedir ve projelerin tamamlanma süreleri buna bağlı olarak değişmektedir. Örneğin  $1\sigma$  seviyesinde,  $\alpha$  düzeyi 0.15'ten 0.05'e düşerken, 4. problemde toplam ağırlıklı gecikmelerin sırasıyla 29, 35 ve 42 zaman birimi olduğu görülmektedir.

Tablo 5. Standart sapma ve  $\alpha$  düzeylerinin etkisi

Problem No	PSPLIB Proje No	$\alpha$	Standart Sapma					
			$1\sigma$		$3\sigma$		$6\sigma$	
			Toplam Ağırlıklı Gecikme	İşlemci Zamanı (San.)	Toplam Ağırlıklı Gecikme	İşlemci Zamanı (San.)	Toplam Ağırlıklı Gecikme	İşlemci Zamanı (San.)
1	j102_2, j103_3, j103_4, j103_5, j103_6, j103_7	0,15	32	2694,87	69	2572,90	122	2864,99
		0,10	36	2921,07	84	2486,01	150	2929,75
		0,05	40	2715,30	95	2977,20	189	2313,85
2	j104_2, j104_3, j104_4, j103_5, j103_6, j103_7	0,15	31	2060,12	72	2030,25	127	2031,05
		0,10	40	2710,00	91	2679,13	167	2690,19
		0,05	44	2708,49	108	2712,37	192	2094,31
3	j104_5, j105_4, j104_8, j104_9, j103_6, j103_7	0,15	26	2698,68	54	2879,34	102	2275,81
		0,10	31	2797,67	70	2433,73	129	2737,79
		0,05	33	2634,66	83	2778,73	145	2608,41
4	j105_3, j104_3, j105_6, j103_5, j103_6, j103_7	0,15	29	2730,10	71	2406,22	128	2219,61
		0,10	35	2220,47	83	2427,09	163	2917,60
		0,05	42	2914,46	105	2542,75	214	2366,24
5	j102_2, j104_3, j105_6, j103_5, j103_6, j103_7	0,15	30	2397,43	64	2686,21	116	2259,17
		0,10	34	2849,15	75	2259,44	141	3011,26
		0,05	38	2985,47	95	2766,31	197	2896,88
6	j105_3, j107_2, j107_4, j107_6, j103_6, j103_7	0,15	34	2455,61	82	2297,51	154	2813,85
		0,10	40	2887,69	96	2362,12	184	2734,41
		0,05	47	2788,54	125	2281,83	244	2916,03
7	j107_2, j107_9, j107_4, j107_6, j108_7, j103_7	0,15	27	2322,24	72	2089,57	125	2253,82
		0,10	33	2412,97	84	2564,57	153	2164,26
		0,05	40	2558,32	107	2710,19	199	2942,73
8	j107_2, j107_9, j1010_2, j1010_5, j1010_6, j1010_10	0,15	30	2799,87	62	2376,14	114	2125,70
		0,10	34	2311,40	78	2752,34	141	2938,56
		0,05	39	2929,96	94	2147,66	173	2056,55
9	j102_2, j104_3, j1011_6, j1012_5, j103_6, j103_7	0,15	36	2939,38	81	2925,77	149	2462,87
		0,10	40	3001,50	96	2459,36	178	2022,56
		0,05	50	2363,70	116	2505,92	220	2705,50
10	j105_3, j107_2, j107_4, j107_6, j1012_6, j1012_9	0,15	30	2844,24	67	2660,90	122	2691,71
		0,10	35	2895,63	81	2904,96	152	2148,99
		0,05	41	2787,76	101	2378,69	187	2997,09
11	j1012_2, j107_9, j107_4, j1013_1, j108_7, j103_7	0,15	36	2827,82	74	2500,30	135	2906,92
		0,10	38	2511,15	92	2726,99	161	2544,95
		0,05	48	2499,18	108	2574,67	205	2086,81

12	<i>j</i> 107_2, <i>j</i> 107_9, <i>j</i> 1010_2, <i>j</i> 1010_5, <i>j</i> 1010_6, <i>j</i> 1010_10	0,15	31	2396,58	64	3013,95	111	2900,81
		0,10	34	2348,49	77	2139,08	136	2726,55
		0,05	39	2200,22	96	2206,43	169	2019,62
13	<i>j</i> 102_2, <i>j</i> 104_3, <i>j</i> 1011_6, <i>j</i> 1012_5, <i>j</i> 103_6, <i>j</i> 103_7	0,15	35	2220,04	79	2609,91	151	2468,93
		0,10	40	3018,39	95	2633,99	178	2468,26
		0,05	49	2356,77	112	2427,18	226	2826,27
14	<i>j</i> 105_3, <i>j</i> 107_2, <i>j</i> 107_4, <i>j</i> 107_6, <i>j</i> 1012_6, <i>j</i> 1012_9	0,15	33	2428,84	69	2881,34	120	2542,91
		0,10	37	2242,08	78	2341,81	149	2228,78
		0,05	43	2461,87	98	2293,41	184	2849,65
15	<i>j</i> 1012_2, <i>j</i> 107_9, <i>j</i> 107_4, <i>j</i> 1013_1, <i>j</i> 108_7, <i>j</i> 103_7	0,15	24	2476,44	56	2026,01	99	2911,58
		0,10	30	2601,23	68	2541,20	133	2063,23
		0,05	31	2154,31	82	2931,20	161	2801,10
16	<i>j</i> 1013_2, <i>j</i> 1013_3, <i>j</i> 1014_4, <i>j</i> 1014_5, <i>j</i> 1014_6, <i>j</i> 103_7	0,15	31	2879,43	75	2353,46	137	2206,04
		0,10	40	2492,18	87	2072,37	177	2362,56
		0,05	44	2631,62	111	2102,87	212	2297,69
17	<i>j</i> 1014_5, <i>j</i> 1014_4, <i>j</i> 1014_8, <i>j</i> 1014_9, <i>j</i> 103_6, <i>j</i> 103_7	0,15	25	2269,69	65	2680,09	117	2955,11
		0,10	34	2583,26	82	3006,77	154	2895,09
		0,05	36	2865,21	101	2217,11	183	2055,58
18	<i>j</i> 1035_3, <i>j</i> 1035_4, <i>j</i> 1035_6, <i>j</i> 1035_7, <i>j</i> 1035_8, <i>j</i> 103_7	0,15	30	2016,95	67	3003,78	131	2412,37
		0,10	36	2535,00	80	2397,66	152	2131,24
		0,05	39	2578,09	98	2967,35	203	2938,94
19	<i>j</i> 1035_2, <i>j</i> 1035_3, <i>j</i> 1035_6, <i>j</i> 1035_5, <i>j</i> 103_6, <i>j</i> 1036_1	0,15	25	2647,25	63	2112,92	104	2810,14
		0,10	32	2102,64	75	2406,36	132	2623,00
		0,05	31	2624,23	87	2105,06	166	2874,23
20	<i>j</i> 1036_3, <i>j</i> 1036_2, <i>j</i> 1036_4, <i>j</i> 1036_6, <i>j</i> 1036_7, <i>j</i> 1037_7	0,15	32	2706,61	81	3007,34	139	2796,21
		0,10	39	2883,13	92	2361,95	173	2511,58
		0,05	45	2846,06	113	2196,40	217	2236,79

Elde edilen bu sonuçlara göre, yüksek standart sapma ve düşük  $\alpha$  düzeylerinde toplam gecikmenin arttığı görülmektedir. Buradan hareketle problemin farklı  $\alpha$  değerleriyle çözümlenerek karar vericinin farklı durumları göz önünde bulundurması önerilmektedir.

## 5. Sonuç

Bu çalışmada KKÇMÇPÇP gerçekçi bir yaklaşımla, faaliyet sürelerinin stokastik olduğu durum için ele alınmıştır. Problem ŞKP modeli olarak formüle edilmiştir. Deneysel sonuçlar, bu çalışma için oluşturulan test problemlerinin çözümü ile elde edilmiştir. Test problemleri, her biri 12 faaliyetten oluşan 6 proje içermektedir. KKÇMÇPÇP, NP-zor bir problemdir. Bu nedenle, ŞKP modelinin çözebildiği, PSPLIB kütüphanesinde yer alan en yüksek faaliyet sayısına sahip projeler üzerinde test problemleri oluşturulmuş ve çözüm üretilmiştir. Bu problemlerde, faaliyet zamanları stokastik olarak ele alınmıştır.

Stokastik KKÇMÇPÇP'nin çözümü sonucunda, her projenin ayrı ayrı toplam ağırlıklı gecikmesi, her bir projeye ayrılmış yenilenebilir ve yenilenemez kaynak miktarları, her bir projeye ait faaliyetlerin hangi modda gerçekleştirileceği ve faaliyetlerin bitiş süreleri elde edilmektedir.

Önerilen modellerle ilgili sayısal analizler, tasarım parametreleri olan 3 farklı  $\alpha$  düzeyi (0.15, 0.1, 0.05) ve üç farklı standart sapma ( $1\sigma$ ,  $3\sigma$  ve  $6\sigma$ ) kullanılarak yapılmıştır. Böylece problemin çözümünde kullanılan tasarım



parametrelerinin, amaç fonksiyon değeri olan toplam ağırlıklı gecikme ve çözüm süresi üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Sayısal analiz sonuçlarına göre faaliyet sürelerinin standart sapması değiştikçe ağırlıklı gecikme süreleri de farklılaşmaktadır. Standart sapmanın artması, faaliyet sürelerinin değişkenliğini arttırarak, ortalamadan daha büyük farklılıkların oluşmasına sebep olduğu için, projenin önceden belirlenen teslim tarihinden sapmasını arttırmaktadır. ŞKP da rasgele değişken içeren tüm kısıtlar belirli bir olasılığa sahiptir. Kısıtın sağlanma olasılığının, izin verilen en küçük değerini belirleyen  $\alpha$  düzeyi küçüldükçe,  $(1-\alpha)$  güven düzeyinden dolayı, kısıtın sağlanması koşulu daha katı hale gelmektedir. Bu da faaliyetlerin tamamlanma süresini ve bağlı olarak projenin tamamlanma süresini etkilemektedir. Buna göre, faaliyet sürelerinin standart sapması arttıkça veya  $\alpha$  düzeyi azaldıkça ağırlıklı toplam gecikme değeri artmaktadır.

Çalışmada önerilen ŞKP modeli ile nispeten küçük boyutlu problemler çözülebildiği için bu araştırmanın devamında, büyük boyutlu KKÇMÇPÇP'leri makul bir sürede çözebilecek uygun bir meta sezgisel algoritmanın geliştirilmesi planlanmıştır.

### Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Serdar Soysal, literatür taraması, problemin ortaya konması, çözüm yönteminin önerilmesi, uygulanması ve makalenin oluşturulması konusunda, Berna Dengiz ve Kumru Didem Atalay is kavramsal çerçevenin oluşturulması, makalenin sunumu ve yazım kontrolünün yapıp düzenlenmesi konusunda katkıda bulunmuştur

### Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

### Kaynaklar

Ashtiani, B., Leus, R., & Aryanezhad, M-B. (2011). New competitive results for the stochastic resource-constrained project scheduling problem: Exploring the benefits of pre-processing. *Journal of Scheduling*, 14(2), 157-171. doi: <https://doi.org/10.1007/s10951-009-0143-7>

Atalay, K. D., ve Apaydın, A. (2011). Şans kısıtlı stokastik programlama problemlerinin deterministik eşitlikleri. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 1(1), 1-18.  
Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/35689>

Beşikçi, U., Bilge, Ü., & Ulusoy, G. (2013). Resource dedication problem in a multi-project environment. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 25, 206–229. doi: <https://doi.org/10.1007/s10696-012-9140-9>

Beşikçi, U., Bilge, Ü., & Ulusoy, G. (2015). Multi-mode resource constrained multi-project scheduling and resource portfolio problem. *European Journal of Operational Research*, 240, 22–31.  
doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.06.025>

Brucker, P., Drexl, A., Möhring, R., Neumann, K., & Pesch, E. (1999). Resource-constrained project scheduling: Notation, classification, models, and methods. *European Journal of Operational Research*, 112, 3–41.  
doi: [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(98\)00204-5](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00204-5)

Chakraborty, R. K., Sarker, R. A., & Essam, D. L. (2017). Resource constrained project scheduling with uncertain activity durations. *Computers and Industrial Engineering*, 112, 537-550.  
doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.12.040>

Charnes, A., & Cooper, W. W. (1959). Chance-constrained programming. *Management Science*, 6(1), 73–79.  
doi: <https://doi.org/10.1287/mnsc.6.1.73>

Charnes, A., & Cooper, W. W. (1962). Chance constraints and normal deviates. *The American Statistical Association Journal*, 57, 134–148. doi: <https://doi.org/10.2307/2282444>

- Golenko-Ginzburg, D., & Gonik, A. (1998). A heuristic for network project scheduling with random activity durations depending on the resource allocation. *International Journal on Production Economics*, 55, 149–162. doi: [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(98\)00044-9](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(98)00044-9)
- Gonçalves, J. F., Mendes, J. J. M., & Resende, M. G. C. (2008). A genetic algorithm for the resource constrained multi-project scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, 189, 1171–1190. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.06.074>
- Herroelen, W., & Leus, R. (2015). Project scheduling under uncertainty: Survey and research potentials. *European Journal of Operational Research*, 165, 289–306. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.04.002>
- Ke, H., & Liu, B. (2005). Project scheduling problem with stochastic activity duration times. *Applied Mathematics and Computation*, 168(1), 342–353. doi: <https://doi.org/10.1016/j.amc.2004.09.002>
- Kolisch, R., Sprecher, A., & Drexel, A. (1995). Characterization and generation of a general class of resource constrained project scheduling problems. *Management Science*, 41(10), 1693–1703. doi: <https://doi.org/10.1287/mnsc.41.10.1693>
- Kolisch, R., & Sprecher, A. (1997). PSPLIB—a project scheduling problem library. *European Journal of Operational Research*, 96, 205–216. doi: [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(96\)00170-1](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(96)00170-1)
- Krüger, D., & Scholl, A. (2009). A heuristic solution framework for the resource constrained (multi-) project scheduling problem with sequence-dependent transfer times. *European Journal of Operational Research*, 197, 492–508. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.07.036>
- Kurtulus, I. S., & Narula, S. C. (1985). Multi-project scheduling: analysis of project performance. *IIE Transactions*, 17(1), 58–66. doi: <https://doi.org/10.1080/07408178508975272>
- Lawrence, S. R., & Morton, T. E. (1993). Resource-constrained multi-project scheduling with tardy costs: Comparing myopic, bottleneck and resource pricing heuristics. *European Journal of Operational Research*, 64, 168–187. doi: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(93\)90175-M](https://doi.org/10.1016/0377-2217(93)90175-M)
- Lova, A., Maroto, C., & Tormos, P. (2000). A multicriteria heuristic method to improve resource allocation in multiproject scheduling. *European Journal of Operational Research*, 127, 408–424. doi: [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(99\)00490-7](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00490-7)
- Payne, J. H. (1995). Management of multiple simultaneous projects: a state-of-the-art review. *International Journal of Project Management*, 13, 163–168. doi: [https://doi.org/10.1016/0263-7863\(94\)00019-9](https://doi.org/10.1016/0263-7863(94)00019-9)
- Pritsker, A. A. B., Waiters, L. J., & Wolfe, P. M. (1969). Multiproject scheduling with limited resources: a zero one programming approach. *Management Science*, 16, 93–108. Erişim adresi: <https://www.jstor.org/stable/2628369>
- Stork, F. (2000). Branch-and-bound algorithms for stochastic resource-constrained project scheduling. Erişim adresi: [http://www.redaktion.tu-berlin.de/fileadmin/i26/download/AG\\_DiskAlg/FG\\_KombOptGraphAlg/preprints/2000/Report-702-2000.pdf](http://www.redaktion.tu-berlin.de/fileadmin/i26/download/AG_DiskAlg/FG_KombOptGraphAlg/preprints/2000/Report-702-2000.pdf)
- Tsai, Y. W., & Gemmil, D. D. (1998). Using tabu search to schedule activities of stochastic resource-constrained projects. *European Journal of Operational Research*, 111, 129–141. doi: [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(97\)00311-1](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(97)00311-1)
- Uysal, F., İşleyen, S. K., ve Çetinkaya, C. (2018). Resource constrained project scheduling with stochastic resources. *Journal of Applied Research on Industrial Engineering*, 5(1), 39–49. doi: <https://doi.org/10.22105/JARIE.2018.98906.1019>
- Wang, L., Huang, H., & Ke, H. (2015) Chance-constrained model for RCPSP with uncertain durations. *Journal of Uncertainty Analysis and Applications*, 3(12). doi: <https://doi.org/10.1186/s40467-015-0034-8>
- Yang, I-T., & Chang, C-Y. (2005). Stochastic resource-constrained scheduling for repetitive construction projects with uncertain supply of resources and funding. *International Journal of Project Management*, 23, 546–553.

doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2005.03.003>

Zhu, G., Bard, J. F., & Yu, G. (2006). A branch-and-cut procedure for the multimode resource-constrained project-scheduling problem. *Inform Journal on Computing*, 18(3), 377-390. doi: <https://doi.org/10.1287/ijoc.1040.0121>



# Journal of Turkish Operations Management

## Elektrik üretim santrallerinde iş güvenliği uzmanı seçiminde hibrit bir karar modeli

Emel Erol<sup>1</sup>, Evrencan Özcan<sup>2\*</sup>, Tamer Eren<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, Türkiye  
e-mail: emeel\_90@hotmail.com, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0001-6106-9720>

<sup>2</sup>Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, Türkiye  
e-mail: evrencan.ozcan@kku.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-3662-6190>

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

\*Sorumlu Yazar

### Makale Bilgisi

#### Makale Geçmişi:

Geliş: 20.01.2021  
Revize: 09.04.2021  
Kabul: 29.04.2021

#### Anahtar Kelimeler:

Bakım Yönetimi,  
İş Sağlığı ve Güvenliği,  
Personel Seçimi,  
Pisagor Bulanık AHP,  
TOPSIS

### Özet

Günümüzde özellikle elektrik üretim santralleri gibi sürekli üretim tesislerinde bakım prosesinin önemi giderek artmaktadır. Elektrik üretim santrallerinde yapılan bakım işlemleri süresince iş sağlığı ve güvenliği tedbirlerine uymak ise, işin gerekliliğinin yanı sıra yasal bir zorunluluktur. Bu bağlamda bu çalışmanın amacı, çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri kullanılarak bir elektrik üretim santralında bakım sürecine eşlik edecek uygun iş güvenliği uzmanını seçmektir. Bu kapsamda ilk olarak, literatürdeki çalışmalar ve uzman görüşleri ile belirlenen 8 kriter Pisagor Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (PBAHP) yöntemi ile ağırlıklandırılmıştır. Daha sonra 10 adet iş güvenliği uzmanı arasından amaca en uygun alternatif TOPSIS (The Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Çalışma kapsamında bulunan sonuçlar problemin gerekleri ve gerçek hayatta tutarlı olarak elde edilmiştir.

## A hybrid decision making model for the selection of occupational safety specialist in power plants

### Article Info

#### Article History:

Received: 20.01.2021  
Revised: 09.04.2021  
Accepted: 29.04.2021

#### Keywords:

Maintenance Management,  
Occupational Health and Safety,  
Personnel Selection,  
Pythagorean Fuzzy AHP,  
TOPSIS

### Abstract

Nowadays, the importance of the maintenance process is increasing, especially in continuous generation facilities such as power plants. Complying with occupational health and safety measures during maintenance operations in power plants is a legal obligation as well as the necessity of the work. In this context, the aim of this study is to select the appropriate occupational safety specialist to accompany the maintenance process in a power plant using multi-criteria decision making (MCDM) methods. In this context firstly, 8 criteria determined by the studies in the literature and expert opinions were weighted via Pythagoras Fuzzy Analytical Hierarchy Process (PBAHP) method. Then, the most suitable alternative according to the goal among 10 occupational safety experts was determined by TOPSIS (The Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) method. The results within the scope of the study were obtained consistent with the requirements of the problem and real life.

## 1. Giriş

Enerji hayatımızın her alanında karşımıza çıkan insanlığın temel unsurlarından birisidir. Dünyada ülkelerin refah düzeyi göstergelerinden birisi de kişi başına üretilen ve tüketilen enerji miktarıdır (İncekara, 2018). Elektrik üretim santrallerinde gerçekleşen üretimin insan yaşamını doğrudan etkilediği söylenebilir. Bu doğrultuda santral içerisinde gerçekleşecek her türlü gecikme işletme için maliyetlere sebebiyet vermesinin yanı sıra insan yaşamını da olumsuz olarak etkileyebilecektir. Bu durum elektrik üretim santrallerinin ülkemiz için önemli bir noktada yer aldığını göstermektedir.

Elektrik üretim santrallerinde üretimin devam ettirilmesi ve ihtiyaç duyulan bakım-onarım işlemlerinin yürütülmesi uzmanlık, takip, denetleme gerektiren ve emek yoğun faaliyetleri içeren kompleks yapıda bir süreçtir (Özcan, Varlı ve Eren, 2017a). Ayrıca santraller yıllar içinde işletmede yüksek basınç, yüksek sıcaklık, işletme ve bakım direktiflerine uymama, operatör hataları ve metal yorgunluğu gibi bir çok zorlayıcı koşullara maruz kalırlar (Özcan, Danışan ve Eren, 2019). Bu noktada üretimde sürdürülebilirliğin devam ettirilebilmesi için de bakım süreçleri daha kritik bir hal alır.

Bakım süreci üretimin, personelin ve malzemenin bir bütün olarak yönetilmesini temel alan oldukça önemli bir süreçtir (Özcan, Danışan ve Eren, 2020). Bu süreçte meydana gelen olumsuz bir durum işletmelerde beklenen veya beklenmeyen birçok sorunu da beraberinde getirmektedir. İşletmeler arasında rekabetin giderek çoğalması, bakım sürecinin iyi bir yönetim ile yönetilmesi gerektiği gerçeğini ortaya koymaktadır. Her sektör için önemli bir husus olan bakım yönetimi elektrik üretim santralleri için ayrıcalıklı olarak önem taşımaktadır.

Elektrik üretim santrallerinde gerçekleştirilen bakım-onarım faaliyetlerinin yüksek önem arz etmesi bu faaliyetlere kapsamlı ve dikkatli bir bakış açısıyla yaklaşmayı gerektirir. Bu faaliyetlerin gerçekleştirilmesi sırasında maliyet, zaman, verimlilik gibi hususların yanı sıra çalışanların sağlık ve güvenlik koşullarına da dikkat edilmelidir. Sektör gereğince çok tehlikeli sınıfta yer alan tesislerde yapılan işlemlerde bakım sürecine bir iş güvenliği uzmanının eşlik etmesi istenmektedir. Alınacak önlemlerin önceden bilinmesi, gerekenlerin yapılması ve takibinin sağlanması için uzmandan istenen şartları sağlanması beklenir. Bu noktada da iş güvenliği uzmanı seçimi oldukça önemli bir problem haline alır. Bakım sürecine eşlik edecek uzmanın seçim probleminin planlamaya dahil edilmesi ve dikkatle çözümlenmesi gerekir.

Bu çalışmada elektrik üretim santralinde bakım sürecine eşlik edecek olan uygun iş güvenliği uzmanının seçimi yapılmıştır. Çalışacak iş güvenliği uzmanının donanımı ne kadar istenen düzeyde ise işletme için o kadar faydalı olacaktır. Öncelikli olarak iş güvenliği uzmanından beklenen 8 adet kriter literatür taraması ve üç uzman eşliğinde belirlenmiştir. Belirlenen 8 kriter dilsel ve özne yargıları içermektedir. Bu sebeple kriterlerin ağırlıklandırılmasında diğer sezgisel setlere göre daha geniş bir aralığa sahip olan pisagor bulanık setlerden yararlanılmıştır. Pisagor Bulanık AHP yöntemi kullanılarak kriter ağırlıkları elde edilmiştir. Kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesinin ardından, elde edilen kriterler üç uzman (iki iş güvenliği uzmanı, bir elektrik üretim santralinde çalışan iş güvenliği sorumlusu) tarafından 10 adet alternatif iş güvenliği uzmanı için değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme ile karar matrisi elde edilmiştir. Alternatiflerin sıralanmasında çok kriterli karar verme yöntemlerinden birisi olan literatürde bu alanda kabul görmüş TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Yöntem sonucunda alternatiflerin sıralaması gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın akışı genel olarak şu şekilde ilerlemiştir. İkinci kısmında iş güvenliği uzmanının öneminden bahsedilmiş ve uzman seçimi sırasında dikkat edilmesi gerekenler ele alınmıştır. Üçüncü bölümde problemin çözümüne ulaşmak için kullanılan yöntemler açıklanmıştır. Ardından dördüncü bölümde personel seçimi ile ilgili olarak yapılan literatür çalışmaları incelenmiş ve çalışmaların bir özeti sunulmuştur. Beşinci bölümde ele alınan problem ile ilgili olarak gerçekleştirilen uygulama geniş olarak anlatılmıştır. Son olarak altıncı bölümde sonuç kısmına yer verilmiştir.

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde birçok sektörde personel seçimi yapıldığı gözlemlenmektedir. Bu çalışma ile elektrik üretim santrallerinde bakım sürecine eşlik edecek olan iş güvenliği uzmanı seçimi yapılarak literatüre katkıda bulunulmuştur. Bakım planlama sürecine geniş bir perspektiften bakarak çalışanların güvenli ve sağlıklı koşullarda çalışmasını sağlayabilmek göz ardı edilemeyecek unsurdur. Bu durum ise yapılan çalışmanın önemini ortaya koymaktadır.

## 2. İş güvenliği uzmanı seçimi

İş sağlığı ve güvenliği aslında uzun süredir var olan bir kavram ve uygulama olmasına rağmen önemi ancak son zamanlarda anlaşılmaya başlanmıştır. İş sağlığı ve güvenliği işyerindeki çalışanların sağlıklı ve güvenilir bir ortamda çalışmasını sağlayabilmek için işyerinde olabilecek iş kazası meslek hastalığı gibi risklere karşı gerekli önlemler almayı, gerekli kişisel koruyucu ekipmanları ya da makine ekipmanlarını bulundurmamayı, önleme ve

koruma işlemleri için gerekli olan tüm araç gereçleri sağlamayı öngören, temel olarak tüm bunlardan işvereni sorumlu tutarken çalışanların da kurallara uymasını isteyen bir kavramdır (Kilkış, 2010).

İşletmelerde iş sağlığı ve güvenliği işlerinin yürütülmesi için iş güvenliği uzmanına ihtiyaç duyulmaktadır. İş güvenliği uzmanı işyerinde iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili yürütülen süreçlere dahil olur. Çalışanların sağlıklı ve güvenli bir ortamda çalışabilmesi için yapılması gerekenleri, alınması gereken önlemleri, kullanılacak ekipmanları, çalışmalar sırasında dikkat edilecek hususları belirleyerek işverene danışmanlık eder. Ayrıca belirlenen önlemlerin uygulama aşamalarını da takip ederek uygunsuz bir durum olması halinde gerekli müdahaleleri yapar.

Ülkemizde işyerlerinde işyeri hekimi ve iş güvenliği uzmanı bulundurmak yasal bir zorunluluktur. Bu noktada işletmeler tehlike sınıflarına (az tehlikeli, tehlikeli, çok tehlikeli) göre uygun iş güvenliği uzmanı bulundurmaya zorundadır. Bu zorunluluğun yanı sıra işletmelerde çalışanlar için sağlıklı bir çalışma ortamı oluşturulmasında da iş güvenliği uzmanının rolü büyüktür. Bu yüzden iş güvenliği uzmanı seçimi yapılırken beklentiler doğrultusunda işletmeye uygun personel seçimi yapılmalıdır. Özellikle bakım faaliyetleri gibi çok tehlikeli sınıfta yer alan işlemler için planlamalar yapılırken uzman seçimi mutlaka dikkate alınmalıdır. Bakım sürecine eşlik edecek olan iş güvenliği uzmanının gerekli eğitim bilgisinin olması, saha hakimiyetinin olması, bakım yönetimi bilgisinin olması, problem çözme yeteneğine sahip olup krize sebebiyet vermeden olayları çözümlenmesi vb. birçok parametre göz önünde bulundurularak sürece uygun uzman seçimi yapılmalıdır.

### 3.Yöntemler

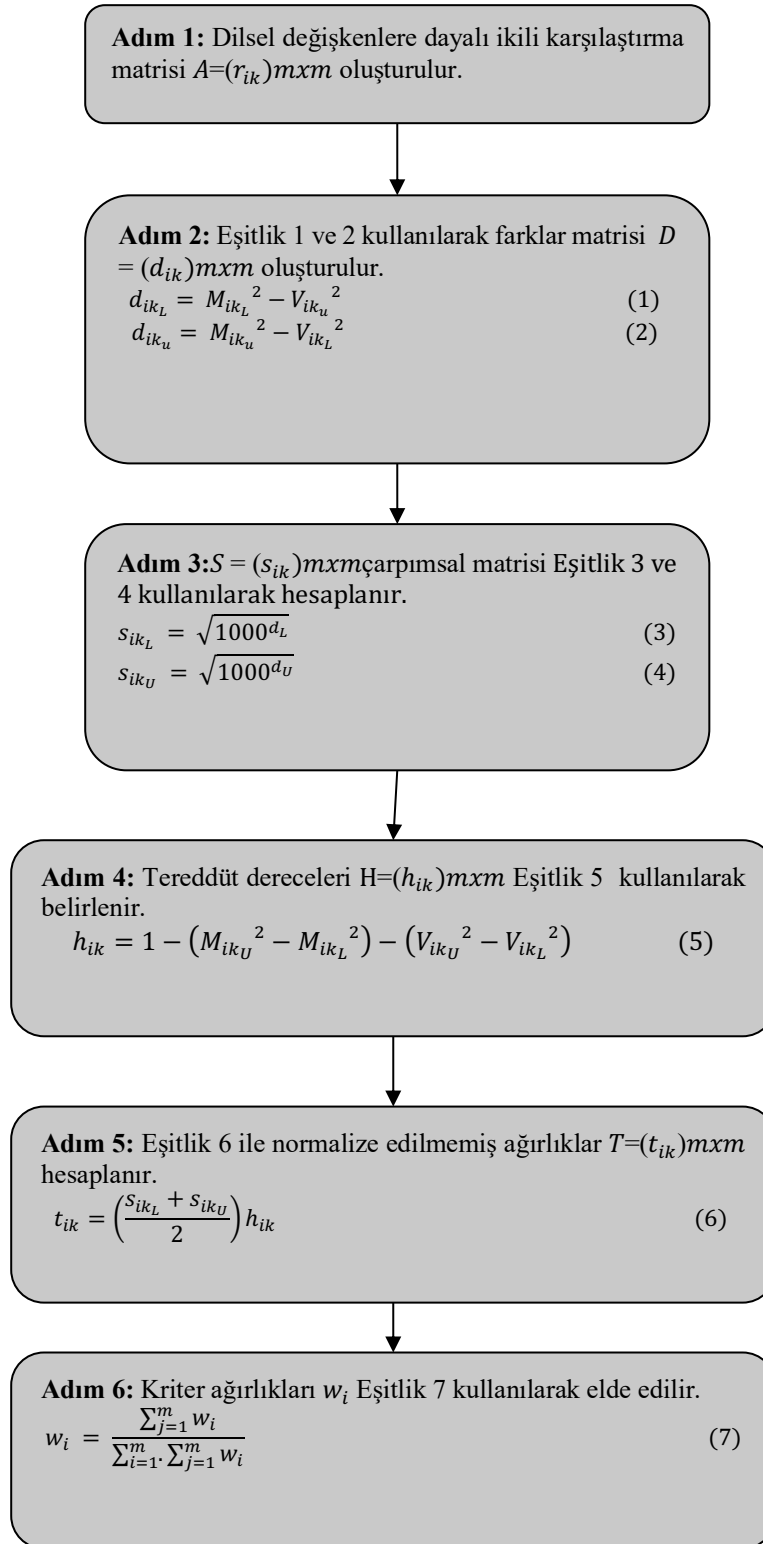
Çalışmada elektrik üretim santrallerinde bakım sürecine eşlik edecek olan iş güvenliği uzmanı seçimi için hibrit bir yaklaşım ele alınmıştır. Öncelikli olarak belirlenen 8 adet kriterin ağırlıklandırılmasında Pisagor Bulanık AHP yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemin kullanılmasının sebebi diğer sezgisel bulanık setlere göre daha geniş bir alanı ele almasıdır. Kriterlerin dilsel ifadelerden oluşması sebebiyle bu yöntem kullanılarak ağırlıklarının belirlenmesi uygun görülmüştür.

Kriter ağırlıklarının belirlenmesinin ardından 10 adet alternatifin sıralanması için çok kriterli karar verme yöntemlerinden birisi olan TOPSIS yöntemi seçilmiştir. TOPSIS yöntemi kullanımı basit, gerçek hayat problemlerinde rahatlıkla kullanılabilen ve gerçekçi sonuçlar üreten bir yöntemdir. Çalışmada ele alınan problem de bir gerçek hayat problemi olup gerçekçi sonuçlara ulaşmanın amaçlanması yöntemin seçiminde etkili olmuştur. Yöntemde alternatiflere sayısal değerler atanırken hem en iyi hem de en kötü alternatif dikkate alınır. İdeal çözüm faydaları büyüklerken maliyetleri en küçükleyen, negatif ideal çözüm ise tam tersi olarak maliyetleri en büyüklerken faydaları en küçükleyen çözümdür. Yöntemin temelinde ise en iyi alternatifin ideal çözüme en yakın, negatif ideal çözüme ise en uzak olması gerektiği yer alır. Alternatifler ideal çözüme göreli olarak yakınlık değerlerinin büyükten küçüğe sıralanmasıyla tercih sırasına ulaşılır (Özcan ve Eren, 2014).

Belirlenen yöntemlerin kullanılmasıyla gerçekleştirilen bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

#### 3.1. Pisagor bulanık AHP

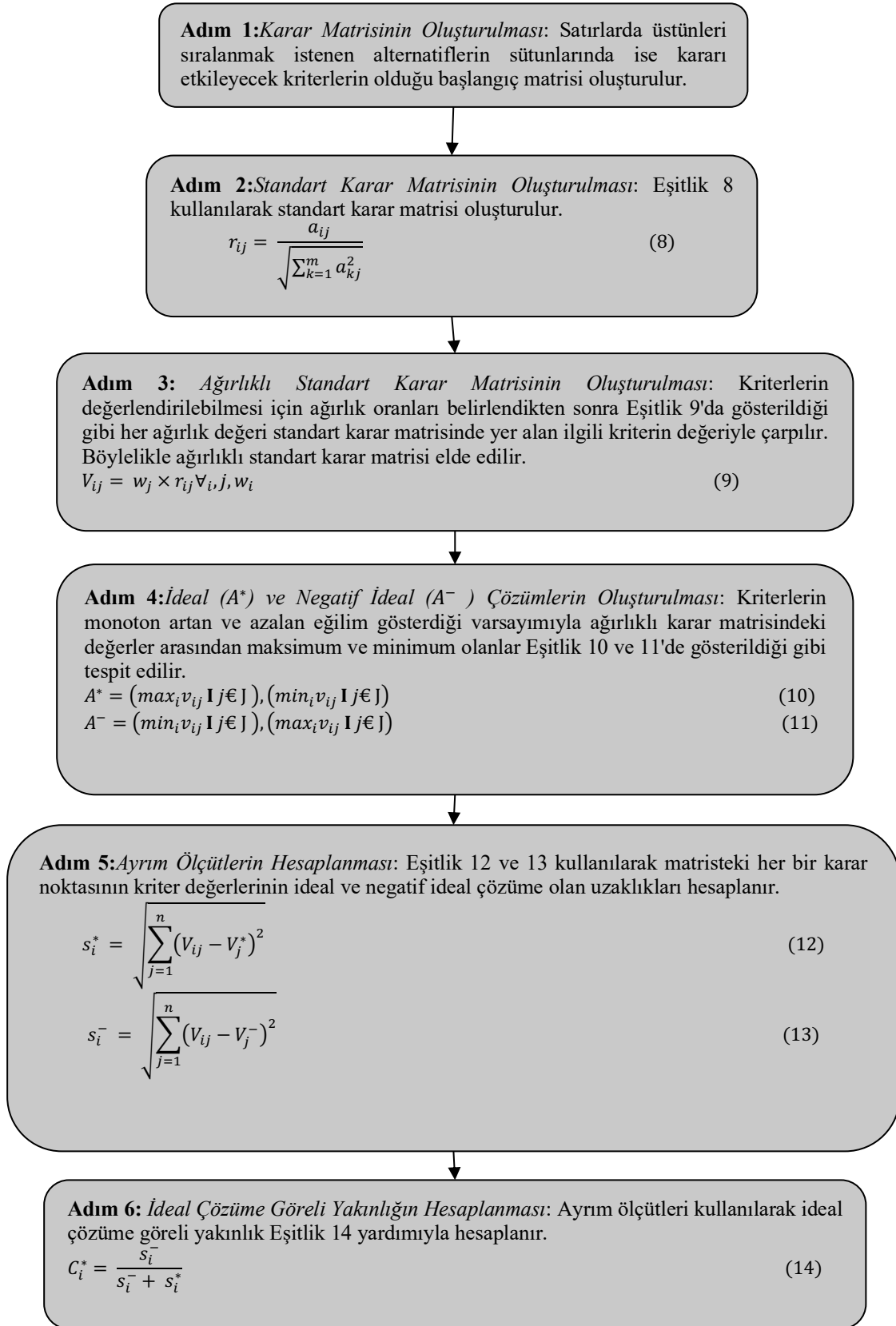
Analitik Hiyerarşi Süreci, çok kişili ve karmaşık çok kriterli problemlerin çözümünde ikili karşılaştırma esasına dayanan bir yöntemdir (Bedir ve Eren, 2015). Yöntem ile hem karar vericiler arasındaki tutarlılık sağlanır hem de basit ikili kıyaslamalar ile karar verme işini kolaylaştırır (Ecer, Kınay ve Nasiboğlu, 2018). Ancak AHP yöntemi kişilerin dilsel anlatımlarını, öznel düşüncelerini yansıtamamaktadır. Bu noktada bulanık mantık ile AHP birleştirilerek Bulanık AHP ortaya konulmuştur. AHP ile farklı olarak karşılaştırma oranlarında net değerler kullanmak yerine bir dizi değerler kullanılır (Liu ve Jin, 2012). Sezgisel bulanık kümelerin geliştirilmesiyle (Atanassov, 2016), ortaya çıkan birçok uzantıdan birisi de Yager, (2013) tarafından ortaya konulan Pisagor bulanık kümelerdir. Bu kümeler ile belirsizlikleri yüksek düzeyde bir güvenilirlikle netleştirmek amaçlanır (İlbahar, Karahan, Cebi ve Kahraman, 2018). Şekil 1'de Pisagor AHP aşamaları verilmiştir. Bu aşamalar yazılırken Yıldız (2019) ve Bakioğlu ve Atahan (2020) çalışmalarından yararlanılmıştır.



Şekil 1. Pisagor bulanık AHP aşamaları (Yıldız, Ayyıldız, Gümüş ve Özkan, 2019; Bakioglu ve Atahan, 2020)

### 3.2. TOPSIS yöntemi

TOPSIS yöntemi çok kriterli karar verme yöntemlerinden birisi olup Hwang ve Yoon tarafından 1981 yılında geliştirilmiştir. Problemin çözümü pozitif ideal çözüme ve negatif ideal çözüme göre alternatiflerin sıralamasıyla gerçekleştirilir (Özcan, Ünlüsoy ve Eren, 2017b). Yöntemin aşamaları Şekil 2'de verilmiştir. Aşamalar anlatılırken Özcan ve diğ., (2017b) ve Özcan, Ünlüsoy ve Eren, (2017c) çalışmalarından yararlanılmıştır.



Şekil 2. TOPSIS aşamaları (Özcan ve diğ., 2017b; Özcan ve diğ., 2017c)

$C_i^*$  değeri 0-1 aralığında bir değer alır. Değerin 1 olması ideal çözüme, 0 olması ise negatif ideal çözüme mutlak yakınlığı göstermektedir (Özcan ve diğ., 2017b).



#### 4. Literatür çalışması

Literatür çalışmaları incelendiğinde personel seçimi ile ilgili oldukça fazla çalışma olduğu gözlemlenmektedir. Hemen hemen her sektörde farklı yöntemler kullanılarak personel seçimi problemleri ele alınmıştır. Yapılan çalışmaların özeti Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Literatür özeti

Yazar	Personel Seçimi Gerçekleştirilen Sektörler	Personel Seçimi Gerçekleştirilen Pozisyonlar	Yöntemler	Yılı
Lin	Elektrik ve Makine	Elektrik Mühendisi	ANP-Bulanık Veri Zarflama	2010
Bedir ve Eren	Perakende Sektörü	Satış Danışmanı	AHP-Promethee	2015
Chang	Turizm	Halkla İlişkiler Personeli	Bulanık DELPHİ-ANP-TOPSIS	2015
Özbek ve Erol	Tekstil	Üretim Personeli	AHP-VIKOR	2016
Akar ve Çakır	Lojistik	Lojistik Operasyon Elemanı	Bulanık AHP-MOORA	2016
Koutra, Barbounaki, Kardaras ve Stadilis	Denizcilik	Yönetici	AHP	2017
Öztürk ve Toptancı	Kamu ve Özel Sektörler	İş Güvenliği Uzmanı	AHP-COPRAS-BOCR	2017
Uğur	İnşaat	Proje Müdürü	MOORA	2017
Heidary, Beheshti, Vanaki ve Firoozfar	Bilgi Teknolojisi	Bilgi Teknolojisi Uzmanı	SWARA-ARAS-G	2017
Toptancı, Karamaşa, Aytekin ve Orakçı	Maden	İş Güvenliği Uzmanı	Nötrosofik AHP-Nötrosofik TOPSIS	2018
Akça, Sönmez, Gür, Yılmaz ve Eren	Kamu Hastaneleri	Finans Yöneticisi	AAS	2018
Ulutaş, Özkan ve Tağraf	Elektrik Aksam Üretimi	Üretim Planlama Yöneticisi	Bulanık AHP-Bulanık GİA	2018
Stanujkic, Popovic, ve Brzakovic	Bilgi Teknolojisi	İş Sistemleri Uzmanı	SWARA-EDAS	2018
Karataş	Yazılım	Yazılım Personeli	Aralık Değerli Nötrosofik AHP-Aralık Değerli Nötrosofik TOPSIS	2019
Ulutaş	Mobilya	Pazarlama Yöneticisi	Entropi-MABAC	2019
Luo ve Xing	Bilgi Teknolojisi	Uzman	BWM-MABAC-PROMETHEE	2019
Arslan	Demir Çelik	Yönetici	SMART-TOPSIS	2019
Efe	Genel	İş Güvenliği Uzmanı	Bulanık AHP-Bulanık TOPSIS	2019
Kuşakçı, Ayvaz, Öztürk ve Sofu	Havacılık	Uzman Personel	Bulanık MULTIMOORA-AHP-TOPSIS	2019

Tablo 1'de verilen çalışmalar personel seçimi üzerine yapılan çalışmaların özet olarak bir kısmını oluşturmaktadır. Personel seçim problemi görüldüğü üzere turizm, bilgi teknolojisi, havacılık, denizcilik, yazılım, demir çelik,

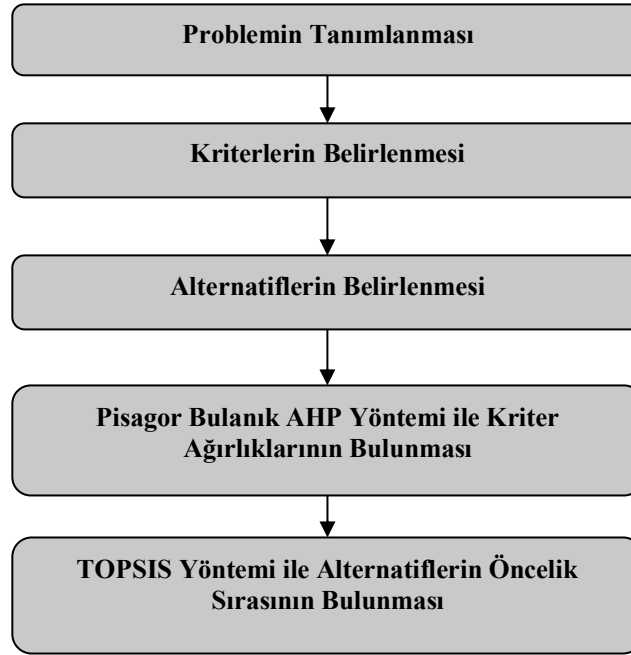
elektrik, hastane, mobilya, maden, inşaat, lojistik, tekstil, perakende vb. birçok sektörde ele alınmış bir problemdir. Lin (2010), elektrik mühendisi seçimi için ANP ve bulanık veri zarflama yönteminden yararlanmışır. Bedir ve Eren (2015), AHP ve PROMETHEE yöntemi ile perakende sektöründe bulunan bir firma için satış danışmanı seçimi yapmıştır. Chang (2015), halkla ilişkiler personelinin seçiminde bulanık DELPHİ-ANP-TOPSIS yöntemini kullanmıştır. Akar ve Çakır (2016), gerçekleştirdiği çalışmada Bulanık AHP ve MOORA yöntemini kullanarak lojistik sektöründe faaliyet gösteren bir firmaya uygun lojistik operasyon elemanı seçimi yapmışlardır. Tekstil sektöründe üretim personeli seçiminde Özbek ve Erol (2016), AHP-VIKOR yöntemlerinden yararlanmışır. Uğur (2017), inşaat sektöründe hizmet bir işyeri için proje müdürü seçiminde MOORA yöntemini kullanmıştır. Bilgi teknolojisi sektöründe Heidary et al. (2017), SWARA ve ARAS-G yöntemiyle bilgi teknolojisi uzmanı, Luo ve Xing (2019), BWM-MABAC-PROMETHEE yöntemini kullanarak genel uzman ve Stanujkic et al. (2018), SWARA ve EDAS yöntemi ile iş sistemleri uzmanı seçimini gerçekleştirmişlerdir. Koutra et al. (2017) AHP yöntemi ile yönetici belirlerken, Akça ve diğ. (2018), finans yöneticisi seçiminde AAS, Ulutaş ve diğ. (2018), üretim planlama yöneticisi seçiminde Bulanık AHP-Bulanık GİA, Arslan (2019), yönetici seçiminde SMART-TOPSIS, Ulutaş (2019), pazarlama yöneticisi seçiminde Entropi-MABAC yöntemlerini tercih etmiştir. Karataş (2019), yazılım sektöründeki bir işletme için Aralık Değerli Nötrosifik AHP-Aralık Değerli Nötrosifik TOPSIS yöntemleri aracılığı ile uygun yazılım personelinin seçmiştir. Kuşakçı ve diğ. (2019), Bulanık MULTIMOORA-AHP-TOPSIS yöntemleriyle havacılık sektöründe yer alan bir işyeri için uzman personel seçimi yapmıştır. Ayrıca diğer sektörlerle kıyasla fazla bir geçmişi olmayan iş güvenliği uzmanı seçimi konusunda yapılan az sayıda çalışmaların bazıları ise şöyledir. Toptancı ve diğ. (2018), maden sektörü için en uygun iş güvenliği uzmanının seçiminde Nötrosifik AHP ve Nötrosifik TOPSIS yöntemlerini bütünleşik olarak kullanmışlardır. Efe (2019), çalışmasında bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS yaklaşımlarını kullanan hibrit model ile uygun iş güvenliği uzmanı seçimini gerçekleştirirken, Öztürk ve Toptancı (2017), AHP-COPRAS-BOCR yöntemleriyle kamu ve özel sektörler için iş güvenliği uzmanı seçimi yapmıştır.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde personel seçiminde bulanık setler kullanılsa da Pisagor bulanık AHP yönteminin kullanılmadığı görülmektedir. Bu çalışmada kriter ağırlıklarının belirlenmesi için Pisagor Bulanık AHP yöntemi ilk kez kullanılmıştır. Diğer sezgisel bulanık setlere göre pisagor setler daha geniş bir alanı kapsamaktadır. Ve böylece dilsel ifadeler kullanılsa da gerçek hayatla tutarlı sonuçlar elde edilmektedir.

Çalışmanın literatürde yer alan diğer çalışmalardan diğer bir farklılığı ise sektör konusunda olmuştur. Elektrik üretim santrallerinin bakımı birçok çalışma yapılmıştır. Ancak çalışmalar arasında bakım sürecinde oldukça önemli bir yeri olan çalışanların sağlıklı ve güvenli koşullarda çalışmasını yapmasını sağlayan iş güvenliği uzmanı seçimi problemi ele alınmamıştır. Bakım faaliyetleri elektrik üretim santrallerinde uzun ve kapsamlı bir süreçten oluşur. Bu süreçte çalışanlar birçok güvenlik problemiyle karşılaşabilmektedir. Bu problemlerin önceden fark edilmesi ve gerekli önlemlerin alınması zaman, maliyet, verimlilik gibi konulardan avantaj sağlarken çalışanların sağlıklı ve güvenilir bir ortamda çalışmalarına olanak sağlar. Bu doğrultuda yapılan çalışmada bir elektrik üretim santralinde bakım sürecine eşlik edecek en uygun iş güvenliği uzmanı seçimi problemi ilk kez ele alınmıştır.

## 5. Uygulama

Bu çalışmada Kırıkkale'de bulunan elektrik üretim santralinde gerçekleştirilecek olan bakım sürecine eşlik edecek uygun iş güvenliği uzmanı seçimi yapılmıştır. Bakım faaliyetleri süreci boyunca çalışanların sağlıklı ve güvenli bir ortamda çalışması için gerekli ortam sağlanmak istenmiştir. Bu amacın gerçekleştirilebilmesi için sürece uygun bir iş güvenliği uzmanı atanmak üzere oluşturulan problemin çözümü ele alınmıştır. Alternatiflerin değerlendirileceği 8 adet kriter Toptancı ve diğ., (2018) çalışmasının yanı sıra 3 uzman eşliğinde belirlenmiştir. Belirlenen kriterler Pisagor Bulanık AHP yöntemi kullanarak ağırlıklandırılmıştır. Kriterlerin ağırlıklandırılmasının ardından üç uzmanın 1-10'luk (10 çok uygun, 1 Hiç uygun değil diğer değerler ara değerler olacak şekilde) skalayı kullanmasıyla 10 adet alternatif değerlendirilerek karar matrisine ulaşılmıştır. Daha TOPSIS yöntemi kullanılarak sıralama işlemi gerçekleştirilmiş ve uygun alternatif belirlenmiştir. Şekil 3'te uygulama aşamaları verilmiştir.



Şekil 3. Uygulama akış şeması

### 5.1. Problemin tanımlanması

Kırıkkale'de faaliyet gösteren bir elektrik üretim santrali içerisinde genel bir bakım yapılması kararı alınmıştır. Bakım onarım faaliyetlerinin çok tehlikeli sınıfta yer alması sebebiyle bu işlemler yapılırken A ve ya B sınıfı iş güvenliği uzmanlığı sertifikası olan bir uzmanın çalışma zorunluluğu bulunmaktadır. Bu yüzden sürece eşlik edecek olan uygun iş güvenliği uzmanının seçilmesi problemi ele alınmıştır.

### 5.2. Kriterlerin belirlenmesi

Literatür araştırması ve uzmanlar eşliğinde iş güvenliği uzmanı seçimi için belirlenen kriterler ve açıklaması Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 2.** İş güvenliği uzmanı seçim kriterleri

<i>Mesleki Bilgi-Teorik (MBT)</i>	Mesleki bilginin teorik kısmı personellerin iş sağlığı ve güvenliği açısından aldıkları eğitimi içermektedir. Kişilerin iş güvenliği uzmanı olabilmesi için iş sağlığı ve güvenliği programı mezunu, mühendislik-mimarlık fakültesi mezunu, fen edebiyat fakültelerinin fizik,kimya,biyoloji bölümü mezunu veya teknik öğretmen olmaları gerekmektedir.
<i>Mesleki Bilgi-Pratik (MBP)</i>	Mesleki bilginin diğer bölümünde ise pratik kısım yani personel deneyimleri yer almaktadır. Kişi iş sağlığı ve güvenliği sektöründe ne kadar deneyime sahipse işletme için o kadar faydalı olur.

<i>Uzmanlık Sertifikası (US)</i>	İş güvenliği sertifikaları tehlike sınıflarına göre sırasıyla C Sınıfı, B Sınıfı ve A Sınıfı olmak üzere 3 grupta sınıflandırılır. C sınıfı iş güvenliği uzmanı az tehlikeli iş yerlerine, B sınıfı iş güvenliği uzmanı tehlikeli iş yerlerine, A sınıfı iş güvenliği uzmanı çok tehlikeli iş yerlerine bakmaktadır. Ancak sahada yeterli sayıda uzman bulunmaması sebebi ile yasal bir düzenleme yapılarak C sınıfı uzmanların az tehlikeli ve tehlikeli iş yerlerine, A ve B sınıfı uzmanların az tehlikeli, tehlikeli, çok tehlikeli sınıfta yer alan iş yerlerine bakabilmelerine olanak sağlanmıştır. Elektrik üretim santrallerinde bakım işleri yapı olarak çok tehlikeli sınıfta yer alması sebebiyle burada görev yapacak iş güvenliği uzmanının A ya da B sınıfı iş güvenliği uzmanı olması yasal zorunluluktur. İkisi de uygun olmasına rağmen çok tehlikeli işyerlerinde genel olarak A sınıfı uzmanlar B sınıfı uzmanlara göre daha çok tercih edilir.
<i>Yoğun Çalışma Saatlerine Uygunluk (YÇSU)</i>	Bakım faaliyetleri bazı dönemlerde beklenmeyen problemlerle karşılaşılması sebebi ile yoğun çalışmalara ve mesai çalışmalarına sebep olmaktadır. Sürece eşlik edecek olan uzmanın bu durumlara uygun olması beklenir.
<i>Önleme, Koruma Tedbirleri Bilgisi (ÖKTB)</i>	Elektrik üretim santrallerinde gerçekleştirilen bakım faaliyetleri sırasında bir saniyelik kayıp bile oldukça büyük önem taşımaktadır. Bu doğrultuda bakım sürecine eşlik edecek olan iş güvenliği uzmanının faaliyetler gerçekleştirilirken alınması gereken önlemlerin, verilecek iş sağlığı ve güvenliği eğitimlerinin, kullanılacak kişisel koruyucu donanımların ve kullanılacak ekipmanların önceden sürece hazır olmasını sağlaması beklenir.
<i>Problem Çözme Yeteneği (PÇY)</i>	Personellerde aranan bu özellik bir çok unsuru içeren bir kriterdir. Bu süreçte uzmandan alınacak önlemleri bilmesi ve uygulatabilmesi, kendine güveniyle ve sorumluluk bilinciyle problemleri çözmesi, çalışanlarla etkili bir iletişim kurarak yapılması gerekenleri aktarması istenir. Ayrıca acil bir durum ile karşılaşıldığında panik ortamına sebebiyet vermeden işin gerektirdiği şekilde kriz durumunu yönetmesi beklenir.
<i>Saha Uygulamalarına Hakimiyet (SUH)</i>	İşe alınacak personelin hem elektrik üretim santrallerinde gerçekleştirilen üretim işlerine, hem bakım faaliyetlerine hem de iş sağlığı ve güvenliği işlerine hakimiyeti olmalıdır.
<i>Bakım Yönetim Bilgisi (BYB)</i>	Bakım yönetimi bakım faaliyetlerinin planlanması, yürütülmesi, denetimi, kalite kontrolü ve geliştirilmesi gibi birçok parametreyi içermektedir. Bu noktada iş güvenliği uzmanı gerek ekipman bilgisi gerekse bakım sürelerine dair bilgi ile birlikte bu geniş kapsamlı süreci yönetebilmelidir. Uzmanın bakım yönetimi hakkında bilgi sahibi olması sürecin denetlenebilirliği ve kontrol altında tutulabilmesi için önemli bir husustur.

### 5.3. Alternatiflerin belirlenmesi

Elektrik üretim santralindeki bakım sürecinde eşlik etmek isteyen 18 adet uzman başvuru yapmıştır. Başvurular arasından 3 kişi iş güvenliği uzmanlığı sertifikası olmadığı için, 5 kişi ise C (tehlikeli ve az tehlikeli iş yerlerine bakabiliyor) sınıfı uzmanlık sertifikasına sahip olduğu için elenmiştir. Kalan 10 uzman ise zorunlu olan eğitim ve sertifika şartlarını sağladığı için değerlendirmeye alınmıştır. Alternatifler belirlenen kriterler doğrultusunda değerlendirilmiştir.

#### 5.4. Değerlendirme kriterlerinin ağırlıklandırılması

Uygun iş güvenliği uzmanı seçimi için belirlenen 8 adet kriter ağırlıklandırılırken Pisagor Bulanık AHP yöntemi kullanılmıştır. 3 uzman tarafından kriterlerin ikili karşılaştırması dilsel ifadelerle yapılmış daha sonra dilsel ifadeler ölçeklendirilmiştir. Uzmanların kriterler hakkındaki sözlü ifadelerini bulanık sayı olarak ölçeklendirmek için kullanılan on puanlık ölçek Tablo 3'te verilmiştir (Ak ve Gül, 2019).

**Tablo 3.**Dilsel değişkenlerin tanımı ve pisagor bulanık ölçekleri(Ak ve Gül,2019)

Dilsel Değişken	Arahıklı Pisagor Bulanık Sayılar			
	$\mu L$	$\mu U$	$\nu L$	$\nu U$
Kesinlikle Düşük Önemli (KD)	0	0	0,9	1
Çok Düşük Önemli (ÇD)	0,1	0,2	0,8	0,9
Düşük Önemli (D)	0,2	0,35	0,65	0,8
Ortalamanın Altında Önemli (OA)	0,35	0,45	0,55	0,65
Eşit ( E)	0,1965	0,1965	0,1965	0,1965
Ortalama Önemli (O)	0,45	0,55	0,45	0,55
Ortalamanın Üstünde Önemli (OÜ)	0,55	0,65	0,35	0,45
Yüksek Önemli (Y)	0,65	0,8	0,2	0,35
Çok Yüksek Önemli (ÇY)	0,8	0,9	0,1	0,2
Kesinlikle Yüksek Önemli (KY)	0,9	1	0	0

Tablo 2 kullanılarak üç ayrı uzmanın ayrı ayrı yaptığı dilsel ifadeler ölçeklendirilmiştir. Ardından üç değerlendirmenin geometrik ortalaması alınarak karar matrisine ulaşılmıştır. Eşitlik 1 ve 2'de verilen formüller yardımıyla farklar matrisi oluşturulmuştur. Çarpımsal matris eşitlik 3 ve 4'te yer alan işlemlerin gerçekleştirilmesi ile elde edilmiş daha sonra 5 numaralı eşitlik ile tereddüt derecelerine ulaşılmıştır. 6 numaralı eşitlik ile normalize edilmemiş ağırlıklara ulaşılmış ve en son 7 numaralı eşitlik ile Tablo 4'te yer alan kriter ağırlıkları elde edilmiştir.

**Tablo 4.** Kriter ağırlıkları

KRİTER SIRALAMASI	KRİTER AĞIRLIKLARI
BYB	0,2570
US	0,2522
PÇY	0,1294
MBT	0,1218
MBP	0,0927
SUH	0,0659
ÖKTB	0,0646
YÇSU	0,0164

Yöntem uygulaması sonucunda kriter ağırlıkları belirlenmiştir. 0,2570 ile en yüksek ağırlık bakım yönetimi kriterine ait çıkmıştır. Bakım yönetim sürecinin birçok parametreyi içinde barındıran önemli bir kriter olduğunu daha önceden söylemiştik. Bakım yönetimine dair oluşacak olan bilgi eksikliği tüm süreci olumsuz yönde etkileyebilecek bir öneme sahiptir. Bu nedenle bakım yönetimi bilgisi kriterinin en yüksek orana sahip olması şaşırtıcı olmamıştır. Hemen arkasından gelen uzmanlık sertifikası kriterinin de ağırlığı neredeyse ilk sırada yer alan kriterine yakındır. Uzmanlık sertifikasının işin gereği olmasının yanı sıra yasal bir zorunluluk olması bu kriterin önem derecesini yükseltmiştir. Devamında sırasıyla problem çözme yeteneği ve mesleki bilginin teorik olarak ele alındığı kriter gelmektedir. Bu iki kriter de ağırlık olarak birbirlerine yakın seyretmiştir. Zaten mesleki bilginin varlığının ve problem çözme yeteneğinin olmasının birbiriyle bağlantılı olarak kullanılabilir iki yetkinlik olduğu söylenebilir. Ardından 5. sırada mesleki pratik bilgi gelmektedir. Sahip olunan bilgi ve yeteneklerin deneyim ile pekiştirildiği düşünüldüğünde bu kriterin sıralamasının uygun olduğu gözlemlenmektedir. Devamında sıralamayı saha uygulamalarına hakimiyet ve önleme, koruma tedbirleri bilgisi kriterleri oluşturmaktadır. Bu iki kriterin ağırlıkları da birbirine oldukça yakındır. Kişi sahaya ne kadar hakimse yapması gerekenleri o kadar bilir

ve önleme tedbirlerini alabilir. Bu doğrultuda iki kriterimizin birbirine yakın olması yöntemin doğru sonuçlar verdiğini göstermektedir. Son olarak yoğun çalışma saatlerine uygunluk kriterinin en son sırada yer aldığı görülmektedir. Her zaman karşılaşılmayan sadece beklenmeyen durumlarda ortaya çıkan bu kriter diğerlerine göre çok daha az öneme sahiptir. Tüm değerlendirmeler sonucunda yöntemin gerçek hayat ile tutarlı olduğu gözlemlenmektedir.

### 5.5. Alternatiflerin öncelik sırasının bulunması

Elektrik üretim santrallerinde gerçekleştirilecek olan bakım faaliyetlerinde görev yapmak üzere 10 adet iş güvenliği uzmanının sıralaması TOPSIS yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Yöntemi uygularken alternatifler kriterlere göre üç uzman tarafından 1-10 'luk (10 çok uygun, 1 Hiç uygun değil diğer değerler ara değerler olacak şekilde) bir skala ile değerlendirilmiş ve daha sonra üç değerlendirmenin geometrik ortalaması alınarak Tablo 5'te verilen karar matrisi elde edilmiştir.

**Tablo 5.**Karar matrisi

Karar Matrisi	MBT	MBP	US	YÇSU	ÖKTB	PÇY	SUH	BYB
A1	7,652	4,309	10,000	7,652	6,952	4,309	7,319	5,944
A2	7,652	3,000	7,319	5,646	3,557	1,000	7,230	1,000
A3	7,652	7,319	10,000	7,612	8,320	5,944	1,000	4,932
A4	5,646	5,313	7,319	7,958	1,000	8,320	8,320	4,932
A5	5,646	4,309	7,319	5,944	7,652	1,000	1,000	4,642
A6	7,652	10,000	10,000	8,320	7,268	8,320	9,322	8,320
A7	5,646	4,309	7,319	5,944	1,000	1,000	6,604	1,000
A8	10,000	5,313	10,000	7,652	7,958	4,579	7,652	5,646
A9	6,840	6,316	7,319	5,313	9,322	7,612	7,000	1,000
A10	6,840	8,320	10,000	7,319	7,000	7,268	8,653	8,320

Karar matrisinin elde edilmesinin ardından eşitlik 8 ile standart karar matrisi oluşturulmuş ve eşitlik 9 kullanılarak Tablo 6'da verilen ağırlıklı standart karar matrisi elde edilmiştir.

**Tablo 6.** Ağırlıklı standart karar matrisi

Ağırlıklı Standart Karar Matrisi	MBT	MBP	US	YÇSU	ÖKTB	PÇY	SUH	BYB
A1	0,041	0,020	0,091	0,006	0,021	0,031	0,022	0,091
A2	0,041	0,014	0,067	0,004	0,011	0,007	0,022	0,015
A3	0,041	0,035	0,091	0,006	0,026	0,043	0,003	0,076
A4	0,030	0,025	0,067	0,006	0,003	0,060	0,025	0,076
A5	0,030	0,020	0,067	0,004	0,023	0,007	0,003	0,071
A6	0,041	0,047	0,091	0,006	0,022	0,060	0,028	0,128
A7	0,030	0,020	0,067	0,004	0,003	0,007	0,020	0,015
A8	0,053	0,025	0,091	0,006	0,024	0,033	0,023	0,087
A9	0,036	0,030	0,067	0,004	0,029	0,054	0,021	0,015
A10	0,036	0,039	0,091	0,005	0,021	0,052	0,026	0,128

Yöntemin uygulanmasına eşitlik 10 ve 11 kullanılarak ideal ve negatif ideal çözümlerin oluşturulmasıyla devam edilmiştir. Daha sonra ayırım ölçütleri eşitlik 12 ve 13 ile hesaplanmıştır. En son olarak ise eşitlik 14 ile ideal çözüme göreli yakınlıklar belirlenerek Tablo 7 'de verilen alternatif sıralamasına ulaşılmıştır.

**Tablo 7.** Alternatif sıralaması

SIRA	Alternatif
1	A6
2	A10
3	A8
4	A1
5	A3
6	A4
7	A5
8	A9
9	A2
10	A7

Alternatiflerin sıralanmasının uygunluğunun daha net görülebilmesi için oluşturulan sıralama ve karar matrisindeki değerler kullanılarak Tablo 8 oluşturulmuştur.

**Tablo 8.** Alternatif sıralamasının uygunluğu

	MBT	MBP	US	YÇSU	ÖKTB	PÇY	SUH	BYB
A6	4 Yıl	10 Yıl	A	8,320	7,268	8,320	9,322	8,320
A10	4 Yıl	8 Yıl	A	7,319	7,000	7,268	8,653	8,320
A8	5 Yıl	5 Yıl	A	7,652	7,958	4,579	7,652	5,646
A1	4 Yıl	4 Yıl	A	7,652	6,952	4,309	7,319	5,944
A3	4 Yıl	7 Yıl	A	7,612	8,320	5,944	1	4,932
A4	2 Yıl	5 Yıl	B	7,958	1	8,320	8,320	4,932
A5	2 Yıl	4 Yıl	B	5,944	7,652	1	1	4,642
A9	4 Yıl	6 Yıl	B	5,313	9,322	7,612	7,000	1
A2	4 Yıl	3 Yıl	B	5,646	3,557	1	7,230	1
A7	2 Yıl	4 Yıl	B	5,944	1	1	6,604	1

Yöntem uygulanmasından sonra elde edilen sıralama detaylı olarak Tablo 7'de verilmiştir. Görüldüğü gibi sıralamada bakım yönetim bilgisi yüksek olan personeller üst sıralarda yer alırken bakım yönetim bilgisi olmayan personeller son sıralarda yer almıştır. Uzmanlık sertifikası olarak ise seçimler öncelik olarak A sınıfı uzmanlık belgesi olan personellere verilmiştir. Yoğun çalışma saatlerine uygunluk kriteri genel olarak bütün çalışanlarda olmasına rağmen kriter ağırlığının düşük olması sebebiyle sıralamada çok fazla belirleyici olmamıştır. A6 alternatifi ilk sırada yer almıştır personelin özellikleri göz önünde bulundurulduğunda uygun olduğu görülmektedir. Aynı şekilde A7 alternatifi de en son sırada yer almaktadır. Bu personelde önemli kriterlerin eksikliği gözlemlenmektedir. Genel olarak tabloya bakıldığında kriter ağırlıkları ve önem derecelerine göre tutarlı bir sıralama olduğu gözlemlenmektedir.

## 6. Sonuç ve tartışma

Bakım onarım faaliyetleri tüm işletmeler için oldukça önem taşıyan bir süreçtir. İşletmeler maliyetlerinin minimize etmek isterken kar maksimizasyonu sağlamayı hedefler. Bu amaçların yanında dikkate alınması gereken diğer bir unsur ise çalışanların sağlıklı ve güvenilir bir ortamda çalışabilmesini sağlamaktır. Bu ortamın sağlanması hem çalışanların güvenliğini sağlamayı hem de verimli bir çalışma sürecini beraberinde getirir.

Elektrik üretim santralleri gibi kapsamlı olan işletmeler için her geçen zamanın önemi oldukça fazladır. Bu yüzden bakım süreçleri planlanırken her durum detaylı olarak düşünülür. Sürecin bir parçası olan iş sağlığı ve güvenliğinin

sağlanmasında da gerekli dikkat sağlanmalıdır. Bu noktada sürece eşlik edecek olan iş güvenliği uzmanının yetkinliklerinin işe ve amaca uygun olması gerekmektedir.

Bu çalışma ile Kırıkkale'de faaliyet gösteren bir elektrik üretim santralının bakım sürecine eşlik edecek olan iş güvenliği uzmanının seçimi yapılmıştır. Planlanan bakım sürecinde iş güvenliği uzmanından beklenen ve bu kapsamda değerlendirilen kriterler literatür çalışması ve 3 uzman eşliğinde oluşturulmuştur. Kriter ağırlıkları bulunurken Pisagor Bulanık AHP yöntemi kullanılmıştır. Öncelikle kriterler 3 uzman tarafından birbirleriyle ikili olarak dilsel ifadelerle karşılaştırılmıştır. Uzmanların dilsel olarak yaptığı değerlendirmeler ölçeklendirildikten sonra geometrik ortalamaları alınarak karar matrisine ulaşılmıştır. Daha sonra Pisagor Bulanık AHP yöntemi ile kriter ağırlıklandırması gerçekleştirilmiştir. Yapılan işlemler sonucunda Bakım Yönetimi Bilgisi kriterinin 0,2570 ile ilk sırada yer aldığı hemen ardından 0,2522 ile Uzmanlık Sertifikası (A-B) kriterinin geldiği görülmüştür. En son sırayı ise 0,0164 ile Yoğun Çalışma Saatlerine Uygunluk kriteri almıştır.

Kriter ağırlıklarının belirlenmesinin ardından 10 adet alternatif personel yine 3 uzman tarafından değerlendirilmiştir. Uzmanlar değerlendirmelerini yaparken 1-10'luk (10 çok uygun, 1 Hiç uygun değil diğer değerler ara değerler olacak şekilde) skalayı kullanmışlardır. Yapılan değerlendirmelerin geometrik ortalaması alınarak karar matrisi oluşturulmuş ve TOPSIS yöntemi uygulanmıştır. Yöntemin sonucunda bir alternatif sıralamasına ulaşılmıştır. A6 alternatifi en uygun alternatif olurken A7 alternatifi ise en uygunsuz alternatif olarak belirlenmiştir.

Bu çalışma ile literatürde olan diğer çalışmalara farklılık olarak personel seçimi için belirlenen kriterlerin ağırlıklandırılmasında Pisagor bulanık AHP seçilmiştir. Bunun yanı sıra diğer önemli farklılık ise elektrik üretim santrallerinde bakım faaliyetleri için daha önce ele alınmayan iş güvenliği uzmanı seçim probleminin ele alınması olmuştur. Ele alınan problem ile çalışanların sağlıklı ve güvenli bir ortamda bakım faaliyetlerini tamamlayabilmesi amaçlanmıştır. İlerleyen süreçlerde farklı sektörlerde de çalışanların sağlık ve güvenlik koşulları dikkate alınarak çalışmalara yapılabilir.

### Araştırmacıların katkısı

Bu araştırmada; Emel EROL, bilimsel yayın araştırması, verilerin toplanıp analiz edilmesi, yöntem uygunluk araştırması, yöntemin uygulanması ve yorumlanması, sonucun yorumlanması ve makalenin oluşturulması; Evrencan ÖZCAN, bilimsel yayın araştırması, makale sürecinin tamamının yönetimi ve kontrolü, yöntem uygulamaların doğruluk kontrolü, makale sıralamasının oluşumu; Tamer EREN, bilimsel yayın araştırması yeterliliğinin incelenmesi, yöntem uygunluk incelemesi, uygulama süreç incelemesi, sonuçların incelenmesi ve genel makale incelemesi; konularında katkı sağlamışlardır.

### Çıkar Çatışması

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması meydana gelmemiştir.

### Kaynakça

Akar, G. S. ve Çakır, E. (2016). Lojistik Sektöründe Bütünleştirilmiş Bulanık AHP-MOORA Yaklaşımı İle Personel Seçimi. Yönetim Ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi, 14(2), 185-199. doi:<http://dx.doi.org/10.11611/JMER855>

Akça, N., Sönmez, S., Gür, Ş., Yılmaz, A. ve Eren, T. (2018). Kamu Hastanelerinde Analitik Ağ Süreci Yöntemi İle Finans Yöneticisi Seçimi. Optimum: Journal Of Economics & Management Sciences/Ekonomi Ve Yönetim Bilimleri Dergisi, 5(2), 133-146. doi:<https://doi.org/10.17541/optimum.390536>

Ak, M. F., ve Gül, M. (2019). AHP-TOPSIS İntegration Extended With Pythagorean Fuzzy Sets For İnformation Security Risk Analysis. Complex And Intelligent Systems, 5(2), 113-126. doi:<https://doi.org/10.1007/s40747-018-0087-7>

Arslan, H. M. (2019). SMART-TOPSIS Hibrit Yöntemi İle Personel Seçimi: Demir-Çelik İşletmelerinde Bir Uygulama. 4. In Traders Uluslararası Ticaret Kongresi Kongre Kitabı, 130- 141, Sakarya. Erişim adresi:[https://intraders.sakarya.edu.tr/sites/intraders.sakarya.edu.tr/file/The\\_4th\\_InTraders\\_International\\_Conference\\_On\\_International\\_Trade\\_Proceeding\\_Book2.pdf#page=131](https://intraders.sakarya.edu.tr/sites/intraders.sakarya.edu.tr/file/The_4th_InTraders_International_Conference_On_International_Trade_Proceeding_Book2.pdf#page=131)



- Atanassov, K. (2016). Intuitionistic Fuzzy Sets. *International Journal Bioautomation*, 20(1), 1-6. Retrieved from: <https://search.proquest.com/scholarly-journals/intuitionistic-fuzzy-sets/docview/2410423496/se-2?accountid=16369>
- Bakioglu, G. ve Atahan, A. O. (2020). AHP İntegrated TOPSIS And VIKOR Methods With Pythagorean Fuzzy Sets To Prioritize Risks İn Self-Driving Vehicles. *Applied Soft Computing*, 106948, 2-53. doi:<https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106948>
- Bedir, N. ve Eren, T. (2015). AHP-PROMETHEE Yöntemleri Entegrasyonu İle 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>
- Chang, K. L. (2015). The Use Of A Hybrid MCDM Model For Public Relations Personnel Selection. *Informatica*, 26(3), 389-406. doi:<https://doi.org/10.15388/Informatica.2015.54>
- Ecer, F., Kınay, A. ve Nasiboğlu, E., (2018). AHP Yöntemi İle Engelli Bireye Sahip Ailelerin Standart Hayat Şartlarına Ulaşabilmeleri İçin Gerekli Finansal Desteğin Belirlenmesi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 5(3), 687704. doi:<https://doi.org/10.30798/makuiibf.428401>
- 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>
- Heidary Dahooie, J., Beheshti Jazan Abadi, E., Vanaki, A. S. & Firoozfar, H. R. (2018). Competency-Based IT Personnel Selection Using A Hybrid SWARA and ARAS-G Methodology. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 28(1), 5-16. doi:<https://doi.org/10.1002/hfm.20713>
- Hwang, C.L. & Yoon K. (1981). *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. New York: Springer-Verlag. doi:<https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9>
- İlbahar, E., Karışan, A., Cebi, S. ve Kahraman, C. (2018). A Novel Approach To Risk Assessment For Occupational Health And Safety Using Pythagorean Fuzzy AHP & Fuzzy Inference System. *Safety Science*, 103, 124-136. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.10.025>
- İncekara, Ç. Ö. (2018). Ülkemizdeki Enerji Santral Yatırımlarının AHP Yöntemi İle Değerlendirilmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(4), 185-196. doi:<https://doi.org/10.21605/cukurovaummfd.525228>
- Karataş, P. Ç. (2019). Aralık Değerli Nötrosifik AHP Ve Aralık Değerli Nötrosifik TOPSIS Yöntemleri İle Personel Seçimi. *Yüksek Lisans Tezi, Çankaya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara*. Erişim adresi: <http://hdl.handle.net/20.500.12416/3984>
- Kılıç, İ. (2010). İş Sağlığı Ve Güvenliğinin Sağlanmasında İş Güvenliği Uzmanlığı. *Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Bursa*. Erişim adresi: <http://hdl.handle.net/11452/8849>
- Koutra, G., Barbounaki, S., Kardaras, D. & Stalidis, G. (2017). A Multi Criteria Model For Personnel Selection İn Maritime Industry İn Greece. In *2017 IEEE 19th Conference on Business Informatics (CBI)*, IEEE, Vol. 1, pp. 287-294. doi:<https://doi.org/10.1109/CBI.2017.52>
- Kuşakçı, A. O., Ayvaz, B., Öztürk, F. ve 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>
- Lin, H. T. (2010). Personnel Selection Using Analytic Network Process And Fuzzy Data Envelopment Analysis Approaches. *Computers & Industrial Engineering*, 59(4), 937-944. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cie.2010.09.004>
- Liu, P. D. & Jin, F., (2012). The Trapezoid Fuzzy Linguistic Bonferroni Mean Operators And Their Application To Multiple Attribute Decision Making. *Scientia Iranica*, 19(6), 1947-1959. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scient.2012.06.028>
- Luo, S. Z., & Xing, L. N. (2019). A Hybrid Decision Making Framework for Personnel Selection Using BWM, MABAC and PROMETHEE. *International Journal of Fuzzy Systems*, 21(8), 2421-2434. doi:<https://doi.org/10.1007/s40815-019-00745-4>
- Özbek, A. ve Erol, E. (2016). Analitik Hiyerarşi Süreci Ve VIKOR Yöntemleriyle İşgören Seçimi: Tekstil Sektöründe Bir Uygulama. *Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 6(1), 93-108. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/181157>

- Özcan, E. C., ve Eren, T. (2014). Bakım Planlamasında Topsis Yöntemi Uygulaması: Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali Örneği. *International Journal Of Engineering Research And Development*, 6(2). doi:<https://doi.org/10.29137/umagd.346087>
- Özcan, E. C., Varlı, E. ve Eren, T. (2017a). Hidroelektrik Santrallerde Vardiya Çizelgeleme Problemleri İçin Hedef Programlama Yaklaşımı. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 10(4), 363-370. doi:<https://doi.org/10.17671/gazibtd.347609>
- Özcan, E. C., Ünlüsoy, S. ve Eren, T. (2017b). ANP Ve TOPSIS Yöntemleriyle Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Yatırım Alternatiflerinin Değerlendirilmesi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 5(2), 204-219. doi:<https://doi.org/10.15317/Scitech.2017.82>
- Özcan, E. C., Ünlüsoy, S. ve Eren, T. (2017c). A Combined Goal Programming–AHP Approach Supported With TOPSIS For Maintenance Strategy Selection In Hydroelectric Power Plants. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 78, 1410-1423. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.039>
- Özcan, E., Danişan, T. ve Eren, T. (2019). Hidroelektrik Santrallerin En Kritik Elektriksel Ekipman Gruplarının Bakım Stratejilerinin Optimizasyonu İçin Matematiksel Bir Model Önerisi. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 25(4), 498-506. doi:<https://doi.org/10.5505/pajes.2018.38455>
- Özcan, E., Danişan, T. ve Eren, T. (2020). A Hybrid Model Proposal For Maintenance Scheduling In Hydropower Plants. *Journal Of The Faculty Of Engineering And Architecture Of Gazi University*, 35(4), 1815-1827. doi:<https://doi.org/10.17341/gazimmfd.602774>
- Öztürk, Z. K. ve Toptancı, Ş. (2017). An Integrated Mcdm Model For Occupational Safety Specialist Selection. *Journal Of Business Research Turk*, 9(4), 419-435. doi:<https://doi.org/10.20491/isarder.2017.339>
- Stanujkic, D., Popovic, G. & Brzakovic, M. (2018). An Approach To Personnel Selection In The It Industry Based On The Edas Method. *Transformations in Business & Economics*, 17(2), 44. Retrieved from:[https://www.researchgate.net/publication/325485131\\_An\\_Approach\\_to\\_Personnel\\_Selection\\_in\\_the\\_IT\\_Industry\\_Based\\_on\\_the\\_EDAS\\_Method](https://www.researchgate.net/publication/325485131_An_Approach_to_Personnel_Selection_in_the_IT_Industry_Based_on_the_EDAS_Method)
- Toptancı, Ş., Karamaşa, Ç., Aytakin, A. ve Orakçı, E. (2018). Nötrosifik AHP ve Nötrosifik TOPSIS Bütünleşik Modeli: Personel Seçiminde Bir Uygulama. 19. Uluslararası EYİ Sempozyumu Tam Metin Bildiri Kitabı, 819-834, İstanbul
- Uğur, L. O. (2017). MOORA Optimizasyon Yaklaşımı İle İnşaat Proje Müdürü Seçimi: Çok Kriterli Bir Karar Verme Uygulaması. *Politeknik dergisi*, 20(3).717-723. doi:<https://doi.org/10.2339/politeknik.339408>
- Ulutaş, A. (2019). Entropi ve MABAC Yöntemleri İle Personel Seçimi. *OPUS Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi*, 13(19), 1552-1573. doi:<https://doi.org/10.26466/opus.580456>
- Ulutaş, A., Özkan, A. M. ve Tağraf, H. (2018). Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci Ve Bulanık Gri İlişkisel Analizi Yöntemleri Kullanılarak Personel Seçimi Yapılması. *Electronic Journal of SocialSciences*, 17(65), 223-232. doi:<https://doi.org/10.17755/esosder.317209>
- Yager, R.R. (2013). Pythagorean Fuzzy Subsets. In: *IFSA World Congressand NAFIPS Annual Meeting (IFSA/NAFIPS)*. 2013 Joint IEEE, pp. 57–61. doi:<https://doi.org/10.1109 / IFSA-NAFIPS.2013.6608375>
- Yıldız, A., Ayyıldız, E., Gümüş, A. T. ve Özkan, C. (2019). Ülkelerin Yaşam Kalitelerine Göre Değerlendirilmesi İçin Hibrit Pisagor Bulanık AHP-TOPSIS Metodolojisi: Avrupa Birliği Örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 1383-1391. doi:<https://doi.org/10.31590/ejosat.658021>



# Journal of Turkish Operations Management

## An overview of agri-food supply chains in the covid-19 pandemic period

Esra Ekinci<sup>1</sup>, Berrak Çayır<sup>2</sup>, Burak Arifoğlu<sup>3</sup>, Yücel Öztürkoğlu<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>Logistics Management, Yaşar University, İzmir

e-mail: esra.ekinci@yasar.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0003-2609-7763>

<sup>2</sup>Sealand Maersk Company, İzmir

e-mail: berrakcayir@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-2139-5887>

<sup>3</sup>Logistics Engineering, Yaşar University, İzmir

e-mail: arifoglu.burak97@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-9032-5524>

<sup>4</sup> Logistics Management, Yaşar University, İzmir

e-mail: yucel.ozturkoglu@yasar.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-9569-8178>

\*Sorumlu Yazar

### Article Info

#### Article History:

Received: 08.04.2021

Revised: 03.05.2021

Accepted: 05.05.2021

### Keywords

COVID-19,  
Agri-food,  
Supply Chain

### Abstract

Due to the global pandemic, which has recently spread all over the world, supply chain resilience and flexibility of industries became more important than ever. Due to the COVID-19 outbreak, both the increase in consumption and the occasional halt in production have led to a focus on agricultural food supply chains. With this pandemic, new challenges, threats and different opportunities have emerged for agri-food supply chains. In this study, the effects of COVID-19 on agri-food sector which has an important place in Turkey's economy has been discussed and the results have been compared with the world leader United States. The basis of the study will be to compare the agri-food supply chains of both countries on the basis of real data. A roadmap will be presented to identify the impacts in both countries and to see how they are dealing with a pandemic.

## 1. Introduction

Coronavirus disease, also known as COVID-19, is an infectious respiratory disease. The world has met with this virus on 31 December 2019, when Wuhan Municipal Health Commission has reported several cases that later identified as a coronavirus (World Health Organization, 2020). Before long, the virus has spread along with all world. OECD (2020) presented that according to OECD's latest Economic Outlook, "The Covid-19 pandemic has triggered the most severe recession in nearly a century and is causing enormous damage to people's health, jobs, and well-being." As of 31st December 2020, total corona cases in the world reached 84 million and the number of deaths is 1.8 million. Even though, Turkey's first case appeared 3 months after the first case in Wuhan, government authorities immediately took some precaution to prevent bigger consequences like other countries. Still, the coronavirus continues to spread all over the world and continues to affect many lives, jobs and industries. Consequently, people have been affected by the virus, regardless of their profession. Therefore, setbacks, limitations, disruptions occurred on the global supply chains, including agriculture sector. Due to fact that agriculture is the oldest livelihood, it is one of the essential sectors for the governments. Kayabaşı, (2020) stated that several exemptions were applied to farmers and farm workers due to the pandemic limitations in order not to break supply chain. Additionally, she emphasized supply shortages of agricultural crops in the next period may be occur, in spite of this privileges.

When this is the case, people started to pay more attention to their health, and started to be more careful than ever, about what they are buying, how the product has been developed and delivered, etc. It leads people to want more information about supply chains' steps like food procurement, food safety, production methods, hygiene, and the use of genetically modified feed when they purchase (Wognum et al., 2011; Zavvar Sabegh et al. 2016). Especially,

the agricultural supply chain has become more important than other sectors because the food sector has infectiousness risks more than others. For example, in the past, beginning of the SARS-CoV-2 virus, many restaurants and cafeterias stopped selling steaks and meat products in central Europe (Rizou et al., 2020). Similarly, countries such as Turkey, United States of America and so on imposed quarantine from time to time and brought several restrictions to several entertainment venues, for instance; restaurants, bars, coffee shops.

The possibility of a pandemic is considered by scientists for many years. In this case, quarantines will continue from time to time around the world. Therefore, disruptions are expected, especially in the food supply chain. This study consists of three important contributions. First, studies on food supply chains affected by pandemics will be examined in the literature. Then, using real statistical data related to COVID-19 pandemic, agri-food supply chains in Turkey and the United States are to be analysed to understand the impact. the general situation of the food supply chain. Lastly, a roadmap will be presented to determine how both countries should deal with the pandemic, by consulting experts on the agri-food supply chain.

The paper consists of four sections. The next section will discuss a detailed literature review of the topic. Data to be used in analysis is presented in Section 3. Section 4 consists of discussions and managerial implications. Lastly, the conclusion of the study is provided.

## 2. Food Supply Chain in the Pandemic

In this section, the literature review for supply chain and pandemic is investigated.

There are numerous researches related to supply chains and pandemic in the world. While the articles reviewed COVID-19 pandemic are predominant, there are other studies investigating the disruption of supply chains during avian influenza Kumar and Chandra (2010) and other pandemics also exist. Kumar and Chandra (2010) analyzed a drop in sales, inventory shortages, and fewer workers caused by the avian flu pandemic in the global supply chain of a US Computer Company. To overcome these issues, they made recommendations to enhance supply chain operations and communication such as developing a strategic business continuity plan. Majority of papers in this literature review are about food supply chains, agri-food supply chains during pandemic periods (Hobbs, 2020; Rowan & Galanakis, 2020; Luckstead et al., 2020; Rizou et al., 2020; Elleby et al., 2020; Chowdhury et al., 2020; Abiral & Atalan-Helicke, 2020; Seleiman et al., 2020; Orden, 2020).

On the other hand, papers such as Nikolopoulos et al. (2020), Zhu et al. (2020) focused broader effects of COVID-19 in the supply chain disruptions. In more detail, Nikolopoulos et al. (2020) studied a new hybrid forecasting model which is based on the nearest neighbourhood and clustering to predict growth rates of coronavirus at the country level. They underlined that it is essential to forecast during the pandemic, especially when demand suddenly arises and much greater effect is observed on the supply side, the well-known Bullwhip Effect. Another study that mentions the bullwhip effect belongs to Zhu et al. (2020). They demonstrated a relationship between medical shortages and supply chain problems through to COVID-19. Despite the businesses are aware of the increasing demand, the bullwhip effect still applies. Hence, to cope with it, they suggest mainly two things; nationalize the source of medical supply and diversify their suppliers. Similarly, Hobbs, (2020), Abiral & Atalan-Helicke (2020), and Seleiman et al. (2020) got the same or similar result which consumers/governments and so on can benefit from the localization of supplier. In other words, COVID-19 impact can be decreased by a local producer or supplier option.

Other researchers focused on the market dynamics during the COVID-19 pandemic (Orden, 2020). He exposed the economic value of the North American food sector has decreased by 12-18 billion dollars and it result with a huge amount of unearned revenue. Additionally, Elleby et al. (2020) conducted a scenario-based analysis of IMF economic growth forecasts for 2020 and 2021 using a global multi-commodity agricultural market model. They figured out that agricultural food product's prices are below the baseline. However, in the following years' picture will become more mix and some prices of such items will increase. One another issue that COVID-19 brought the agenda is food safety. Food safety refers to the discipline of collecting, handling, sorting, distributing, and stocking foods to prevent foodborne illness. Thus, the safety of food became a more important issue in supply chain management, especially on pandemic days. Rizou et al. (2020) summarized how the COVID-19 can spread through different surfaces and environments including food supply chains. While arguing the safety of food, it is also essential to talk about the safety of the environment, too. Rowan & Galanakis (2020) reviewed setbacks, challenges, and potential solutions for post-COVID19 and provided green deal innovation, while meeting the demand. Last but not least, Luckstead et al. (2020) surveyed coronavirus impact on labour throughout the food supply chain. Without a doubt, human resources, labour component of supply chains are the most indispensable parts. Unfortunately due to breakdowns during the pandemic, a lot of places like schools, restaurants, bars, and so

on have been shut down. For that reason, countless people were unemployed. Within this study, surveys showed participants' ideas shifted to food being a national security issue.

**Table 1.** Literature Review of Supply Chain and Pandemic Source: own research

<b>Author(s)</b>	<b>Title</b>	<b>Purpose of The Study</b>	<b>Findings</b>
Hobbs, (2020)	Food supply chains during the COVID-19 pandemic	An early assessment of the implications of the COVID-19 pandemic for food supply chains and supply chain resilience	COVID-19 pandemic will have longer-lasting effects on the nature of food supply chains. Two aspects come to mind: the growth of the online grocery delivery sector and the extent to which consumers prioritize “local” food supply chains. Attention should give to keeping cross-border supply chains open and unencumbered by new regulation, mitigate panic buying and stockpiling behaviour by consumers in the event of future crises also deserve consideration.
Rowan & Galanakis (2020)	Unlocking challenges and opportunities presented by COVID-19 pandemic for cross-cutting disruption in agri-food and green deal innovations: Quo Vadis?	To review challenges, opportunities, and potential solutions for the post-COVID-19 era that focuses on intensive sustaining of agri-food supply chain in tandem with meeting the high demand for new green deal innovation	Future disruptive technologies will be shaped by increased demand to produce more safe foods and attitudes towards climate change and digitization. Such as Peatlands-based Freshwater Aquaculture process.
Luckstead et al. (2020)	Labour Issues in the Food Supply Chain Amid the COVID-19 Pandemic	Explain the impacts of the COVID-19 pandemic on labour throughout the food supply chain via survey before and during the spread of COVID-19.	Results showed that participants' thoughts are shifted to idea that food being a national security issue and a higher degree of empathy for H-2A guest workers.
Kumar & Chandra (2010)	Supply chain disruption by avian flu pandemic for US companies: a case study	To measure effects of avian flu in global supply chain of an computer company and develop an decision framework using system dynamics, using Closed-Loop and Stock Flow Diagram.	Some suggestions made to managers such as; developing a strategic business continuity plan, review their insurance policy, communicate with their supply chain partners on the issue of sustainability.
Rizou et al. (2020)	Safety of foods, food supply chain and environment within	Summarize the ways of infection of COVID-19 through the foods, food	More safety measures are needed, the need for developing respective bioanalytical protocols for food

	the COVID-19 pandemic	supply chain, surfaces, and environment.	and environmental safety applications to adapt in the post-lockdown period is also highlighted.
Elleby et al. (2020)	Impacts of the COVID-19 Pandemic on the Global Agricultural Markets	Determine price change for every type of products using Aglink-Cosimo model.	In covid-19 pandemic' process agricultural markets spending decreased sharply like other products market.
Chowdhury et al. (2020)	A case study on strategies to deal with the impacts of COVID-19 pandemic in the food and beverage industry	Researched the food sectors for COVID-19 effect on short term and medium term impacts in Bangladesh.	Causes of effect about short and medium term impacts for food industry.
Abiral & Atalan-Helicke (2020)	Trusting food supply chains during the pandemic: reflections from Turkey and the U.S.	Analysis consumer behaviour in food supply chain in Turkey and US.	Turkish consumer chose more trustworthy short supply chains like local farmer market beside new routines options.
Seleiman et al. (2020)	Will novel coronavirus (Covid-19) pandemic impact agriculture, food security and animal sectors?	Compare food sector export data with after pandemic process data for each country.	Covid-19 impact can reduce with local producer and short supply chain.
Orden (2020)	Resilience and Vulnerabilities of the North American Food System during the Covid-19 Pandemic	This paper explains pandemic impact on American food sector with economic value.	USA corn and soybean market decrease 12-18 billion dollars in pre-pandemic process so this drop effect to revenue like 8 -11 billion dollars for USA income.
Nikolopoulos et al. (2020)	Forecasting and planning during a pandemic: COVID-19 growth rates, supply chain disruptions, and governmental decisions	To predict COVID-19 growth rates in country level with a new hybrid forecasting model based on nearest neighbour and clustering, further excess demands to help decision—makers.	Even though trustable data are not available right now, using Google Trends data, they figure it out that earlier a lockdown is imposed, the higher the excess demand will be for groceries. And thus, government can imply policies according to it.
Zhu et al. (2020)	Lessons Learned from the COVID-19 Pandemic Exposing the Shortcomings of Current Supply Chain Operations: A Long-Term Prescriptive Offering	To address supply shortages and supply chain issues derived from COVID-19. Thus, to mitigate the effects of these issues and protect supply chain operation.	Proposed some recommendations, such as nationalizing the medical supply chains, adopting a plus one diversification approach, and increasing safety stock.

When the literature is examined, with the COVID-19 pandemic that emerged at the end of 2019 and affected the whole world, the supply chain issue was studied in different sectors. However, it has been found that there are very

limited studies on the agricultural food supply chain. There has been no study that deals with each link of the chain as a whole, especially in order to prevent the food flow from being interrupted.

### 3. Data Collection

#### 3.1 Coronavirus Data

In this part of the study, the number of cases and deaths of both US and Turkey will be compared and how they are affected by the pandemic will be analysed. The number of cases and deaths in both countries until 31 December 2020 is shown in Table 2.

**Table 2.** Cumulative Total Cases and Deaths (Source: (Source World Meters, 2021))

Country	Cases- Cumulative Total	Deaths - Cumulative Total
United States of America	20,555,134	361,948
Turkey	2,208,652	20,881

As shown in the Table 2, the number of cumulative cases total is over of 20.6 million in the US. In parallel, total number of deaths in the US is 362 thousand. However, Turkey has reached 2.2 million cases, while total number of deaths is nearly 20.9 thousand. When the numbers are analyzed, the death rate in United States is approximately 1.77%, while Turkey death rate is 0.95%. When population of these countries are considered, US has a population of 320 million and 6.42% had been infected; where in Turkey with a population of 83 million, only 2.66% of it had been infected. Despite the fact that US population is approximately four-fold Turkey population, the rate of cases is not consistent with these numbers.

Table 3 and Table 4 show the monthly number of cases and deaths during 2020, which is considered the beginning of the pandemic in both countries. With the official start of the pandemic being accepted as March, it is seen that the cases are increasing irregularly every month.

**Table 3.** Coronavirus Cases and Deaths of US per Month (Source World Meters, 2021)

Country Month	United States of America	
	Cases	Deaths
January	0	0
February	68	1
March	197776	5209
April	910603	60030
May	755292	43865
June	884162	21343
July	2018419	26944
August	1524731	30727
September	1222029	23969
October	1948104	24333
November	4504509	37878
December	3717639	44624

In March, there were 0.06% (197.776) cases in the US compared to the population (320m) and 0,04% (36.806) cases in Turkey compared to the population (83m). In September 2020, there were 2.34% (7.503.080) cases in the US compared to the population (320m) and 1.05% (866.776) cases in Turkey compared to the population (83m).

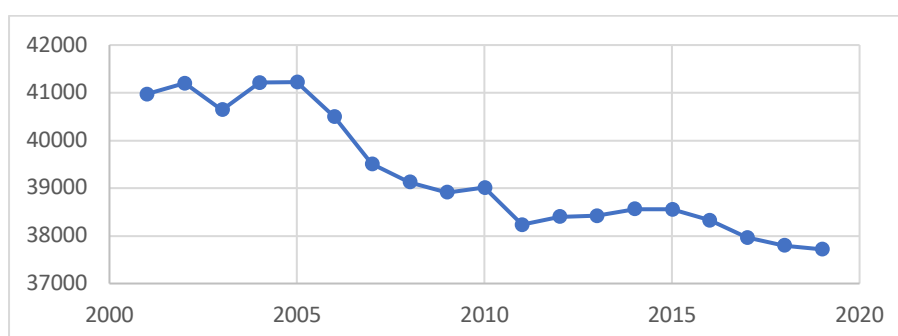
According to Table 3 and Table 4, in the 2020, COVID-19 impacted US population more due to rapid spread. The higher the number of cases and deaths, the longer the lockdown in that country. The lockdown period can cause problems in terms of both production and consumption. This means that the US agri-food supply chain should have been further damaged.

**Table 4.** Coronavirus Cases and Deaths of Turkey per Month (Source World Meters, 2021)  
<https://www.worldometers.info/coronavirus/>

Country Month	Turkey	
	Cases	Deaths
January	0	0
February	0	0
March	36.806	214
April	290.156	2960
May	118.969	1366
June	97.822	591
July	84.230	560
August	106.788	679
September	132.005	1825
October	154.239	2057
November	410.633	3494
December	550.442	3864

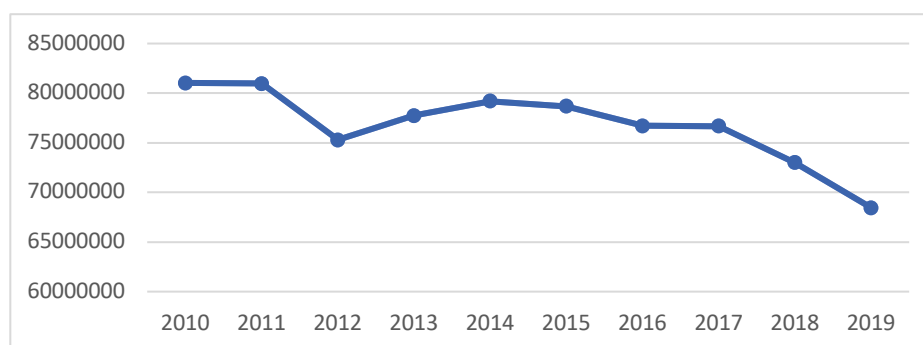
### 3.2 Agricultural Data

The value of agricultural land use in Turkey is decreasing day by day due to various reasons. Figure 1 presents the total used agricultural land values in thousand hectares in Turkey between the years 2004-2019. As can be seen in the table that this decrease will continue throughout the pandemic period. In particular, it is thought that the value of this downward trend in 2020 due to COVID-19 could be greater than the past 5 years.



**Figure 1.** Total Agricultural Land in Turkey (Source: TUIK, 2020)

Figure 2 shows the basic agricultural food products per hectare of area sown with wheat in Turkey.



**Figure 2.** Sown Area of Wheat (Source: TUIK, 2020)



Both cultivation areas and production are significantly reduced due to political, economic and different reasons.

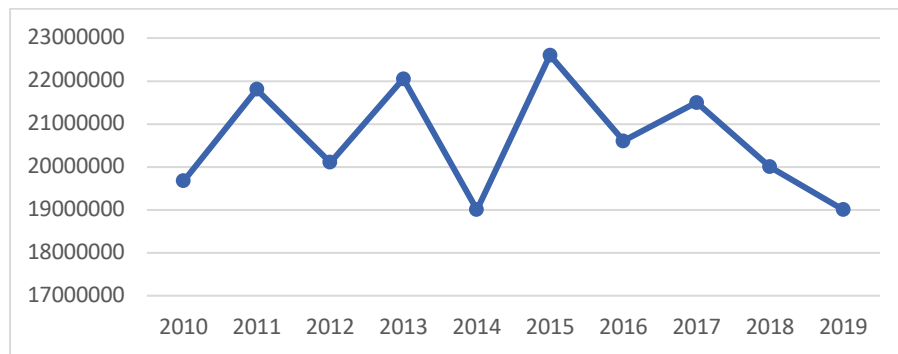


Figure 3. Total Wheat Production (Source: TUIK, 2020)

In contrast to Turkey, US' Agriculture process more stable than Turkey' Agriculture. Figure 4 and 5 show the Wheat plant and production value. Each table telling wheat productivity not affected by corona so we can understand US' Agriculture system stronger and flexible than Turkish side. If US' Agriculture system was like Figure 2 and 3, we can say US supply chain take damage from pandemic. This damage probably will be on production and sale process but Figure 4 shows us this damage bearable in these pandemic times.

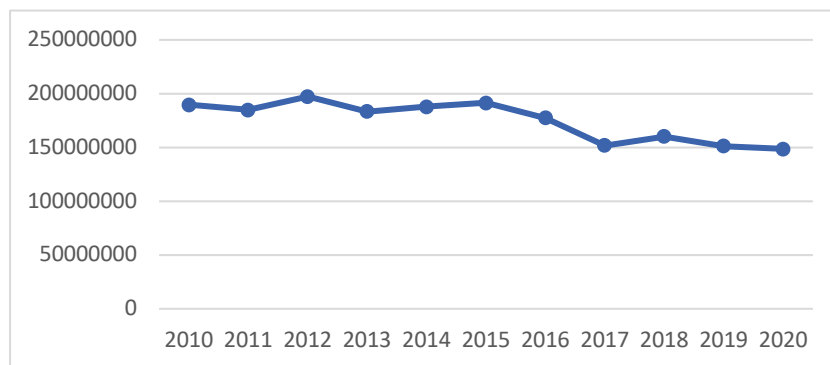


Figure 4. Sown Area of Wheat (Source: US Depart. of Agriculture, 2021)

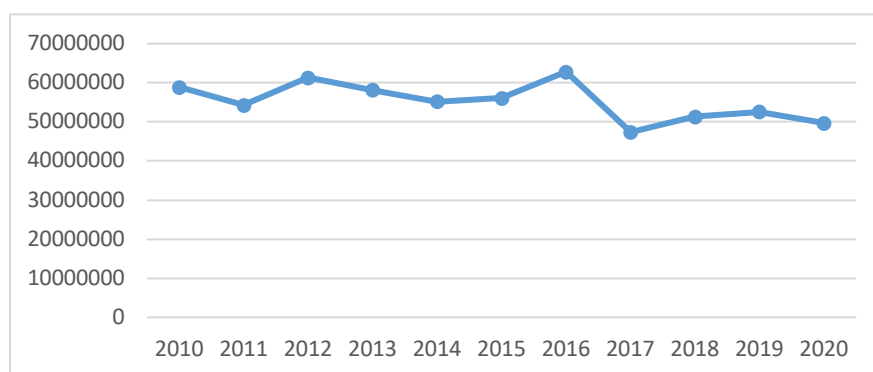


Figure 5. Sown Area of Wheat (Source: US Depart. of Agriculture, 2021)

In times of lockdown, people start to stock up and wheats product have an important share in this stock as pasta and flour. People started making homemade food products in order to reduce dependency on outside. These issues increased wheat consumption value; therefore, US wheat stock value decreased in 2020. Figure 6 shows this decrease with numbers. Wheat ending stock value dropped nearly 15 percent.

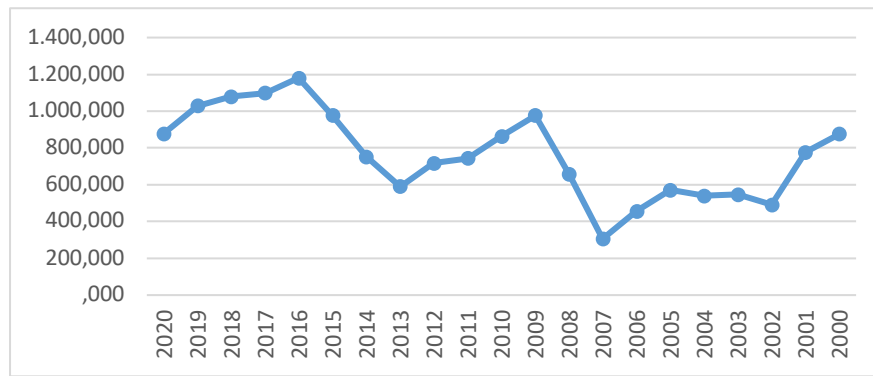


Figure 6. Ending stocks value for Wheat (Source: US Depart. of Agriculture, 2021)

Increased use of wheat, increased the need for wheat so US government increase wheat import value for people. Normally, Export-Import balance is on the positive side but in lockdown time (2020 March, April, May, June, and July) this balance turned negative sharply. Figure 7 shows how big this rotation is in Dollar value.

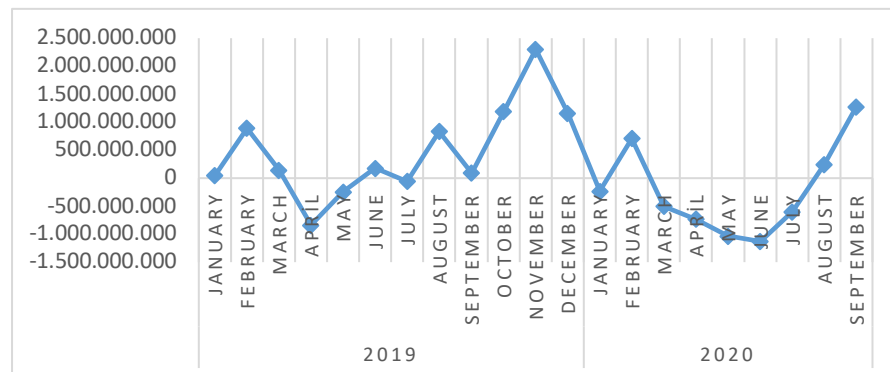


Figure 7. Export – Import value for Wheat (Source: US Depart. of Agriculture, 2021)

#### 4. Discussion and Managerial Implications

With COVID-19, which affected the whole world, there has been an unexpected demand, especially in food and hygiene products, in many countries. With the distress in the supply chains and the decrease in supply, there has been panic buying and hoarding behaviour. Especially during the quarantine periods, there was a shortage of staple food, canned goods and flour in the markets.

A roadmap will be presented to identify the impacts in both countries and to see how they are dealing with a pandemic. For this purpose, five experts from different companies with at least ten years of work experience in the food sector and three academicians working on the subject were chosen. The detailed information about experts is given in Table 5.

Table 5. Information about Experts

Expert	Position	Experience	Gender
1	Food Engineer	11	Male
2	Supply Chain Department Manager	18	Male
3	Logistics Manager	10	Female
4	Food Engineer	12	Male
5	Logistics Manager	15	Female

Open-ended questions were asked to experts working in different departments of the agricultural food sector. Experts were asked to evaluate the current situation in terms of suppliers, producers and consumers. Again, in case the pandemic continues, the same experts have been asked for possible problems and solutions to be encountered in the future.

Current problems identified in line with the answers and comments from experts;

- The measures taken during the isolation periods had negative effects on the labour supply, especially in the food sector. Although the continuity of the sector is mandatory, unfortunately it is not possible to work from home.
- The stopping or slowing down of production in the food sector creates two important problems. If the production factory closes or employees seek unpaid leave, the people working in the factories suffer economic hardship. However, the real problem is that if the place of production is infected, all people are at risk.
- Factories producing agricultural food are the first to protect the health of the employee. In this way, both the permanent source of production income and sufficient workforce are provided. During the pandemic period, it is important to protect and maintain the health of people working in the food supply chain.
- Incentives should be organized in order to increase production by keeping employees at work.
- It is necessary to work with multiple and new suppliers to meet the demand arising from the sudden increase and fluctuations in demand.
- Changing consumption habits during the pandemic period should review the product change decision of many farmers and producers.
- In addition to production, it is another important issue to ensure the flow of all logistics channels throughout the food supply chain. All stakeholders must be equally careful in order to maintain the flow of food throughout the supply chain and to meet consumer demands.
- Many agricultural products in Turkey is due to seasonal workers living in different regions. Concerns continue due to the pandemic, and finding workers can be more and more difficult. As workers' wages are already a major cost factor for agriculture and food wages, COVID-19 will further strain the agri-food economy.
- Manufacturing companies will need to restructure their production lines with flexible and agile models suitable for the pandemic instead of existing static optimization models.
- With COVID-19, a great increase has been observed in e-commerce purchases in the food sector. Manufacturer and retail companies should definitely focus on in e-commerce strategies.

## 5. Conclusion

The COVID-19 pandemic, which has affected the world, has had positive and negative effects at different stages of production supply chains. However, the difference of the agricultural food sector from other sectors is that it produces products that are necessary for daily life. During the COVID-19 pandemic, which has affected the whole world, especially the supply chains of the agriculture and consequently the food sectors have deeply affected. The measures taken against the pandemic caused changes in the supply chain structures and changes in consumer demand led to major demand shocks.

This study consists of three important contributions. First, studies on food supply chains affected by pandemics will be examined in the literature. Then, using real statistical data related to COVID-19 process, Turkey and the

United States, is to analyse the general situation of the food supply chain. Lastly, a roadmap will be presented to determine how both countries should deal with the pandemic, by consulting experts on the agri-food supply chain.

Although vaccines are being introduced, the exact end date of the pandemic is uncertain. The impact of this uncertainty on the food supply chain can take many years. In addition, with the end of the pandemic, the possibility that the demand will never return to pre-pandemic levels should be considered.

This pandemic with an uncertain end date showed us that no model used in the past is suitable for the new situation. Therefore, taking into account that the pandemic will continue for many years, the company needs to remodel all the supply chain stages according to the new order, more flexible, agile and. We should not forget that in pandemic times, consumers' access to healthy food is as important as access to food.

### Contribution of Researchers

Both Esra Ekinci and Yucel Ozturkoglu designed and gave contribution the Introduction, Conclusion, Discussion

### Conflict of Interest

The authors declared that there is no conflict of interest.

### References

- Abiral, B., & Atalan-Helicke, N. (2020). Trusting food supply chains during the pandemic: reflections from Turkey and the US. *Food and Foodways*, 28(3), 226-236. doi: <https://doi.org/10.1080/07409710.2020.1790147>
- Chowdhury, M. T., Sarkar, A., Paul, S. K., & Moktadir, M. A. (2020). A case study on strategies to deal with the impacts of COVID-19 pandemic in the food and beverage industry. *Operations Management Research*, 1-13. doi: <https://doi.org/10.1007/s12063-020-00166-9>
- Elleby, C., Domínguez, I. P., Adenauer, M., & Genovese, G. (2020). Impacts of the COVID-19 pandemic on the global agricultural markets. *Environmental and Resource Economics*, 76(4), 1067-1079. doi: <https://doi.org/10.1007/s10640-020-00473-6>
- Hobbs, J. E. (2020). Food supply chains during the COVID-19 pandemic. *Canadian Journal of Agricultural Economics/Revue canadienne d'agroeconomie*, 68(2), 171-176. doi: <https://doi.org/10.1111/cjag.12237>
- Kayabaşı, E. T. (2020). Covid-19'un tarımsal üretime etkisi. *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 7(5), 38-45.
- Kumar, S., & Chandra, C. (2010). Supply chain disruption by avian flu pandemic for US companies: a case study. *Transportation Journal*, 49(4), 61-73. doi: <https://doi.org/10.1109/EMR.2016.7448786>
- Luckstead, J., Nayga Jr, R. M., & Snell, H. A. (2020). Labor Issues in the Food Supply Chain Amid the COVID-19 Pandemic. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 43(1), 382-400. doi: <https://doi.org/10.1002/aep.13090>
- Nikolopoulos, K., Punia, S., Schäfers, A., Tsinopoulos, C., & Vasilakis, C. (2020). Forecasting and planning during a pandemic: COVID-19 growth rates, supply chain disruptions, and governmental decisions. *European Journal of Operational Research*, 290(1), 99-115. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.08.001>
- OECD. (10 June 2020). Global economy faces tightrope walk to recovery. Retrieved on 21 October 2020 from <http://www.oecd.org/newsroom/global-economy-faces-a-tightrope-walk-to-recovery.htm>
- Orden, D. (2020). Resilience and Vulnerabilities of the North American Food System during the Covid-19 Pandemic. *EuroChoices*, 19(3), 13-19. doi: <https://doi.org/10.1111/1746-692X.12273>
- Rizou, M., Galanakis, I. M., Aldawoud, T. M., & Galanakis, C. M. (2020). Safety of foods, food supply chain and environment within the COVID-19 pandemic. *Trends in Food Science & Technology*, 102, 293-299. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.06.008>

- Rowan, N. J., & Galanakis, C. M. (2020). Unlocking challenges and opportunities presented by COVID-19 pandemic for cross-cutting disruption in agri-food and green deal innovations: Quo Vadis? *Science of the Total Environment*, 748, 141362. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141362>
- Seleiman, M. F., Selim, S., Alhammad, B. A., Alharbi, B. M., & Juliatti, F. C. (2020). Will novel coronavirus (Covid-19) pandemic impact agriculture, food security and animal sectors?. *Bioscience Journal*, 36(4). doi: <https://doi.org/10.14393/BJ-v36n4a2020-54560>
- TUIK (2020) Retrieved December 18 2020 from <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=37257&dil=2>
- US Depart. of Agriculture, “National Agricultural Statistics Service” Retrieved January 05 2021 from [https://www.nass.usda.gov/Statistics\\_by\\_Subject/index.php?sector=CROPS](https://www.nass.usda.gov/Statistics_by_Subject/index.php?sector=CROPS)
- US Depart. of Agriculture, “National Agricultural Statistics Service”, Retrieved January 05 2021 from <https://www.ers.usda.gov/data-products/wheat-data/>
- Wognum, P. N., Bremmers, H., Trienekens, J. H., van der Vorst, J. G., & Bloemhof, J. M. (2011). Systems for sustainability and transparency of food supply chains—Current status and challenges. *Advanced engineering informatics*, 25(1), 65-76. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2010.06.001>
- World Health Organization. (27 April 2020). Archived: WHO timeline - Covid19. Retrieved on 21 October 2020 from <https://www.who.int/news/item/27-04-2020-who-timeline---covid-19>
- World Meters (2021). Retrieved January 8, 2021, from <https://www.worldometers.info/coronavirus/>
- Zavvar Sabegh, M. H., Mirzazadeh, A., Maass, E. C., Ozturkoglu, Y., Mohammadi, M., & Moslemi, S. (2016). A mathematical model and optimization of total production cost and quality for a deteriorating production process. *Cogent Mathematics*, 3(1), 1264175. <https://doi.org/10.1080/23311835.2016.1264175>
- Zhu, G., Chou, M. C., & Tsai, C. W. (2020). Lessons learned from the Covid-19 pandemic exposing the shortcomings of current supply chain operations: A long-term prescriptive offering. *Sustainability*, 12(14), 5858. doi: <https://doi.org/10.3390/su12145858>



# Journal of Turkish Operations Management

## Afet lojistiğinde üç aşamalı karma tamsayılı bir model önerisi

Hüseyin Soyöz<sup>1\*</sup>, Bahar Özyörük<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Endüstri Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara

e-mail: huseyin.soyoz@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-4885-6217>

<sup>2</sup>Endüstri Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara

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

\*Sorumlu Yazar

### Makale Bilgisi

#### Makale Geçmişi:

Geliş: 11.04.2021

Revize: 04.05.2021

Kabul: 05.05.2021

### Anahtar Kelimeler:

Afet lojistiği  
İnsani yardım lojistiği  
Karma tamsayılı programlama

### Özet

Dünyada ve Türkiye’de afet nedeniyle hayatını kaybeden insanların sayısı günden güne artmaktadır. Ölen insanların bir kısmı afet esnasında bir kısmı ise afet sonrasındaki yetersizlikler sebebiyle hayatını kaybetmektedir. Bu sebeple afet öncesinde yapılan ve sonrasında yapılacak işlemlerin önceden planlanması önemli bir konu haline gelmiştir. Bu konu ile ilgili olarak araştırmacılar son yıllarda afet lojistiği üzerinde durmaktadırlar. Afet lojistiğinin aşamaları afet öncesi hazırlık, afet müdahale süreci ve müdahale sonrası lojistik faaliyetler şeklindedir. Bu çalışmada afet sonrasında kriz alanındaki insanların barınaklara ve sağlık merkezlerine taşınması, aynı zamanda tedarikçilerden depolar vasıtasıyla barınaklarda bulunan insanlara zaruri ihtiyaçlarını sağlık merkezinde bulunan insanlara ise zaruri ihtiyaçlarını ve sağlık malzemelerini taşınmasını sağlamak üzere üç aşamalı karma tamsayılı bir matematiksel model önerilmiştir. Bu matematiksel model küçük bir veri seti ile test edilerek sonuçları paylaşılmıştır.

## A three-stage mixed integer model proposal in disaster logistics

### Article Info

#### Article History:

Received: 11.04.2021

Revised: 04.05.2021

Accepted: 05.05.2021

### Keywords:

Disaster logistic  
Humanitarian logistic  
MILP

### Abstract

The number of people who died because of disasters in the world and Turkey is increasing day by day. Some of the people who died die during the disaster, and some of them die due to inadequacies after the disaster. For this reason, it has become an important issue to plan the actions before and after the disaster. Regarding this issue, researchers have focused on disaster logistics in recent years. The stages of disaster logistics are pre-disaster preparedness, disaster response process and post-response logistics activities. In this study, a 3-stage mixed integer mathematical model is proposed to transport people in crisis areas to shelters and health centers after disasters, as well as to provide the necessary needs and health supplies to people through warehouses from suppliers. This mathematical model was tested with a small data set and the results were shared.

## 1. Giriş

Fiziksel, ekonomik ve sosyal kayıplar meydana getiren normal yaşamı ve insan faaliyetlerini durdurarak veya kesintiye uğratarak toplulukları etkileyen mevcut hizmet sistemlerinin kilitlendiği, kaynakların yetersiz kaldığı, doğal ve insan kökenli olaylara afet denir.

Dünya’da her yıl milyonlarca insan doğal afetler sebebiyle hayatını kaybetmektedir. Ölen insanların bir kısmı afet anında bir kısmı ise afet sonrasında yetersizlik sebebiyle yaşamını yitirmektedir. Bu sebeple hem uluslararası platformlarda hem de ülkelerin kendi bünyelerinde oluşturdukları vakıflar ve dernekler kurulmakta ve bu kurumlar afet anında, afet sonrasında ne gibi planlamalar yapılabilir sorusu üzerine cevaplar aramaktadırlar. Sadece kurumlar değil aynı zamanda afet üzerine çalışan uzmanlar, araştırmacılar, analistler devlet görevlileri, akademisyenler afet üzerine detaylı çalışmalar yapıp hem kendi ülkelerine hem de diğer ülkelere bu anlamda katkı vermektedirler.

Son yıllarda meydana gelen depremler, tsunamiler, seller, fırtınalar, kasırgalar vb. araştırmacıların bu alanlara olan katılımını daha da artırmıştır. Afetlerde can, mal kaybını önlemek için afet yönetimi önemlidir. Afet yönetiminin sağlanmasında afet lojistiğinin katkısı yadsınamazdır. Afet lojistiğinin aşamaları afet öncesi hazırlık, afet müdahale süreci ve müdahale sonrası lojistik faaliyetler şeklindedir. Yapılan araştırmalara göre katılımcılar afet öncesinde; afet anında yapılabilecekler önceden hazırlık yapmak adına bazı planlamalar yapmaktadırlar. Özellikle yine araştırmacılar afet sonrasında ölen ve yaralanan kişi sayısını azaltmak, var olan enkazı bir an önce ortadan kaldırmak ve çeşitli kayıpları önlemek adına planlamalar yapmaktadırlar.

Afet sonrasında yapılan planlamaların en önemli ayağını ise kriz alanlarından insanların tahliyesi, insani yardım malzemelerinin dağıtımı, personel dağıtımının yapılması, gerekli yerlere depo ve yardım çadırlarının kurulması, yaralıların sağlık merkezlerine taşınması vb. durumlar oluşturmaktadır. Çalışmaya ait ikinci bölümde afet lojistiği ile ilgili yapılan çalışmalar detaylı bir şekilde verilmiş olup üçüncü bölümde probleme ait 4 seviyeli ve 3 aşamalı bir karma tamsayı matematiksel model formüle edilmiştir. Dördüncü bölümde ise formüle edilen matematiksel model küçük ölçekli bir veri seti ile test edilmiş ve sonuçları paylaşılmıştır. Beşinci bölümde ise afet lojistiğinin önemi, çalışmanın oluşturmuş olduğu katkılardan bahsedilerek gelecek çalışmalara değinilmiştir.

## 2. Bilimsel Yazın Taraması

Afet lojistiği son dönemlerde özellikle afetten ölen kişi sayısının fazla olması sebebiyle literatürde üzerinde durulan konular arasında yer almaktadır. Afet lojistiğinin olay bazlı ve dinamik olması gerekmektedir. Çünkü her afet, türü, şiddeti, meydana geldiği zaman ve coğrafya ile o yerin hassasiyetine bağlı olarak çok farklı özelliklere sahip olduğundan afet lojistiği, günümüzde üzerinde sürekli çalışılan bir alan olup, yeni yaklaşımların geliştirilmesi gereken bir konudur. Yapılan çalışmaların kapsamı aşağıda verilmiştir.

Örneğin Barbarosoğlu ve Arda (2004) acil müdahale sırasında hayati öneme sahip malların felaketten etkilenen alanlara taşınmasını planlamak için iki aşamalı bir stokastik programlama modeli önermiştir. Bir kentsel ulaşım ağı üzerinden malzeme akışını tanımlamak için çok ürünlü, çok modlu bir ağ akış formülasyonu geliştirmişlerdir. Özdamar ve diğ. (2004) doğal afet lojistiği karar destek sistemine entegre edilecek bir planlama modeli geliştirmiştir. Model, devam eden yardım teslimatı sırasında belirli zaman aralıklarında tekrar çözülmesi gereken dinamik zamana bağlı taşıma problemini ele almaktadır.

Massaguer ve diğ. (2006) bilgi teknolojisinin, acil müdahale sırasında insanların edindiği bilgi kalitesini ve miktarını iyileştirme potansiyeline sahip olduğuna vurgu yaparak DrillSim adı verilen çok aşamalı benzetim programı hedeflenen amaç için kullanılmıştır. Günneç ve Salman (2007) ise çalışmalarında etkili afet sonrası acil durum lojistiği için afet öncesi planlamada çok tesisli bir yer problemi için iki aşamalı çok kriterli bir stokastik programlama modeli sunmuştur. Modelde acil müdahale ve dağıtım merkezlerinin yerlerinin seçimi hem felaket öncesi depolama hem de arama kurtarma ekipleri, sağlık ekipleri, yiyecek, su, ihtiyaç maddeleri ve makine gibi ürünlerin felaket sonrası nakliyesi için göz önünde bulundurulmaktadır.

Lee ve diğ. (2009) ise yardım malzemelerinin tedarik zincirinin ve dağıtım operasyonlarının simüle edildiği afet müdahale için bir modelleme çerçevesi geliştirmiş ve yardım malzemelerinin çeşitli dağıtım noktalarına optimum şekilde taşınması için analitik test yapmışlardır. Afet müdahalesine ilişkin simülasyon modeli, yardım malzemelerinin tedarik zincirini, dağıtım işlemlerini, talebin dinamiklerini ve felaketin ilerlemesini durumunu içermektedir. Ablanado-Rosas ve diğ. (2009) Meksika’daki Hidalgo eyaletindeki afet yönetimi aşamalarıyla ilgilenmişlerdir. Tüm belediyelerin en yakın merkeze 55 kilometre mesafedeki bir şekilde eyalet çapında acil durum / kurtarma merkezlerini tahsis etmek için bir proje üzerinde çalışmışlardır. Problem küme kaplama problemi olarak modellenmiştir. Analizler sırasında nüfus, devlet ekonomisine katılım, hekimlerin bulunabilirliği ve kilometrelerce yol dahil farklı özellikler modele eklenmiştir.

Lu ve diğ. (2009), daha önce hazırlamış oldukları büyük ölçekli acil sağlık merkezi konum modeli için karınca kolonisi algoritması geliştirilmiştir. Huang ve diğ. (2010) P-merkezi probleminde, bir düğümde yer alan tesisin düğümden kaynaklanan taleplere cevap verdiği varsayılmıştır. Ancak çalışmada bu problemin şehirdeki acil durumlarda işlevsiz hale gelebileceği düşünülmüş ve bahsi geçen koşullarda uygun olmadığı tespit edilmiştir. Bu sebeple problem bir düğümdaki tesisin cevap veremediği ek bir varsayımla p-merkezi probleminin bir çeşidi olarak geliştirilmiştir.

Campbell ve Jones (2011) bir felakete hazırlanırken sarf malzemelerinin nereye yerleştirileceği kararını incelemiştir. Bu sebeple bir maliyet modeli geliştirilmiştir. Model stok miktarına da karar vermektedir. Aynı zamanda çalışmada modeldeki parametrelerin değişiminde hangi değişikliklerin olacağına dair duyarlılık analizi yapılmıştır. Duran ve diğ. (2011) felaket sonrasında enkaz altında kalan veya benzeri durumlara maruz kalan kişilere çoğunlukla insani yardım kuruluşları yardım ettiğine vurgu yapmışlar ve çalışmalarında CARE adlı insani yardım kuruluşunun acil müdahale süresini minimize etmek için bir model geliştirmişlerdir. Modelin sonuçları kuruluş ile paylaşılmış ve ön konumlandırma ağını oluşturmada kullanılmıştır.

Görmez ve diğ. (2011) yakın gelecekte büyük çapta yıkıcı bir deprem olması beklenen İstanbul şehrinde afet müdahalesi ve yardım tesislerinin belirlenmesi probleminde değinmişlerdir. Modelde açılan tesis sayısını ve talep noktaları ile tesisler arasındaki mesafeyi minimize etmek amacıyla iki aşamalı bir dağıtım sistemi kullanılmıştır. Günneç ve Salman (2011) felaket durumunda, belirli bir ulaşım ağının işlevselliğini değerlendirmek için muhtemel bağlantı ölçütlerini ve kritik varış noktası çiftleri arasında beklenen seyahat süresini / mesafesini değerlendirilmişlerdir. Bağlantı başarısızlıkları arasındaki bağımlılık modellenmiştir ve felaketin ağ üzerindeki etkisini içeren yeni bir bağımlılık modeli önerilmiştir. İstanbul karayolu sisteminin deprem riski altındaki bir örnek çalışması sunulmuştur.

Vitoriano ve diğ. (2011) afet sonrasında bir yardım dağıtım problemi için çeşitli kriterler önerilmiş ve bununla ilgili çok kriterli bir optimizasyon modeli sunmuşlardır. Bu model, insani yardımın dağıtımından sorumlu kuruluşlara yardımcı olmak üzere geliştirilmekte olan bir karar destek sisteminin özü olarak kabul edilmiştir. Verma ve Gaukler (2011) felaket müdahale tesislerinin seçimi için iki aşamalı stokastik bir model önermişlerdir. Kaliforniya eyaleti için deprem müdahale tesisinin bulunduğu yer için bir vaka incelemesi sunulmuştur. Döyen ve ark (2012) afet öncesi ve sonrası kurtarma merkezleri için kararların alındığı insani yardım lojistik problemi için iki aşamalı stokastik bir programlama modeli geliştirmişlerdir. Modelin deterministik eşdeğeri karma tamsayı bir doğrusal programlama modeli olarak formüle edilmiş ve Lagrange'ın gevşemesini esas alan bir sezgisel yöntemle çözülmüştür.

Galindo ve Batta (2013) depolanan sarf malzemelerinin imha edilmesine izin verilen felaketlerde sarf malzemelerinin ön hazırlığı için bir model sunmuşlardır. Modelde talebin stokastikliği dikkate alınmıştır. Sonuç olarak, önceden konumlandırılmış sarf malzemelerinin yerini ve depolama seviyesini veren bir tam sayı programlama modeli sunulmuştur. Lu (2013) etkilenen bölgelerden gelen talepleri ve etkilenen bölgeler arasındaki seyahat süreleri dikkate alarak, kesin tahminlerinin bulunmadığı, hızlı başlangıçlı doğal afetlere yanıt veren acil bir lojistik dağıtım sistemine yardım dağıtım merkezlerini atamak için bir model önerilmiştir.

Garrido ve diğ. (2015) karar vericilere sel olaylarında acil durum lojistiğinde yardımcı olacak bir model sunmuşlardır. Model, belirli bir olasılıkla talepleri karşılamak için yeterli malzemeleri sağlamak amacıyla acil durum malzemelerinin envanter seviyelerini ve araçların uygunluğunu optimize etmeye çalışmaktadır. Hong ve diğ. (2015) belirsiz talep ve taşıma kapasiteleri altında afet öncesi bir yardım ağı tasarımı problemi için riskten kaçınan stokastik bir modelleme yaklaşımı sunmuşlardır. Müdahale olanaklarının boyutları ve konumları ve her tesiste bulunan tahliye sarf malzemelerinin envanter seviyeleri, belirli bir ağ güvenilirliği seviyesinde belirlenmiştir.

Salman ve Yücel (2015) altyapıya, özellikle de otoyollara ve yollara verilen hasarın, afet bölgelerine ulaşılabilirliği olumsuz yönde etkilediğine dikkat çekmişlerdir. Bu sebeple her bir talep noktası için, her bir potansiyel arz noktasından bir dizi alternatif yol oluşturulmuştur, böylece sağlam olan en kısa yol felaketten sonra ulaşım için kullanılacaktır. Amaç, tüm olası ağlarda beklenen talep değerini belirli bir mesafe içerisinde maksimize etmektir. Hu ve diğ. (2017) afet öncesi envanter seviyesi ve afet sonrası satın alma miktarına ilişkin kararları insani yardımı tedarikçi seçimi ile entegre etmek için iki aşamalı bir stokastik programlama modeli sunmuşlardır. Modelde, teslim süresi indirimi, iade fiyatı gibi özellikler de göz önünde bulundurulmuştur.

Babaei ve Shahanaghi (2017) belirsiz koşullar altında kaynak dağıtım tesisleri için çok amaçlı bir model sunmuşlardır. Talebin belirli olmadığı göz önünde bulundurulmuş ve bulanık mantık yaklaşımı dikkate alınmıştır. Manopiniwes ve Irohara (2017) felaket öncesi ile sonrası operasyonlarda hazırlık/müdahale aşamalarında entegre kararlar için tesis ve stok ön hazırlığını, tahliye planlamasını ve araç planlamasını dikkate alan stokastik bir karma-tamsayı programlama modeli önermişlerdir.



Jha ve diğ. (2017) doğal afet durumunda bir yardım ürünleri tedarik zincirini ve tahliye zincirini içeren insani yardım zincirini modellemişlerdir. Yardım zinciri, tahliye zinciri ve genel lojistik maliyetler göz önünde bulundurulmuştur. Tedarik zinciri tedarikçiler, yardım kampları ve etkilenen bölgeler olarak ele alınmıştır. Safaei ve diğ. (2018) kriz yönetiminde en önemli konulardan birinin kriz durumlarının dinamik ortamında doğru türde/ miktarda yardım malzemesi temin etmek ve sunmak olduğuna dikkat çekmişlerdir. Bu kapsamda lojistik operasyonlar için entegre bir çerçeve tasarlamak amacıyla iki amaçlı bir optimizasyon modeli sunulmuştur.

Torabi ve diğ. (2018) felaket öncesi ve sonrasında yaşananları göz önünde bulundurmışlardır. Belirsiz verilerin varlığı altında entegre yardım, ön-konumlandırma ve tedarik planlaması için iki aşamalı yeni bir senaryo bazlı karma bulanık stokastik programlama modeli önermişlerdir. Çalışmada modeldeki parametrelerin değişikliği durumunda amaç fonksiyonunun nasıl etkilendiğine yönelik duyarlılık analizi yapılmıştır. Li ve diğ. (2018) insani yardım zinciri yönetimindeki afet ve zorlukların artan risklerini göz önünde bulundurmuş ve insani yardım zinciri lojistiğindeki genel yapıyı incelemişlerdir. Çalışmada etkilenen nüfusun felaket bölgesindeki faydalarını en üst seviyeye çıkarmak için bütçe ile ilgili azami iş birliğine dayalı kaplama modeli geliştirmeye odaklanılmıştır. Felaket bölgelerinin talebinin tam olarak tahmin edilemediğine dikkat çekilmiş olup talep belirsizliği modele dahil edilmiştir.

Mohamadi ve diğ. (2019) insani yardım lojistiğinde, tahliyeler için güvenli bir yer sağlamanın, yardım ürünlerini tedarik etmenin ve afet sırasında hızlı iletişim için uygun bir telekomünikasyon altyapısı tasarlanmasının önemine dikkat çekmişlerdir. Bu sebeple, barınakların, yardım dağıtım merkezlerinin ve telekomünikasyon kulelerinin konumuyla ilgili bulanık mantık temelli optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Hasani ve Mokhtari (2019) insani yardım lojistiği yönetimi amaçlarına dayalı olarak insani envanter gruplama problemine yeni bir yaklaşım önermişlerdir. Önerilen model eş zamanlı olarak envanter gruplarının sayısını ve karşılık gelen servis seviyelerini, yardım malzemelerinin gruplara atanmasını, yardım tesislerinin bulunduğu yer ve yardım hizmetlerinin atanmasını optimize etmektedir. Öksüz ve Satioğlu (2020) ise çalışmalarında afet sonrasında yaralıların tahliyesi için triyaj sınıflandırmasını da göz önünde bulundurarak iki aşamalı stokastik bir model oluşturmuşlardır. Modeli doğrulamak için farklı deprem senaryoları üzerinde çalışarak İstanbul için bir örnek oluşturmuşlardır. Afet sonrasında hastane kapasitelerinin yetersiz kaldığını belirterek bu konuda alınacak önlemlere dikkat çekmişlerdir.

Yenice ve Samanlıoğlu (2020) deprem yardım ağının öncelikle yardım malzemelerinin depolanması ve ihtiyacı olan insanlara dağıtılmasını içerdiğine dikkat çekmişlerdir. Bu sebeple, deprem yardım ağının bir kısmını yapılandırmak için İstanbul Kadıköy Belediyesinde yeni bir stokastik çok amaçlı karışık tamsayı matematiksel model geliştirilmiş ve uygulamışlardır. Modelin amacı, karar vericilerin depolama yerlerinin seçimi konusunda karar vermelerine yardımcı olmaktır. Önerilen model beklenen toplam dağıtım mesafesini, deprem hasar risk faktörünü ve karşılanamayan talebin minimizasyonunu amaçlamaktadır. Aynı zamanda modelde depolama alanı kapasitesi ve kapsama mesafesi kısıtları da göz önünde bulundurulmuştur.

Monzón ve diğ. (2020) afet öncesi bir İnsani Lojistik modelinde; yardım dağıtım merkezlerinin önceden konumlandırılmasını ve yol güzargahlarının güçlendirilmesini optimize ederek, mümkün olduğunca afetten etkilenen nüfusun verimli bir şekilde yardım alabilmesini sağlamayı amaçlamıştır. Model, stokastik olup, afetten etkilenen merkezlerdeki taleplerin ve ulaşım ağının durumunun rastgele olduğu düşünülmüştür. Metodoloji, Mozambik'teki Nampula Eyaletini vuran 2018 fırtına sistemine dayanan gerçek dünya vaka çalışmasına uygulanmıştır.

Cao ve diğ. (2021) büyük ölçekli doğal afetlerin ardından, arz kıtlığının ve adaletsiz dağılımın insani yardım tedarik zincirleri performansını olumsuz yönde etkilediğine ve afet sonrasında çok önemli bir planlamada karmaşıklık, tedarik belirsizliği, hiyerarşik kararlar nedeniyle optimal bir sonuca ulaşmanın zorluğuna vurgu yapmışlardır. Çalışmalarında çok önemli, çok ürünlü bir tedarik zinciri yapısı ele alınmış olup karşılanmayan talep oranını, atıklar sebebiyle doğan çevresel riskleri ve acil durum maliyetlerini minimize eden 3 amaçlı ve 2 aşamalı stokastik tamsayı programlama modeli formüle etmişlerdir. Aynı zamanda önerilen modeli değerlendirmek için Menchuan depreminden elde edilen verileri kullanan bir vaka çalışması sunulmuştur. Wang ve diğ. (2021) yardım malzemelerinin önceden konumlandırılması için yanal aktarma fırsatlarını değerlendirirken afetlerdeki belirsizlikleri de odaklanmışlardır. Ele aldıkları problem belirsiz taleplerin üstesinden gelmek için, yardım tesislerinin yerleri ve yardım malzemelerinin talep düğümlerine dağıtımına aynı anda karar veren iki aşamalı bir stokastik programlama modeli olarak formüle edilmiştir., değerlere ve alanlara sahip birden çok malzeme türü araştırılır. Gelişmiş iki aşamalı stokastik programlama modelini göstermek için Güneydoğu Amerika Birleşik Devletleri'nin Meksika Körfezi bölgesinde kasırga tehditlerini ele alan bir vaka çalışması yapılmıştır.

Zhan ve diğ. (2021) afet yardımı ile ilgili lojistik problemler üzerine son on yılda artan araştırma konularına odaklanmışlardır. Bu problemlerin ortak noktasının, sınırlı yardım tedarikleri ve rastgele artan yardım talepleri nedeniyle afet sonrası lojistik operasyonlarda her zaman talep-arz uyumsuzluğunun gözlemlenmesi olarak

belirlemişlerdir. Bu gibi durumlarda, karar vericinin eş zamanlı olarak toplam yardım taleplerini karşılayamayacağına vurgu yapmışlardır. Bu sebeple çalışmalarında, geleneksel afet yardımı lojistiği eylemlerinin (örneğin, araçların yönlendirilmesi ve yardım tahsisi) yerini talep noktası konumunu ve atamasını içeren periyodik, sıralı eylemlerin yer aldığı yeni bir karar verme çerçevesi kullanmışlardır. Sıralı olan bu yaklaşım, karar vericinin her talep noktasına, talepleri derhal veya daha sonra tedarik edip yardım sağlayıcılarına atayıp atamayacağına karar vermesine izin verir, bu da sonraki dönemdeki kararı sırayla etkiler. Bu problem için parçacık sürüsü optimizasyon algoritması kullanılarak dinamik bir optimizasyon modeli oluşturulmuş ve bir vaka çalışması üzerinde test edilmiştir. Vaka çalışmasının sonuçları, sıralı yaklaşımın avantajlarını göstermektedir.

Yukarıda anlatılan çalışmaların yöntemlerine ait özel bilgi Tablo 1’de sunulmuştur.

**Tablo 1.** Afet lojistiği için literatür araştırması

Yazar	Yıl	Yöntem	Amaç	Afet Aşaması	Rassallık
Barbarosoğlu ve Arda	2004	İki aşamalı stokastik programlama	Toplam ulaşım, elde tutma, yokluk ve beklenen kaynağın toplam maliyetinin minimizasyonu	Öncesi/Sonrası	Stokastik
Özdamar ve diğ.	2004	Lagrange gevşeme tabanlı algoritma, Açgözlü sezgisel	Zaman içinde karşılanamayan talep miktarının minimizasyonu	Sonrası	Stokastik
Massaguer ve diğ.	2006	Çok aşamalı benzetim	Tahliye süresinin minimizasyonu	Sonrası	Stokastik
Günneç ve Salman	2007	İki aşamalı çok kriterli stokastik programlama, hedef programlama modeli	Bölgeye ulaşmak için beklenen ağırlıklı sürenin, açık tesislerin konumlarıyla ilişkili ortalama riskin, toplam ağırlıklı karşılanmamış talebin, beklenen toplam tesis maliyetinin ve stokta tutma maliyetinin minimizasyonu	Öncesi/Sonrası	Stokastik
Lee ve diğ.	2009	Kesikli Olay Benzetimi	Yardım malzemelerinin en uygun şekilde dağıtımı	Öncesi/Sonrası	Stokastik
Ablanedo-Rosas ve diğ.	2009	Set Kaplama Modeli	Belediyeler ve acil durum merkezleri arasındaki seyahat mesafelerinin minimizasyonu	Sonrası	Deterministik
Lu ve diğ.	2009	Maksimal Kaplama Modeli, Karınca Koloni Algoritması	Farklı kalite seviyelerinde yeterli miktarda tesisin karşıladığı talepleri maksimizasyonu	Sonrası	Deterministik
Huang ve diğ.	2010	P-center model, bir sezgisel algoritma	Bir düğüm ve mevcut en yakın tesisi arasındaki maksimum ağırlıklı mesafenin minimizasyonu	Sonrası	Stokastik
Campbell ve Jones	2011	Maliyet modeli, duyarlılık analizi	Sipariş verme, elde tutma, ulaşım, yokluk için beklenen toplam maliyetin minimizasyonu	Öncesi	Stokastik
Duran ve diğ.	2011	Stokastik programlama, benzetim	Ortalama tepki süresinin minimizasyonu	Öncesi	Stokastik
Görmez ve diğ.	2011	Tamsayı programlama	Açılan tesis sayısının, talep noktaları arasındaki mesafenin minimizasyonu	Öncesi	Deterministik
Günneç ve Salman	2011	Polinom zaman algoritması, monte carlo benzetim algoritması	Afet riski altında bir ağın beklenen performansı ve güvenilirliğini değerlendirmek.	Öncesi/Sonrası	Stokastik

Vitoriano ve diğ.	2011	Hedef programlama	Nitelik maliyetlerinin minimizasyonu	Sonrası	Deterministik
Verma ve Gaukler	2011	İki aşamalı stokastik programlama	Tesis ve talep noktaları arasında mesafenin minimizasyonu	Sonrası	Stokastik
Döyen ve diğ.	2012	İki aşamalı stokastik programlama, Lagrange gevşeme tabanlı Sezgisel	Toplam ulaşım, elde tutma, yokluk maliyeti ile tepki süresinin minimizasyonu	Öncesi	Stokastik
Galindo ve Batta	2013	Stokastik programlama, Aggregation sezgiseli	Tesisin, ulaştırma, tahrip olmuş malzemelerin beklenen toplam maliyetlerinin minimizasyonu	Öncesi	Stokastik
Lu	2013	P-center model, Tavlama benzetimi	Maksimum tepki süresinin minimizasyonu	Sonrası	Stokastik
Garrido ve diğ.	2015	Stokastik programlama, Örnek ortalama yaklaşım sezgiseli, karma tam sayılı programlama	Toplam taşıma ve ulaştırma maliyetlerinin minimizasyonu	Öncesi/ Sonrası	Stokastik
Hong ve diğ.	2015	Risk-avers stokastik programlama, Gale-Hoffman eşitsizlikleri, karma tam sayılı programlama	Minimum beklenen toplam tesis, sipariş, ulaşım, yokluk maliyetlerinin minimizasyonu	Öncesi	Stokastik
Salman ve Yücel	2015	Stokastik programlama, tabu arama	Karşılanılan talep miktarının maksimizasyonu	Öncesi	Stokastik
Hu ve diğ.	2017	Stokastik programlama	Beklenen toplam stok, ulaşım ve tedarik maliyetlerinin minimizasyonu	Öncesi/ Sonrası	Stokastik
Babaei ve Shahanaghi	2017	Karma tam sayılı programlama, duyarlılık analizi, NSGA 2	Maliyet minimizasyonu, karşılanan talebin maksimizasyonu	Sonrası	Stokastik
Manopiniwes ve Irohara	2017	Karma tam sayılı programlama	Toplam ağ maliyetinin ve tepki süresinin minimizasyonu	Öncesi/ Sonrası	Stokastik
Jha ve diğ.	2017	Karma tam sayılı programlama, NSGA 3	Kampların kurulum maliyetlerinin, toplam tedarik maliyetinin, ulaşım maliyetlerinin ve kampta kalma maliyetinin minimizasyonu	Sonrası	Stokastik
Safaei ve diğ.	2018	Hedef programlama	Toplam operasyonel maliyetin ve karşılanmamış talep miktarının minimizasyonu	Sonrası	Stokastik
Torabi ve diğ	2018	Stokastik programlama, duyarlılık analizi	Tedarikçilerle sözleşme, stokta tutma, tedarik, dağıtım, karşılanamayan talebin maliyetinin	Öncesi/ Sonrası	Stokastik

			minimizasyonu		
Li ve diğ.	2018	Doğrusal olmayan programlama	Beklenen kaplamanın maksimizasyonu	Sonrası	Stokastik
Mohamadi ve diğ.	2019	Doğrusal olmayan programlama	Toplam seyahat mesafesinin minimizasyonu, toplam kaplamanın maksimizasyonu	Sonrası	Stokastik
Hasani ve Mokhtari	2019	Karma tamsayılı programlama	İnsani yardım lojistiğinin toplam maliyetinin ve karşılanamayan talebin minimizasyonu	Öncesi/Sonrası	Deterministik
Öksüz ve Satioğlu	2020	İki aşamalı stokastik programlama	Beklenen toplam taşıma maliyetinin minimizasyonu	Sonrası	Stokastik
Yenice ve Samanlıoğlu	2020	Stokastik çok amaçlı karma tamsayılı matematiksel model	Toplam dağıtım mesafesi, deprem hasar risk faktörünü, karşılanamayan talebin minimizasyonunu	Öncesi/Sonrası	Stokastik
Monzón ve diğ.	2020	İki aşamalı stokastik programlama	Yardım alan insan sayısını maksimizasyonu ve dağıtım süresinin minimizasyonu	Öncesi	Stokastik
Wang ve diğ.	2021	İki aşamalı stokastik programlama	Toplam maliyet minimizasyonu	Öncesi	Stokastik
Cao ve diğ.	2021	İki aşamalı stokastik programlama	Karşılanamayan talebin minimizasyonu, ulaşım ve afet atıklarının minimizasyonu, acil durum maliyetlerinin minimizasyonu	Sonrası	Stokastik
Zhan ve diğ.	2021	Karma tamsayılı programlama, Parçacık sürüsü optimizasyonu	Karşılanamayan toplam talebin minimizasyonu	Sonrası	Deterministik

### 3. Problemin tanımlanması

Bu çalışmada afet olarak deprem seçilmiş olup deprem sonrası afet lojistiği üzerinde durulmuştur. Problem, deprem olduktan sonra kriz alanlarındaki insanların barınak ve sağlık merkezlerine taşınmasını ve buna ek olarak bahsi geçen yerlerdeki insanların kişisel ve sağlık gereksinimlerini karşılamak üzere tedarikçilerden depolar aracılığıyla ilgili malzemelerin barınaklara ve sağlık merkezlerine aktarımını ele almaktadır. Bu problem aşağıdaki maddeleri kapsamaktadır.

- Kriz alanından barınak ve sağlık merkezlerine insanların tahliyesi vardır. Bu tahliye otobüs ve ambulanslar ile gerçekleştirilmektedir. Otobüs yaralı olmayan kişiler (ayakta tedavi görenler dahil) için kullanılırken, yaralıları için ambulans kullanılmaktadır.
- Sağlık merkezi ve barınaklar depolar aracılığıyla beslenmektedir.
- Depolar tedarikçilerden beslenmektedir.
- İki çeşit depo ve iki çeşit tedarikçi tasarlanmıştır. Bu şekilde tasarlanmasının sebebi sağlık ürünlerinin korunması için farklı teçhizatlara (örneğin kan için soğuk alanların olması gerekliliği) ihtiyaç olması sebebiyle sağlık ürünleri için belirlenen depoların diğer ürünlerin depolarından farklılık göstermesidir.

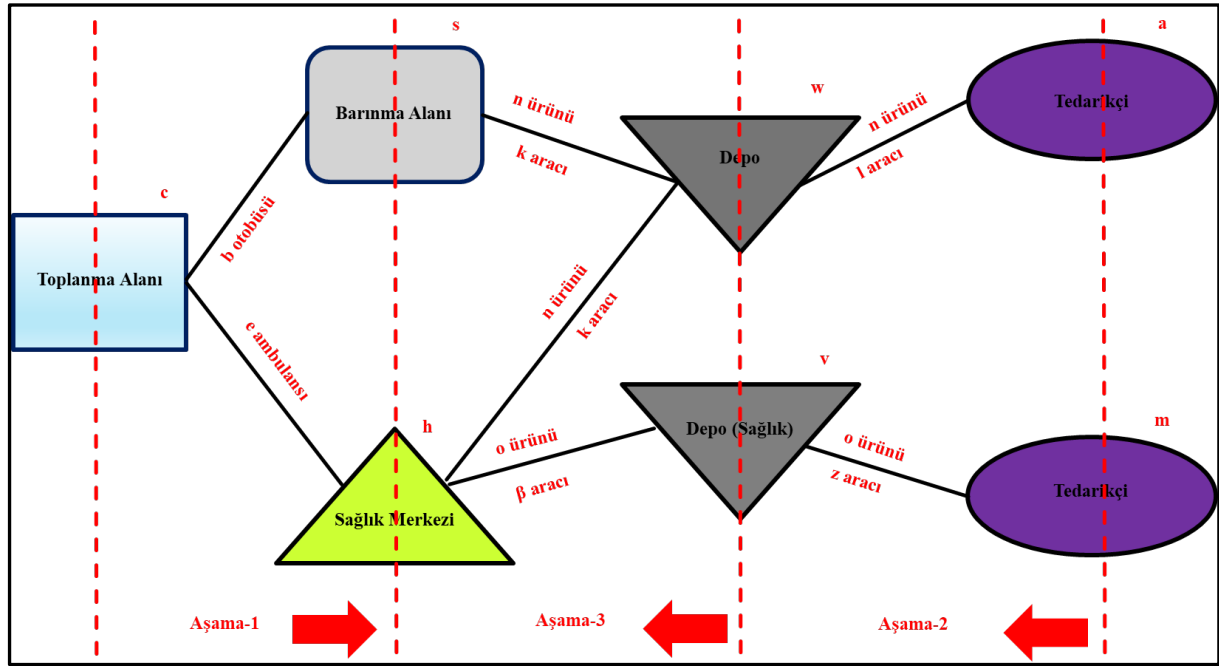
Problem için üç aşamalı bir yardım zincirinde çok amaçlı, çok dönemli ve çok ürünlü bir karma tam sayılı bir matematiksel model önerilmiştir.

Birinci aşamada deprem meydana geldikten sonra toplanma alanlarında bulunan insanların s barınma alanlarına ve h sağlık merkezlerine b otobüsü ve e ambulansları ile gönderilmesi ele alınmıştır. Aşama 1'de toplanma alanından gelen talebi karşılayacak biçimde barınak ve sağlık merkezi kapasitesini aşmadan en uygun maliyetle barınak ve sağlık merkezlerinin seçimi söz konusudur. Genel olarak aşama 1 barınak, sağlık

merkezi açılımından kaynaklı maliyetleri ve ambulans ile otobüs için harcanan toplam maliyetleri minimize etmeye çalışmaktadır.

İkinci aşamada hem yiyecek ve barınma ihtiyaçlarını sağlayacak a tedarikçisi hem de sağlık malzemelerini bulduran m tedarikçisi bulunmaktadır. A tedarikçilerinden sağlanan yiyecek ve barınma ihtiyaçlarını kapsayan n ürünleri w depolarına l aracı ile gönderilmektedir. Ayrıca m tedarikçilerinden sağlanan o sağlık malzemeleri z aracı ile v sağlık depolarına gönderilmektedir. Aşama 2’de tedarikçilerden depolara gönderilecek ürünler için öncelikle depo seçimi söz konusudur. Depo seçimi minimum taşıma maliyetini göz önünde bulundurularak yapılmaktadır. Depoya gönderim yapılırken araçların hacimsel ve ağırlıksal kapasiteleri göz önünde bulundurulmaktadır. Aynı zamanda tedarikçilerden gönderilen ürünler için depoların kapasitesi de kısıt olarak değerlendirilmektedir.

Üçüncü aşamada yiyecek ve barınma ihtiyaçlarının depolandığı w deposundan s barınağına ve h sağlık merkezine, v sağlık deposundan ise h sağlık merkezine ilgili malzemelerin gönderilmesi ele alınmıştır. Bu aşamada taleplerin karşılanarak toplam taşıma maliyetlerin minimizasyonu amaçlanmaktadır. Modele ait şematik gösterim Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Modele ait şematik gösterim

### 3.1. Varsayımlar

- Tüm kritik ve kritik olmayan ürünlerin son kullanım tarihi yoktur.
- Yerel depoların kapasite seviyeleri farklıdır.
- Her müşteri her araçtan hizmet alır.
- Araç kapasiteleri heterojen kabul edilmiştir.
- Model çok dönemli olarak kabul edilmiştir.
- Toplanma alanından barınak alanına gönderilen her insan için bireysel ihtiyaç ürünlerinden (n ürünü) birer adet ve sağlık merkezlerine gönderilen her insan için bireysel ihtiyaç ürünlerinden (n ürünü) birer adet ve sağlık ürünlerinden (o ürünü) birer adet gönderildiği varsayılmaktadır.

### 3.2. Kümeler ve indeksler

C = c toplanma alanlarının kümesi

S = s barınaklarının kümesi

h = sağlık merkezlerinin kümesi

W = w depolarının kümesi

V = v sağlık depolarının kümesi

K = k araç seti kümesi

$\beta$  =  $\beta$  araç seti kümesi

$N$  =  $n$  ürününün kümesi

$O$  =  $o$  ürününün kümesi

$T$  = zaman kümesi

### 3.3. Model parametreleri

Aşağıda modelin 3 aşamasına ait parametreler sınıflandırılarak verilmiştir.

#### 3.3.1. Aşama-1 parametreleri

$X_{c,t}$  =  $t$  döneminde  $c$  toplanma bölgesindeki kişi sayısı

$\alpha_{s,t}$  =  $t$  döneminde  $s$  barınma alanının kapasitesi

$B_{h,t}$  =  $t$  döneminde  $h$  sağlık merkezinin kapasitesi

$\gamma_{e,t}$  =  $t$  döneminde  $e$  ambulansının kapasitesi

$Q_{b,t}$  =  $t$  döneminde  $b$  otobüsünün kapasitesi

$D_{c,s,t}$  =  $t$  döneminde  $c$  toplanma bölgesinden  $s$  barınma alanına gönderilmek üzere talep edilen kişi sayısı

$K_{c,h,t}$  =  $t$  döneminde  $c$  toplanma bölgesinden  $h$  sağlık merkezine gönderilmesi üzere talep ettiği kişi sayısı

$P_e$  = ambulans maliyeti

$O_b$  = otobüs maliyeti

$AA_{s,t}$  =  $t$  döneminde  $s$  barınma alanı açma maliyeti

$BB_{h,t}$  =  $t$  döneminde  $h$  sağlık merkezi açma maliyeti

$um_{c,s,b,t}$  =  $c$  toplanma alanından  $s$  barınma alanına  $t$  döneminde  $b$  otobüsü ile birim taşıma maliyeti

$um_{c,h,e,t}$  =  $c$  toplanma alanından  $h$  sağlık merkezine  $t$  döneminde  $e$  ambulansı ile birim taşıma maliyeti

#### 3.3.2. Aşama-2 parametreleri

$HH_{v,t}$  =  $t$  döneminde  $v$  deposunun (sağlık merkezi için) açılış maliyeti

$GG_{w,t}$  =  $t$  döneminde  $w$  deposunun açılış maliyeti

$WA_{l,t}$  =  $t$  döneminde  $l$  aracıyla birim taşıma maliyeti

$WB_{z,t}$  =  $t$  döneminde  $z$  aracıyla birim taşıma maliyeti

$BB_n$  =  $n$  ürünün birim hacmi

$BB_o$  =  $o$  ürünün birim hacmi

$EE_n$  =  $n$  ürünün birim ağırlığı

$EE_o$  =  $o$  ürünün birim ağırlığı

$VV_{z,t}$  =  $t$  döneminde  $z$  aracının hacimsel kapasitesi

$WW_{z,t}$  =  $t$  döneminde  $z$  aracının kütleli kapasitesi

$VV_{l,t}$  =  $t$  döneminde  $l$  aracının hacimsel kapasitesi

$WW_{l,t}$  =  $t$  döneminde  $l$  aracının kütleli kapasitesi

$CC_{v,t}$  =  $t$  döneminde  $v$  deposunun kapasitesi

$CC_{w,t}$  =  $t$  döneminde  $w$  deposunun kapasitesi

### 3.3.3. Aşama-3 parametreleri

$I_{w,n,t}$  = t döneminde w deposundaki n ürünün stok kullanım oranı

$I_{v,o,t}$  = t döneminde v deposundaki o ürünün stok kullanım oranı

$aq_n$  = n ürününün stok tutma maliyeti

$aq_o$  = o ürününün stok tutma maliyeti

$sh_n$  = n ürününün yokluk maliyeti

$sh_o$  = o ürününün yokluk maliyeti

M = büyük sayı

$iw_n$  = n ürününün w depodaki kullanılmama maliyeti

$iw_o$  = o ürününün v depodaki kullanılmama maliyeti

$dd_{s,n,t}$  = t döneminde s barınma alanının n ürününe olan talebi

$dp_{h,n,t}$  = t döneminde h sağlık merkezinin n ürününe olan talebi

$dd_{h,o,t}$  = t döneminde h sağlık merkezinin o ürününe olan talebi

$tm_{w,s,t,k}$  = t döneminde w deposundan s barınak alanına k aracıyla taşımanın birim değişken maliyeti

$tm_{w,h,t,k}$  = t döneminde w deposundan h sağlık merkezine k aracıyla taşımanın birim değişken maliyeti

$tm_{v,h,t,\beta}$  = t döneminde v deposundan h sağlık merkezine  $\beta$  aracıyla taşımanın birim değişken maliyeti

$ta_{w,s,t,k}$  = t döneminde w deposundan s barınma alanına k turuyla taşımanın sabit maliyeti

$ta_{w,h,t,k}$  = t döneminde w deposundan h sağlık merkezine k turuyla taşımanın sabit maliyeti

$ta_{v,h,t,\beta}$  = t döneminde w deposundan h sağlık merkezine  $\beta$  turuyla taşımanın sabit maliyeti

$OO_{s,n,t}$  = t döneminde s barınma alanının talep edilen alandaki talep önceliği

$OO_{h,n,t}$  = t döneminde h sağlık merkezinin talep edilen alandaki talep önceliği

$OO_{h,o,t}$  = t döneminde h sağlık merkezinin talep edilen alandaki talep önceliği

$CC_{v,t}$  = t döneminde v deposunun kapasitesi

$CC_{w,t}$  = t döneminde w deposunun kapasitesi

### 3.4. Modele ait karar değişkenleri

Aşağıda modelin 3 aşamasına ait karar değişkenleri sınıflandırılarak verilmiştir.

#### 3.4.1. Modelin birinci aşamasına ait karar değişkenleri

$XA_{c,s,b,t}$  = t döneminde c toplanma bölgesinden s barınma alanına b otobüsüyle gönderilen kişi sayısı

$XB_{c,h,e,t}$  = t döneminde c toplanma bölgesinden h sağlık merkezine e ambulansıyla gönderilen kişi sayısı

$Y_{s,t}$  = t döneminde s barınma alanı açılırsa 1, aksi takdirde 0

$Y_{h,t}$  = t döneminde h sağlık merkezi açılırsa 1, aksi takdirde 0

$r_{e,t}$  = t döneminde gerekli olan e ambulans sayısı

$r_{b,t}$  = t döneminde gerekli olan b otobüsü sayısı

#### 3.4.2. Modelin ikinci aşamasına ait karar değişkenleri

$Q_{n,a,w,l,t}$  = t döneminde l aracıyla n ürününün a tedarikçisinden w deposuna taşınan miktarı

$J_{o,m,v,z,t}$  = t döneminde z aracıyla o ürününün m tedarikçisinden v deposuna taşınan miktarı

$Y_{w,t}$  = t döneminde w deposu açılırsa 1, aksi takdirde 0

$Y_{v,t} = t$  döneminde v deposu açılırsa 1, aksi takdirde 0

### 3.4.3. Modelin üçüncü aşamasına ait karar değişkenleri

$m_{q_{w,n,t}} = t$  döneminde w deposundaki n ürününün stok miktarı

$m_{q_{v,o,t}} = t$  döneminde v deposundaki o ürününün stok miktarı

$z_{q_{s,n,t}} = t$  döneminde n ürününün s barınma alanındaki yokluk miktarı

$z_{q_{h,n,t}} = t$  döneminde n ürününün h sağlık merkezindeki yokluk miktarı

$z_{q_{h,o,t}} = t$  döneminde o ürününün h sağlık merkezindeki yokluk miktarı

$u_{q_{w,n,t}} = t$  döneminde w deposunda n ürününün kullanılmayan miktarı

$u_{q_{v,o,t}} = t$  döneminde v deposunda o ürününün kullanılmayan miktarı

$m''_{w,s,n,t,k} = t$  döneminde w deposundan s barınma alanına k aracıyla gönderilen n ürünü miktarı

$m''_{w,h,n,t,k} = t$  döneminde w deposundan h sağlık merkezine k aracıyla gönderilen n ürünü miktarı

$m''_{v,h,o,t,\beta} = t$  döneminde v deposundan h sağlık merkezine  $\beta$  aracıyla gönderilen o ürünü miktarı

$z'_{w,s,t} = t$  döneminde w deposundan s barınma alanına gönderim varsa 1, aksi takdirde 0

$z'_{w,h,t} = t$  döneminde w deposundan h sağlık merkezine gönderim varsa 1, aksi takdirde 0

$z'_{v,h,t} = t$  döneminde v deposundan h sağlık merkezine gönderim varsa 1, aksi takdirde 0

### 3.5. Modelin formülasyonu

Probleme ait matematiksel model dört aşamada formüle edilmiştir ve bu konuda gerekli açıklamalar aşağıda verilmiştir.

#### 3.5.1. Modelin birinci aşaması

Amaç;

$$\begin{aligned} \text{Min } z = & \sum_e \sum_t P_e r_{e,t} + \sum_b \sum_t O_b r_{b,t} + \sum_s \sum_t AA_{s,t} Y_{s,t} + \sum_h \sum_t BB_{h,t} Y_{h,t} \\ & + \sum_c \sum_s \sum_b \sum_t \text{um}_{c,s,b,t} XA_{c,s,b,t} + \sum_c \sum_h \sum_e \sum_t \text{um}_{c,h,e,t} XB_{c,h,e,t} \end{aligned} \quad (1)$$

Kısıtlar;

$$\sum_s \sum_b XA_{c,s,b,t} + \sum_h \sum_e XB_{c,h,e,t} = X_{c,t} \quad \forall c,t \quad (2)$$

$$\sum_c \sum_b XA_{c,s,b,t} \leq \alpha_{s,t} Y_{s,t} \quad \forall s,t \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \sum_c \sum_e XB_{c,h,e,t} \\ \leq B_{h,t} Y_{h,t} \end{aligned} \quad \forall h,t \quad (4)$$

$$\sum_c \sum_h XB_{c,h,e,t} \leq \gamma_{e,t} r_{e,t} \quad \forall e,t \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \sum_c \sum_s XA_{c,s,b,t} \\ \leq Q_{b,t} r_{b,t} \end{aligned} \quad \forall b,t \quad (6)$$



$$\sum_c \sum_e XB_{c,h,e,t} \leq M Y_{h,t} \quad \forall h, t \quad (7)$$

$$\sum_c \sum_b XA_{c,s,b,t} \leq M Y_{s,t} \quad \forall s, t \quad (8)$$

$$\sum_c \sum_b XA_{c,s,b,t} \geq \sum_s D_{c,s,t} \quad \forall c, t \quad (9)$$

$$\sum_h \sum_e XB_{c,h,e,t} \geq \sum_h K_{c,h,t} \quad \forall c, t \quad (10)$$

$$XA_{c,s,b,t}, XB_{c,h,e,t} \geq 0 \quad (11)$$

$$Y_{s,t}, Y_{h,t} \in \{0,1\} \quad (12)$$

Eşitlik (1) ambulans, otobüs kullanım maliyetleri ve toplanma alanı-sağlık merkezleri ile toplanma alanı-barınma alanlar taşıma maliyetlerini minimum yapmayı hedefleyen amaç fonksiyonudur. Eşitlik (2) denge kısıdıdır. Eşitlik (3)-(6) kapasite kısıtlarıdır. Eşitlik (7) h sağlık merkezinin açılması durumunda toplanma alanından sağlık merkezine insan gönderilebileceğini aksi takdirde gönderilemeyeceğini gösteren kısıttır. Eşitlik (8) s barınma alanının açılması durumunda toplanma alanından barınma alanına insan gönderilebileceğini aksi takdirde gönderilemeyeceğini gösteren kısıttır. Eşitlik (9) ve (10) talep kısıtlarıdır. Eşitlik (11) karar değişkenlerinin negatif olmama kısıt, eşitlik (12) ise 0-1 karar değişkenlerine ait kısıttır.

### 3.5.2. Modelin ikinci aşaması

Amaç;

$$\begin{aligned} \text{Min } z = & \sum_w \sum_t GG_{w,t} Y_{w,t} + \sum_v \sum_t HH_{v,t} Y_{v,t} + \sum_n \sum_a \sum_w \sum_l \sum_t WA_{a,w,l,t} Q_{n,a,w,l,t} \\ & + \sum_o \sum_m \sum_v \sum_z \sum_t WB_{m,v,z,t} J_{o,m,v,z,t} \end{aligned} \quad (13)$$

Kısıtlar;

$$\sum_n \sum_a \sum_l Q_{n,a,w,l,t} \leq CC_{w,t} Y_{w,t} \quad \forall w, t \quad (14)$$

$$\sum_o \sum_m \sum_z J_{o,m,v,z,t} \leq CC_{v,t} Y_{v,t} \quad \forall v, t \quad (15)$$

$$\sum_n \sum_w \sum_l Q_{n,a,w,l,t} \leq PP_{a,t} \quad \forall a, t \quad (16)$$

$$\sum_o \sum_v \sum_z J_{o,m,v,z,t} \leq PPP_{m,t} \quad \forall m, t \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \sum_n \sum_a \sum_w BB_n Q_{n,a,w,l,t} \\ \leq VV_{l,t} \end{aligned} \quad \forall l, t \quad (18)$$

$$\sum_n \sum_a \sum_w EE_n Q_{n,a,w,l,t} \leq WW_{l,t} \quad \forall l, t \quad (19)$$

$$\sum_o \sum_m \sum_v BB_o J_{o,m,v,z,t} \leq VV_{z,t} \quad \forall z, t \quad (20)$$

$$\sum_o \sum_m \sum_v EE_o J_{o,m,v,z,t} \leq WW_{z,t} \quad \forall z, t \quad (21)$$

$$\sum_a \sum_w \sum_l Q_{n,a,w,l,t} \geq dp_{n,t} \quad \forall n, t \quad (22)$$

$$\sum_m \sum_v \sum_z J_{o,m,v,z,t} \geq ds_{o,t} \quad \forall o, t \quad (23)$$

$$Q_{n,a,w,l,t}, J_{o,m,v,z,t} \geq 0 \quad (24)$$

$$Y_{w,t}, Y_{v,t} \in \{0,1\} \quad (25)$$

Eşitlik (13) depo açma maliyetleri ve tedarikçilerden depolara ürün taşıma maliyetlerini minimum yapmayı hedefleyen amaç fonksiyonudur. Eşitlik (14) w deposunun açılması durumunda depoya ürün gönderilebileceğini aksi taktirde gönderilemeyeceğini garantileyen kısıttır. Eşitlik (15) v sağlık deposunun açılması durumunda depoya ürün gönderilebileceğini aksi taktirde gönderilemeyeceğini garantileyen kısıttır. Eşitlik (16)-(20) kapasite kısıtlarıdır. Eşitlik (22) ve (23) talep kısıtlarıdır. Eşitlik (24) negatif olmama kısıdı, eşitlik (25) ise 0-1 karar değişkenlerine ait kısıtlarıdır.

### 3.5.3. Modelin üçüncü aşaması

Amaç;

$$\begin{aligned} \text{Min } z = & \sum_w \sum_n \sum_t aq_n mq_{w,n,t} + \sum_v \sum_o \sum_t aq_o mq_{v,o,t} + \sum_s \sum_n \sum_t oo_{s,n,t} sh_n zq_{s,n,t} \\ & + \sum_h \sum_n \sum_t oo_{h,n,t} sh_n zq_{h,n,t} + \sum_h \sum_o \sum_t oo_{h,o,t} sh_o zq_{h,o,t} \\ & + \sum_w \sum_n \sum_t iw_n uq_{w,n,t} + \sum_v \sum_o \sum_t iw_o uq_{v,o,t} \\ & + \sum_k \sum_w \sum_f \sum_n \sum_t Y_{w,t} tm_{w,s,t,k} m''_{w,s,n,t,k} + \sum_\beta \sum_v \sum_y \sum_o \sum_t Y_{v,t} tm_{v,h,t,\beta} m''_{v,h,o,t,\beta} \\ & + \sum_k \sum_s \sum_f \sum_n \sum_t z'_{w,s,t} ta_{w,s,t,k} + \sum_k \sum_h \sum_f \sum_n \sum_t z'_{w,h,t} ta_{f,h,t,k} \\ & + \sum_\beta \sum_h \sum_y \sum_o \sum_t z'_{v,h,t} ta_{v,h,t,\beta} \end{aligned} \quad (26)$$

Kısıtlar;

$$uq_{w,n,t} = I_{w,n,t} mq_{w,n,t} + uq_{w,n,t-1} - \sum_w \sum_k m''_{w,s,n,t,k} \quad \forall w, n, t \quad (27)$$

$$uq_{w,n,t} = I_{w,n,t} mq_{w,n,t} + uq_{w,n,t-1} - \sum_w \sum_k m''_{w,h,n,t,k} \quad \forall w, n, t \quad (28)$$

$$\sum_h z'_{w,h,t} \geq 1 \quad \forall w, t \quad (29)$$

$$\sum_s z'_{w,s,t} \geq 1 \quad \forall w, t \quad (30)$$

$$\sum_k \sum_w \sum_n m''_{w,s,n,t,k} \leq M \left[ \sum_w z'_{w,s,t} \right] \quad \forall s, t \quad (31)$$

$$\sum_k \sum_w \sum_n m''_{w,h,n,t,k} \leq M \left[ \sum_w z'_{w,h,t} \right] \quad \forall h, t \quad (32)$$

$$\sum_n m q_{w,n,t} \leq CC_{w,t} Y_{w,t} \quad \forall w, t \quad (33)$$

$$\sum_w \sum_k m''_{w,s,n,t,k} = dd_{s,n,t} - zq_{s,n,t} \quad \forall s, n, t \quad (34)$$

$$uq_{v,o,t} = I_{v,o,t} m q_{v,o,t} + uq_{v,o,t-1} - \sum_\beta \sum_h m''_{v,h,o,t,\beta} \quad \forall v, o, t \quad (35)$$

$$\sum_h z'_{v,h,t} \geq 1 \quad \forall v, t \quad (36)$$

$$\sum_\beta \sum_v \sum_o m''_{v,h,o,t,\beta} \leq M \sum_h z'_{v,h,t} \quad \forall h, t \quad (37)$$

$$\sum_o m q_{v,o,t} \leq CC_{v,t} Y_{v,t} \quad \forall v, t \quad (38)$$

$$\sum_v \sum_\beta m''_{v,h,o,t,\beta} = dd_{h,o,t} - zq_{h,o,t} \quad \forall h, o, t \quad (39)$$

$$\sum_w \sum_k m''_{w,h,n,t,k} = dp_{h,n,t} - zq_{h,n,t} \quad \forall h, n, t \quad (40)$$

$$z'_{w,h,t} \leq Y_{w,t} \quad \forall w, h, t \quad (41)$$

$$z'_{w,s,t} \leq Y_{w,t} \quad \forall w, s, t \quad (42)$$

$$z'_{v,h,t} \leq Y_{v,t} \quad \forall v, h, t \quad (43)$$

$$\begin{aligned} & \sum_s \sum_k m''_{w,s,n,t,k} \\ & = \sum_a \sum_l Q_{n,a,w,l,t} \end{aligned} \quad \forall w, n, t \quad (44)$$

$$\sum_h \sum_k m''_{w,h,n,t,k} = \sum_a \sum_l Q_{n,a,w,l,t} \quad \forall w, n, t \quad (45)$$

$$\begin{aligned} & \sum_s \sum_k m''_{v,h,o,t,\beta} \\ & = \sum_m \sum_z J_{o,m,v,z,t} \end{aligned} \quad \forall v, o, t \quad (46)$$

$$mq_{w,n,t}, mq_{v,o,t}, uq_{v,o,t}, uq_{v,n,t}, m''_{w,s,n,t,k}, m''_{w,h,n,t,k}, m''_{v,h,o,t,\beta} \geq 0 \quad (47)$$

$$zq_{s,n,t}, zq_{h,n,t}, zq_{h,o,t} \in \{0,1\} \quad (48)$$

Eşitlik (26) depo maliyetini, yokluk maliyetini, kullanılmayan ürünlerin maliyetini ve depolardan sağlık merkezleri ile barınma alanlarına gönderilen ürünlerin taşıma maliyetlerini minimum yapmayı hedefleyen amaç fonksiyonudur. Eşitlik (27) ve (28) stok denge kısıtlarıdır. Eşitlik (29) t döneminde h sağlık merkezinin 1 veya 1'den fazla w deposundan hizmet alabileceğini gösteren kısıttır. Eşitlik (30) t döneminde s barınma alanının bir veya birden fazla w deposundan hizmet alabileceğini gösteren kısıttır. Eşitlik (31) w deposundan barınma alanına t döneminde bir gönderim varsa akışın olabileceğini gösteren kısıttır. Eşitlik (32) ise aynı şekilde w deposundan h sağlık merkezine t döneminde bir gönderim varsa akışın olabileceğini gösteren kısıttır. Eşitlik (33) t döneminde w deposu açılmışsa depodaki miktarın kapasiteyi aşmayacağını garantileyen kısıttır. Eşitlik (34) t döneminde w deposundan s barınma alanına gönderilen n ürünü miktarının, t döneminde s barınma alanının n ürününe olan talebinin aynı dönemdeki n ürünün yokluk miktarından çıkarılması ile bulunduğunu gösteren kısıttır. Eşitlik (35) stok denge kısıdıdır. Eşitlik (36) t döneminde h sağlık merkezinin 1 veya 1'den fazla v sağlık deposundan hizmet alabileceğini gösteren kısıttır. Eşitlik (37) v sağlık deposundan h sağlık merkezine t döneminde bir gönderim varsa akışın olabileceğini gösteren kısıttır. Eşitlik (38) t döneminde v sağlık deposu açılmışsa depodaki miktarın kapasiteyi aşmayacağını garantileyen kısıttır. Eşitlik (39) t döneminde v deposundan h sağlık merkezine gönderilen o ürünü miktarının, t döneminde h sağlık merkezinin o ürününe olan talebinin aynı dönemdeki o ürünün yokluk miktarından çıkarılması ile bulunduğunu gösteren kısıttır. Eşitlik (40) t döneminde w deposundan h sağlık merkezine gönderilen n ürünü miktarının, t döneminde h sağlık merkezinin n ürününe olan talebinin aynı dönemdeki n ürünün yokluk miktarından çıkarılması ile bulunduğunu gösteren kısıttır. Eşitlik (41)-(43) t döneminde açılan depolardan sağlık merkezine ve barınma alanına gönderim yapılabileceğini aksi taktirde yapılamayacağını garantileyen kısıttır. Depoların açılıp açılmadığına ait bilgi aşama 2'den elde edilmektedir. Eşitlik (44)-(46) aşama 2 ile aşama 2 arasındaki talep dengesini sağlayan kısıtlardır. Eşitlik (47) negatif olmaması kısıdı, eşitlik (48) ise 0-1 karan değişkenlerine ait kısıttır.

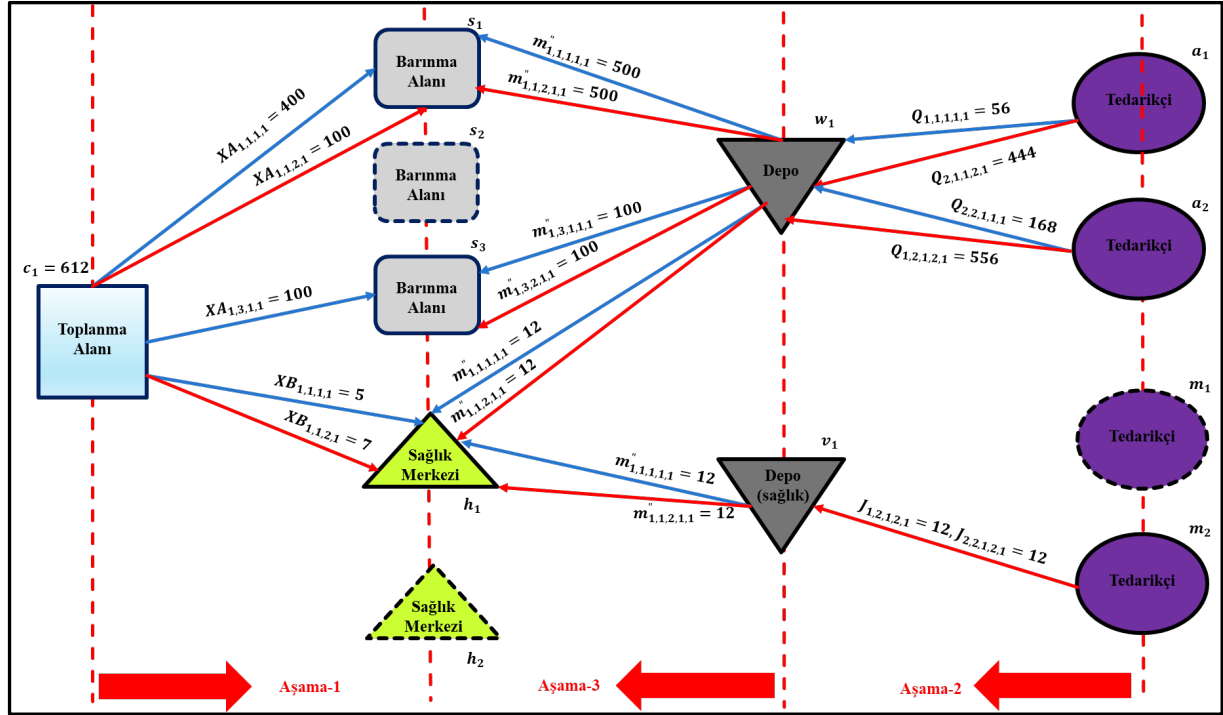
#### 4. Vaka çalışması

Bölüm 3'te tasarlanan model GAMS'in 24.1 versiyonunda kodlanmış olup küçük bir veri setinde test edilmiştir. Her aşamaya ait sonuçlar ayrı olarak verilmiştir. Bu şekilde verilmesinin sebebi, aşama 2'de değeri bulunan karar değişkeninin aşama 3 için parametre olarak kullanılmasıdır. Modelde kullanılan veri setlerini ait büyüklükler ise şu şekildedir.

- c toplanma alanından 1 adet,
- s barınağından 3 adet,
- h sağlık merkezinden 2 adet,
- n ürününden 2 adet,
- o ürününden 2 adet,
- a tedarikçisinden 2 adet,
- m tedarikçisinden 2 adet,
- l aracından 2 adet,
- z aracından 2 adet,
- k aracından 2 adet,

- $\beta$  aracından 2 adet,
- $w$  deposundan 1 adet,
- $v$  sağlık deposundan 1 adet,
- $t$  zaman dilimi 1 adet olarak alınmıştır.

Tasarlanan modelin test verisi sonuçlarına ilişkin ağ yapısı Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Tasarlanan modelin sonucuna ilişkin ağ yapısı

#### 4.1. Birinci aşama için çalışmanın sonuçları

Birinci aşamada toplama alanlarından insanlar barınma alanlarına otobüslerle ve sağlık merkezlerine ambulanslarla gönderilmektedir. Burada her sağlık merkezinin ve barınma alanlarının kapasiteleri bulunmaktadır. Amaç aşama 1’in kısıtları altında minimum maliyet ile sağlık merkezlerine ve barınma alanlarına gönderilen kişi sayısını belirlemektir. Veri setine göre barınma alanına gönderilmek üzere bekleyen 600 sağlık merkezine gönderilmek üzere bekleyen 12 kişi bulunmaktadır. İlgili veri seti girildiğinde ise sonuç Tablo 2’deki gibidir.

Tablo 2. Aşama 1’e ait  $XA_{c,s,b,t}$  karar değişkeninin sonuçları

$XA_{1,1,1,1} = 400$	$XA_{1,1,2,1} = 100$
$XA_{1,2,1,1} = 0$	$XA_{1,2,2,1} = 0$
$XA_{1,3,1,1} = 100$	$XA_{1,3,2,1} = 0$

Tablo 2’de  $XA_{c,s,b,t}$  karar değişkenine ait değerler verilmiş olup toplama merkezinden birinci ve üçüncü barınağa gönderim söz konusudur. İkinci barınağa ise gönderim olmamıştır. Aynı zamanda iki araç da kullanılmıştır. Tablo 3’de ise  $XB_{c,h,e,t}$  karar değişkenine ait değerler verilmiştir.

Tablo 3. Aşama 1’e ait  $XB_{c,h,e,t}$  karar değişkeninin sonuçları

$XB_{1,1,1,1} = 5$	$XB_{1,1,2,1} = 7$
$XB_{1,2,1,1} = 0$	$XB_{1,2,2,1} = 0$
$XB_{1,3,1,1} = 0$	$XB_{1,3,2,1} = 0$

Tablo 3 değerlendirildiğinde toplama alanından sadece birinci sağlık merkezine gönderim yapıldığı görülmektedir. İkinci sağlık merkezine gönderim bulunmamaktadır. Aynı zamanda iki ambulans kullanılmıştır.

#### 4.2. İkinci aşama için çalışmanın sonuçları

İkinci aşamada toplanma alanlarından sağlık merkezlerine ve barınma alanlarına gönderilen kişilerin ihtiyaçları için gerekli ürünleri depolara gönderim söz konusudur. Yapılan varsayımına göre barınma alanında bulunan 600 kişiye birinci ve ikinci n ürününden birer adet gönderilmektedir. Sağlık merkezinde bulunan 12 kişiye birinci ve ikinci n ürününden bir adet; birinci ve ikinci o sağlık ürününden birer adet gönderilmektedir. Bu aşamada amaç maliyeti minimize ederek hangi depoların açılacağına ve tedarikçilerden, açılan depolara gönderim miktarının ne olacağına karar vermektir. Tablo 4'te  $Q_{n,a,w,l,t}$  karar değişkenine ait değerler verilmiştir.

**Tablo 4.** Aşama 2'e ait  $Q_{n,a,w,l,t}$  karar değişkeninin sonuçları

$Q_{1,1,1,1,1} = 56$	$Q_{2,1,1,1,1} = 0$
$Q_{1,1,1,2,1} = 0$	$Q_{2,1,1,2,1} = 444$
$Q_{1,2,1,1,1} = 0$	$Q_{2,2,1,1,1} = 168$
$Q_{1,2,1,2,1} = 556$	$Q_{2,2,1,2,1} = 0$

Tablo 4 değerlendirildiğinde birinci ve ikinci n ürününden toplamda 612 adet w deposuna gönderilmiştir. Aynı zamanda iki adet a tedarikçisinden w deposuna gönderim sağlanmıştır. Tablo 5'de  $J_{o,m,v,z,t}$  karar değişkenine ait değerler verilmiştir.

**Tablo 5.** Aşama 2'e ait  $J_{o,m,v,z,t}$  karar değişkeninin sonuçları

$J_{1,1,1,1,1} = 0$	$J_{2,1,1,1,1} = 0$
$J_{1,1,1,2,1} = 0$	$J_{2,1,1,2,1} = 0$
$J_{1,2,1,1,1} = 0$	$J_{2,2,1,1,1} = 0$
$J_{1,2,1,2,1} = 12$	$J_{2,2,1,2,1} = 12$

Tablo 5 değerlendirildiğinde birinci ve ikinci o ürününde toplamda 12 adet v sağlık deposuna gönderilmiştir. Aynı zamanda yalnızca bir m tedarikçisi ve bir z aracı kullanılmıştır.  $Y_{w,t}$  ve  $Y_{v,t}$  karar değişkenleri ise 1 değerini almıştır.

### 4.3. Üçüncü aşama için çalışmanın sonuçları

Üçüncü aşamada tedarikçilerde w deposuna ve v sağlık deposuna gönderilen ürünler daha önce açılmış olan s barınma alanlarına ve h sağlık merkezlerinde talepler doğrultusunda gönderilmektedir. Burada amaç stok denge kısıtlarının ve diğer kısıtların sağlanarak depolardan barınma alanlarına ve sağlık merkezlerine ne kadar gönderim yapıldığına, depodaki miktara, yok satılan miktara, depoda kullanılmayan miktara karar vermektir. Tablo 6'da depoların stok miktarlarına karşılık gelen karar değişkenlerine ait değerler verilmiştir.

**Tablo 6.** Stok miktarları karar değişkenlerinin sonuçları

$m_{q_{w,n,t}}$	$m_{q_{v,o,t}}$
$m_{q_{1,1,1}} = 765$	$m_{q_{1,1,1}} = 30$
$m_{q_{1,2,1}} = 1020$	$m_{q_{1,2,1}} = 40$

Kullanılan veri seti için depo kapasitelerinin yeterli olması sebebiyle yokluk miktarlarına ve kullanılmayan miktarlar ait karar değişkenleri 0 değerini almıştır. Bu sebeple depodaki miktarlardan talep direkt olarak karşılanacaktır. Depodaki miktarlar incelendiğinde talep miktarlarından fazla olduğu tespit edilmiştir. Ancak bu durum stok kullanım oranları ile ilgilidir. Depodan ürün %100 oranda çekilemediği için bu şekilde olduğu belirlenmiştir. Örneğin w deposundan birinci n ürün için birince dönemde stok kullanım oranı 0.8 olarak verilmiştir. Bu sebeple w deposundan tam olarak 612 adet birinci n ürünü için gönderim yapılabilmektedir. ( $765 \cdot 0.8 = 612$ ) Tablo 7'de  $m''_{w,s,n,t,k}$  karar değişkenine ait değerler verilmiştir.

**Tablo 7.** Aşama 3'e ait  $m''_{w,s,n,t,k}$  karar değişkeninin sonuçları

$m''_{1,1,1,1,1} = 500$	$m''_{1,2,1,1,1} = 0$	$m''_{1,3,1,1,1} = 100$
$m''_{1,1,2,1,1} = 500$	$m''_{1,2,2,1,1} = 0$	$m''_{1,3,2,1,1} = 100$
$m''_{1,1,1,1,2} = 0$	$m''_{1,2,1,1,2} = 0$	$m''_{1,3,1,1,2} = 0$
$m''_{1,1,2,1,2} = 0$	$m''_{1,2,2,1,2} = 0$	$m''_{1,3,2,1,2} = 0$

Tablo 7 değerlendirildiğinde birinci ve üçüncü barınma alanına gönderim sağlandığı ikinci barınma alanına herhangi bir gönderim olmadığı görülmektedir. Bu durumun sebebi Aşama 1'de toplanma alanından ikinci

barınma alanına herhangi bir gönderimin olmamasıdır. Tablo 8’de  $m''_{w,h,n,t,k}$  karar değişkenine ait değerler verilmiştir.

**Tablo 8.** Aşama 3’e ait  $m''_{w,h,n,t,k}$  karar değişkeninin sonuçları

$m''_{1,1,1,1,1} = 12$	$m''_{1,2,1,1,1} = 0$
$m''_{1,1,2,1,1} = 12$	$m''_{1,2,2,1,1} = 0$
$m''_{1,1,1,1,2} = 0$	$m''_{1,2,1,1,2} = 0$
$m''_{1,1,2,1,2} = 0$	$m''_{1,2,2,1,2} = 0$

Tablo 8 değerlendirildiğinde sadece birinci sağlık merkezine gönderim olduğu görülmektedir. Bunun sebebi Aşama 1’de toplanma alanından sadece birinci sağlık merkezine gönderimin olmasıdır. Tablo 9’da  $m''_{v,h,o,t,\beta}$  karar değişkenine ait değerler verilmiştir.

**Tablo 9.** Aşama 3’e ait  $m''_{v,h,o,t,\beta}$  karar değişkeninin sonuçları

$m''_{1,1,1,1,1} = 12$	$m''_{1,2,1,1,1} = 0$
$m''_{1,1,2,1,1} = 12$	$m''_{1,2,2,1,1} = 0$
$m''_{1,1,1,1,2} = 0$	$m''_{1,2,1,1,2} = 0$
$m''_{1,1,2,1,2} = 0$	$m''_{1,2,2,1,2} = 0$

Tablo 9 değerlendirildiğinde sadece birinci sağlık merkezine gönderim olduğu görülmektedir. Bunun sebebi Aşama 1’de toplanma alanından sadece birinci sağlık merkezine gönderimin olmasıdır. Tablo 10’da depolardan sağlık merkezi ve barınma alanlarına gönderimin yapıp yapılmadığını gösteren 0-1 değişkenlere ait değerler verilmiştir.

**Tablo 10.** Aşama 3’e ait 0-1 karar değişkenlerinin sonuçları

$z'_{w,s,t}$	$z'_{w,h,t}$	$z'_{v,h,t}$
$z'_{1,1,1}=1$	$z'_{1,1,1}=1$	$z'_{1,1,1}=1$
$z'_{1,2,1}=0$	$z'_{1,2,1}=0$	$z'_{1,2,1}=0$
$z'_{1,3,1}=1$		

Tablo 10 değerlendirildiğinde daha önce de belirtildiği üzere toplanma alanından barınma alanına gönderimin olmadığı durumda, depodan da barınma alanına gönderim olmamaktadır. Aynı durum sağlık merkezi için de geçerlidir.

## 5. Sonuçlar

Afetler geçmişten günümüze sürekli olarak araştırmacıların ilgi odağında olmuştur. Ancak son yıllarda özellikle çevreye verilen zararlar, kentleşmenin artması sonucunda doğal yapının bozulması ve bu durumun bazı afetleri tetiklemesi nedeniyle bu alana ait çalışmalar sürekli olarak güncellenmektedir.

Güncellenen çalışmalarda ise ortak nokta öncelikli olarak insanların hayatlarını kaybetmesi olmaktadır. Bu sebeple afet öncesinde ve sonrasında yapılacak çalışmalar önem arz etmektedir. Ancak tüm bu çalışmaların yapılması için belirli bir bütçeye ihtiyaç olduğu tartışılmazdır. Bu nedenle maliyetin minimum seviyede tutulması bu alanda yapılan çalışmalarda çok fazla hedeflenmektedir.

Yapılan bu çalışmada afet sonrasında insanların toplanma alanlarından sağlık merkezlerine ve barınma alanlarına tahliyesi, sağlık merkezlerine ve barınma alanına gelen insanlara tedarikçilerden depolar vasıtasıyla gerekli ürünlerin aktarılması ile ilgilenilmiştir. Söz konusu bu durum için 3 aşamalı bir matematiksel model önerisinde bulunulmuştur. Modeli test etmek içinse küçük ölçekli bir veri seti kullanılmıştır.

Afet sonrası için oluşturulan bu modelin çok aşamalı, çok ürünlü, çok dönemli olmasının yanında diğer çalışmalardan farklı olarak normal depo ve sağlık depolarının gerçek hayat problemlerinde de yapılarının birbirinden ayrı olması sebebiyle iki farklı deponun kullanılmasının afet lojistiği ile ilgili diğer çalışmalara ışık tutacağı düşünülmektedir. Gelecek çalışmalarda bu konu ile ilgili olarak ağ yapısındaki tedarik zinciri üyelerinin artırılarak kullanılan araçlara ait bir araç rotalama çalışmasının da dahil edilmesi planlanmaktadır.

## Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Hüseyin Soyöz, problemin ortaya konması, literatür taraması ve makalenin oluşturulmasında, Bahar Özyörük ise kavramsal çerçevenin oluşturulması, makalenin sunumu ve makale yazım kontrolünün yapılarak düzenlenmesinde katkı sağlamışlardır.

## Teşekkür

Makalenin daha iyi bir hale gelmesine katkı sunan hakemlere ve Araştırma Görevlisi Betül Soyöz'e teşekkür ederiz.

## Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

## Kaynaklar

Ablanedo-Rosas, J. H., Gao, H., Alidaee, B. & Teng, W. Y. (2009). Allocation of emergency and recovery centres in Hidalgo, Mexico. *International Journal of Services Sciences*, 2(2), 206-218. doi: <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2009.024941>

Babaei A. & Shahanaghi, K.. (2017). A new model for planning the distributed facilities locations under emergency conditions and uncertainty space in relief logistics. *Uncertain Supply Chain Management*, 5, 105–125. doi: <https://doi.org/10.5267/j.uscm.2016.10.004>

Barbarosoğlu, G. & Arda, Y. (2004). A two-stage stochastic programming framework for transportation planning in disaster response. *Journal of the Operational Research Society*, 55, 43–53. doi: <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2601652>

Campbell, A. M. & Jones, P. C. (2011). Prepositioning supplies in preparation for disasters. *European Journal of Operational Research*, 209(2), 156-165. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2010.08.029>

Cao, C., Liu, Y., Tang, O. & Gao, X. (2021). A fuzzy bi-level optimization model for multi-period post-disaster relief distribution in sustainable humanitarian supply chains. *International Journal of Production Economics* 235(1). doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108081>

Döyen, A., Aras, N. & Barbarosoğlu, G. (2012). A two-echelon stochastic facility location model for humanitarian relief logistics. *Optimization Letters*, 6(6), 1123-1145. doi: <https://doi.org/10.1007/s11590-011-0421-0>

Duran, S., Gutierrez, M. A. & Keskinocak, P. (2011). Pre-positioning of emergency items for CARE international. *Interfaces*, 41(3), 223-237. doi: <https://doi.org/10.2307/23016301>

Galindo, G. & Batta, R. (2013). Prepositioning of supplies in preparation for a hurricane under potential destruction of prepositioned supplies. *Socio-Economic Planning Sciences*, 47(1), 20-37. doi: <https://doi.org/10.1016/j.seps.2012.11.002>

Garrido, R. A., Lamas, P. & Pino, F. J. (2015). A stochastic programming approach for floods emergency logistics. *Transportation research part E: logistics and transportation review*, 75, 18-31. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2014.12.002>

Görmez, N., Köksalan, M. & Salman, F. S. (2011). Locating disaster response facilities in Istanbul. *Journal of the Operational Research Society*, 62(7), 1239-1252. doi: <https://doi.org/10.1057/jors.2010.67>

Günneç, D. & Salman, F. S. (2007). A two-stage multi-criteria stochastic programming model for location of emergency response and distribution centers. *International Network Optimization Conference (INOC), Spa, Belgium*, 22-25.

Günneç, D. & Salman, F. S. (2011). Assessing the reliability and the expected performance of a network under disaster risk. *OR Spectrum*, 33(3), 499-523. doi: <https://doi.org/10.1007/s00291-011-0250-7>



- Hasani, A. & Mokhtari, H. (2019). An integrated relief network design model under uncertainty: A case of Iran. *Safety Science*, 111, 22–36. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.09.004>
- Hong, X., Lejeune, M. A. & Noyan N. (2015). Stochastic network design for disaster preparedness. *IIE Transactions*, 47, 329-357. doi: <https://doi.org/10.1080/0740817X.2014.919044>
- Huang, R., Kim, S. & Menezes, M. B. (2010). Facility location for large-scale emergencies. *Annals of Operations Research*, 181(1), 271-286. doi: <https://doi.org/10.1007/s10479-010-0736-8>
- Hu, S. L., Han, C. F. & Meng, L. P. (2017). Stochastic optimization for joint decision making of inventory and procurement in humanitarian relief. *Computers & Industrial Engineering*, 111, 39-49. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.06.029>
- Jha, A., Acharya, D. & Tiwar, M. K., (2017). Humanitarian relief supply chain: a multi-objective model and solution. *Sadhana*, 42 (7), 1167–1174. doi: <https://doi.org/10.1007/s12046-017-0679-8>
- Lee, Y. M., Ghosh, S. & Ettl, M. (2009). Simulating distribution of emergency relief supplies for disaster response operations. *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference*. doi: <https://doi.org/10.1109/WSC.2009.5429246>
- Li, X., Ramshani, M. & Huang, Y. (2018). Cooperative maximal covering models for humanitarian relief chain management. *Computers & Industrial Engineering*, 119, 301–308. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.04.004>
- Lu, C. C. (2013). Robust weighted vertex p-center model considering uncertain data: An application to emergency management. *European Journal of Operational Research*, 230(1), 113-121. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.03.028>
- Lu, X. L. & Hou, Y. X. (2009). Ant colony optimization for facility location for large-scale emergencies. In Management and Service Science. 2009 International Conference on Management and Service Science. doi: <https://doi.org/10.1109/ICMSS.2009.5302451>
- Manopiniwes, W. & Irohara, T. (2017). Stochastic optimisation model for integrated decisions on relief supply chains: preparedness for disaster response. *International Journal of Production Research*, 55 (4), 979-996. doi: <https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1211340>
- Massaguer, D., Balasubramanian, V., Mehrotra, S. & Venkatasubramanian, N. (2006). Multi-Agent Simulation of Disaster Response. Erişim adresi: <https://www.researchgate.net/publication/241438415>
- Mohamadi, A., Yaghoubi, S. & Pishvae, M. S. (2019). Fuzzy multi-objective stochastic programming model for disaster relief logistics considering telecommunication infrastructures: A case study. *Operational Research Int Journal* 19, 59–99. doi: <https://doi.org/10.1007/s12351-016-0285-2>
- Monzón, J., Liberatore, F. & Vitoriano, B. (2020). A mathematical pre-disaster model with uncertainty and multiple criteria for facility location and network fortification. *Mathematics*, 8(4), 529. doi: <https://doi.org/10.3390/math8040529>
- Öksüz, M. K. & Satoğlu Ş.İ. (2020). A two-stage stochastic model for location planning of temporary medical centers for disaster response. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 44. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101426>
- Özdamar, L., Ekin, E. & Küçükyazici, B. (2004). Emergency logistics planning in natural disasters. *Annals of Operations Research*, 129(1-4), 217-245. doi: <https://doi.org/10.1023/B:ANOR.0000030690.27939.39>
- Safaei, A. S., Farsad, S. & Paydar, M. M. (2018). Emergency logistics planning under supply risk and demand uncertainty. *Operational Research Int Journal*, 1-24.
- Salman, F. S. & Yücel, E. (2015). Emergency facility location under random network damage: Insights from the Istanbul case. *Computers & Operations Research*, 62, 266-281. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2014.07.015>

- Torabi, S.A., Shokr, I., Tofighi, S. & Heydari, J. (2018). Integrated relief pre-positioning and procurement planning in humanitarian supply chains. *Transportation Research Part E*, 113, 123–146. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2018.03.012>
- Verma, A. & Gaukler, G. M. (2011). A stochastic optimization model for positioning disaster response facilities for large scale emergencies. *International Conference on Network Optimization*, 547-552.
- Vitoriano, B., Ortuño, M. T., Tirado, G. & Montero, J. (2011). A multi-criteria optimization model for humanitarian aid distribution. *Journal of Global Optimization*, 51, 189-208. doi: <https://doi.org/10.1007/s10898-010-9603-z>
- Wang, Y., Dong, Z. S. & Hu, S. (2021). A stochastic prepositioning model for distribution of disaster supplies considering lateral transshipment. *Socio-Economic Planning Sciences*, 74. doi: <https://doi.org/10.1016/j.seps.2020.100930>
- Yenice, Z.D. & Samanlıoğlu, F. (2020). A multi-objective stochastic model for an earthquake relief network. *Journal of Advanced Transportation*. doi: <https://doi.org/10.1155/2020/1910632>
- Zhan, S., Liu, S., Ignatius, J., Chen, D. & Chan, F. T. S. (2021). Disaster relief logistics under demand-supply incongruence environment: A sequential approach. *Applied Mathematical Modelling* 89(1), 592-609. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apm.2020.07.002>



# Journal of Turkish Operations Management

## Bakım için makine öğrenme tekniklerinin analizi ve bir uygulama

Gözde Nur Calayır<sup>1\*</sup>, Mehmet Kabak<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Endüstri Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye  
e-mail:nurcalayr@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0001-9344-701X>

<sup>2</sup>Endüstri Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye  
e-mail:mkabak@gazi.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-8576-5349>

\*Sorumlu Yazar

### Makale Bilgisi

#### Makale Geçmişi:

Geliş: 02.04.2021  
Revize: 13.05.2021  
Kabul: 18.05.2021

#### Anahtar Kelimeler:

Makine öğrenmesi,  
Kestirimci bakım,  
Bakım planlaması

### Özet

Bakım, her üretim kuruluşunda olması gerekli bir faaliyet olarak kabul edilirken, günümüzde ise ilave olarak şirketin gelir ve giderlerini etkileyen kritik bir işletme fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır. Makine öğrenmesi kavramı, makinelerin karşılaştıkları durumlar karşısında kendini eğiterek daha iyi kararlar verebilmesini sağlayan algoritmaların geliştirilmesi olgusudur. 1950 yıllarından itibaren bakım planlaması tahminleme çalışmasında makine öğrenmesi teknikleri kullanılmaktadır. Savunma sanayi firmasında yapılan bu çalışmada makinelerin aniden ve plansız yapılan bakımlardan kaynaklı maliyeti yüksek olan parçaların hurda olması ve sevkiyatlarda meydana gelen gecikmelerden dolayı firmanın müşterilere yüksek miktarda ceza ödemesi problemi ele alınmıştır. Bu çalışmadaki amaç gelişen bilim ve teknoloji kullanılarak, yapılacak olan bakım planlamalarını, arızaları önceden tahmin etmek, üretimde durmayı, maliyet kaybını en aza indirmek veya tamamen engelleyebilmektir. Makine Öğrenmesi tekniklerinden denetimli öğrenme tekniği savunma sanayi firmasındaki en kritik kimyasal boya makinesinde uygulanarak bakım planlaması tahmini çalışması yapılmıştır.

## Analysis of machine learning techniques for maintenance and an application

### Article Info

Received: 02.04.2021  
Revised: 13.05.2021  
Accepted: 18.05.2021

#### Keywords:

Machine learning,  
Predictive maintenance,  
Maintenance planning

### Abstract

While maintenance is considered as a necessary activity in every production establishment, it is defined as a critical business function that affects the income and expenses of the company today. The concept of machine learning is the phenomenon of developing algorithms that enable machines to make better decisions by educating themselves in the face of the situations they encounter. Machine learning techniques have been used in the maintenance planning estimation study since the 1950s. In this study conducted by a defense industry firm, the problem of the fact that the parts with high costs due to sudden and unplanned maintenance of the machines are scrap and the company pays a high amount of fines to customers due to delays in shipments. The purpose of this study is to predict the maintenance planning and malfunctions to be made by using developing science and technology, to minimize the cost loss and completely prevent stopping in production, in addition, the supervised learning technique, one of the Machine Learning techniques, was applied in the most critical chemical paint machine in the defense industry company, and maintenance planning was estimated.

## 1. Giriş

Endüstriyel işletmelerde makinelerin arızalanması, parçaların kırılması ya da eskimesi, malzemelerin aşınması durumları söz konusudur. Son zamanlarda bu durumdan dolayı bakım planlaması uygulaması kaçınılmaz bir faaliyet olmuştur. Yapılan araştırmalara göre 1950 yıllarından itibaren bakım konusuna verilen önem gittikçe artmıştır. Değişen sanayi koşullarıyla birlikte işletmelerdeki bakım anlayışı da değişmiştir. Bakım, bir makinenin belirli zaman içerisindeki işlevleri yerine getirebilecek şekilde korunması amacıyla yapılan bir faaliyettir. İşletmelerdeki bakım hizmetleri, büyük yatırımlar yapılan makinelerin veya donanımların çalışılabilirliğini korumak, toplam arıza sayısını düşürmek ve arızalardaki maliyetlerini azaltmak için mevcuttur.

Bakım ilk ortaya düzeltici bakım olarak çıkmıştır. Düzeltici bakım arıza meydana geldikten sonra yapılan bakım faaliyetidir. Düzeltici bakım, ekipmana arızadan sonra daha büyük kayıplara yol açılmaması için uygulanmaktadır. Bu bakım türü zamanla yerini planlı bakıma bırakmıştır. Planlı bakım koruyucu bakım ve kestirimci bakım olarak üzere iki çeşittir. Kestirimci bakım ölçümler sonucu arızanın önceden tahmin edildiği, koruyucu bakım ise periyodik olarak yağlama, yenileme işleminin yapıldığı bakım türüdür. Literatür tarandığında, bu konu ile ilgili çeşit genişlikte çalışmalar yapıldığı görülmüştür. Bakım politikaları sistemdeki güvenilirliği ve sağlamlığı en düşük maliyetle sürdürmeyi amaçlar. Bakım, fonksiyonel bir ekipmanın parça değiştirme, tamir yapma, test etme gibi işlevleri yerine getirmesini ve devamlılığını sağlar. Bakım, fonksiyonel bir birimi belli bir durumda tutmayı, ona belirli işlevsel özellikler kazandırmayı amaçlayan bir politikadır (Lyonnet, 1991).

Bakım planlamasında arızanın önceden bilinmesi ve önlem alınması için tahminleme çalışması yapılabilmektedir. 1970'li yıllardan itibaren makine öğrenmesi teknikleri bu konuda kullanılmaktadır. Makine öğrenmesi ilk olarak 1959 yılında bilgisayar biliminin yapay zekâda sayısal öğrenme ve model tanıma çalışmalarından ortaya çıkmıştır. Makine öğrenmesi yöntemi geliştirilmiş verileri öğrenebilen ve bu veriler üzerinden tahmin yapabilen ve algoritmaları araştıran bir sistemdir. Makine öğrenmesi yöntemi ile daha önceden belirlenmiş verileri kullanarak onlardan yeni tahminleme çalışması yapılmaktadır ve bu teknik sanayide planlama faaliyetlerini kolaylaştıran tekniklerden biri olmuştur.

Endüstride yüksek mekanizasyon ve otomasyon, arızalar yüzünden ürünün zamanında teslim edilememesinden kaynaklı ödenen cezaların olmaması, hatalı ürün çıkışı olduğunda zamanında düzeltilmesi, sürekli gereksiz yapılan bakımlardaki masrafları azaltmak gibi temel sebeplerden dolayı bakım planlaması yapılmalıdır. Eğer bakım planlaması yapılmaz ise firma sevkiyat gecikmesinden kaynaklı prestij, yüksek miktarda para ve müşteri kaybına uğramaktadır.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde makine öğrenmesi ve bakım planlamasının literatür taraması, üçüncü bölümde makine öğrenmesinin ve bakım planlamasının yöntemleri, dördüncü bölümde bulgular ve beşinci bölümde sonuçlar kısmı ele alınmıştır.

## 2. Literatür Taraması

Kestirimci bakım, ekipman parametrelerinin durumuna bağlı olarak arıza riskini azaltarak, hizmet ömrünü artırmayı amaçlar (Garcia ve Sanz-Bobi Pico, 2006). Kestirimci bakım yöntemi, tarihsel olarak nesnel olaylardan, meydana gelmektedir. Önceden alanında tecrübeli kişilerin gözlemlerine dayanarak yapılan işlemin, algılayıcılar ile yapılarak uygulanması sağlanmıştır (Hashemian ve Bean, 2011). Son yıllardaki ilerlemeler sayesinde gelişmiş algılayıcıların duyarlılığı insanlardan daha iyi olabilmektedir.

1958 yılında Rosenblatt tarafından makine öğrenmesinin temeli olan algılayıcılar yani Perceptron geliştirilmiştir. Perceptron doğrusal çok boyutlu düzlem ile ayrıştırılan sorunların çözümünde kullanılmaktadır. Makine öğrenmesindeki teknikler, psikologların hayvan ve insan teorilerini hesaplama modeliyle kesin hale getirilmiştir (Nils J. ve Nilsson, 1996 ). Yapay zeka türlerinden olan makine öğrenmesi, insan beyninin yapısının taklit edildiği bir modeldir. Makineye önce bilgiler öğretilir, sonrasında öğrendiği bilgiler ışığında tahmin yaptırılmaktadır (Nourmohammadzadeh ve Hartman, 2015).

Üretim ve makine öğrenmesi beraber düşünüldüğünde akla ilk gelen çalışma kestirimci bakımdır. Kestirimci bakım anlık verileri inceleyip, bu verilerde bir uyumsuzluk tespit edildiğinde arıza gerçekleşmeden bakım-onarım işleminin gerçekleşmesi mantığına dayanmaktadır. Bir işletmede üretim sistemi büyüdükçe veya üretim miktarı arttıkça bakım faaliyeti önem kazanır. Bu çalışmada kestirimci bakım ve makine öğrenmesi üzerinde durulmuştur.

Literatürde bakım planlaması alanında farklı makine öğrenmesi ve yapay zeka çalışmaları bulunmaktadır. Makine öğrenmesi yöntemlerinin bakım planlamasında uygulanmaya başlanması hayatımızı kolaylaştırmıştır. Literatür incelendiğinde traktör tamir ve bakım tahmininde geri yayılım sinir ağı (Rohani, ve diğ., 2011), rulman

hata teşhisi ve rulman bozulma değerlendirmesi bakımında destek vektör makineleri (Konar ve Chattopadhyay, 2011), makine onarım ve bakım tahmininde geri yayılım sinir ağı yönteminin kullanıldığı görülmektedir. Literatürde makine öğrenmesinin bakım planlamasında kullanıldığı bir diğer çalışma ise derin öğrenme yöntemine dayanmaktadır. Bu konuda yapılan ilk çalışma yüksek hızlı CNC freze makinelerin ürettiği veriler ile yapılan çalışmadır (Tamilselvan ve Wang, 2013). Çalışmada regresyon, destek vektör makineleri, tek katmanlı derin öğrenme yöntemleri kullanılmıştır.

Sriram ve Haghani (2003), uçak bakım planlaması ve tekrar uçuşa verme için bir model oluşturmuştur. Uçak için bakım planlaması tahmini havayolu şirketinin vermek zorunda olduğu en önemli karar problemidir. Sarac, Batta ve Rump (2006), uçak bakım planlamasında çalışmalar yapmışlardır. Günlük uçak bakım planlaması nedeniyle uçakların kalan uçuş sürelerinin dışına çıkılmadan ekipmanların kalan ömürleri çalışması yapılmıştır. Çalışmada uçağın bir sonraki bakımın gerçekleşeceği uçuş saatini maksimumda tutmak amaçlanmaktadır.

Ekici (2012), makine öğrenmesi yöntemlerinden destek vektör makinelerini kullanarak iletim hatlarındaki arıza tahmini yapan ve arıza türünü bulan bir yöntem gerçekleştirmiştir. 1950'li yıllardan itibaren arıza tahmininde makine öğrenmesi ve yapay zeka teknikleri yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Aggarwal vd. (1999) denetimli ve denetimsiz makine öğrenmesi teknikleriyle iletim hatlarındaki arıza tahmini ve arıza tipleri sınıflandırması çalışması yapmıştır. Yapılan incelemelerde lineer olmayan regresyon tekniğine sahip yapay sinir ağları yöntemleri kullanılmış olup, global hatayı en aza indirmek amaçlanmıştır.

Literatürdeki bir diğer çalışma ise, Turbofan makinesine bağlı jet motoru algılayıcılarına yapılan kestirimci bakım çalışmasıdır. Bu çalışmada regresyon, sınıflandırma ve derin öğrenme yöntemleri kullanılmıştır (Öztañır, 2018).

Literatürdeki çalışmalar genel olarak tarandığında, bakım alanındaki çalışmaların yapay zeka ile birleştirildiği, bakım planlaması, makinelerdeki arıza tahminleri, makinelerin kalan ömür tahminleri konularının ele alındığı görülmektedir. Kullanılan yöntemler çoğunlukta derin öğrenme, sınıflandırma, karar ağacı yöntemleridir.

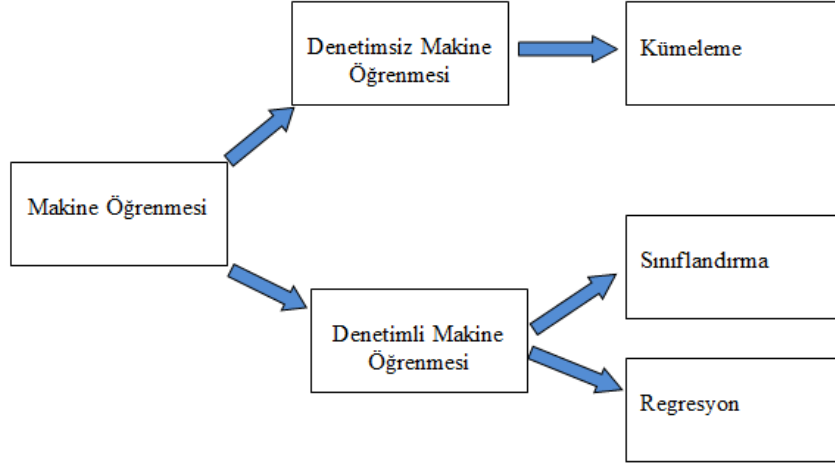
Bu çalışmayı diğerlerinden ayıran nokta ise çalışmada arızadan önce bakım tarihinin belirlenmesi, makine öğrenmesi yöntemlerinden polinomal regresyon ve destek vektör makinesi yöntemlerinin kullanılması ayrıca çalışma sonrasında karekök analizi ile en uygun yöntemin rakamsal olarak ifade edilmesidir. Bu çalışma literatüre, istasyon ya da alandaki bir makinenin daha önceki geçmiş arıza ve algılayıcı verilerinden yararlanarak makinelerdeki aniden meydana gelen duruşları azaltmak yönünde katkı sağlamaktadır.

Bu çalışma ile önerilen yöntemlerle gerçek bakım planlaması çalışmalarının başlatılması için bilimsel bir yaklaşım önerilmiş ve üretim sürekliliğine katkı sağlanmıştır. Sürekli üretim tesisi olan işletmelerde hangi makinenin veya ekipmanın ne zaman bakıma alınması gerektiği bilinmesi gerekmektedir. Bu çalışma sayesinde üretimde meydana gelen aksaklıkların ve duruşların önüne geçilmesinin sağlanması ve sevkiyatlardaki gecikmelerin azaltılması amaçlanmıştır. Çalışma gerçek verilerle yapıldığı için sonrasında başka yazılımlarla kodlama çalışması yapılarak tesis için bakım zamanı geldiğinde alarm etkisi yaratacak bir çalışma olarak katkı sunmaktadır.

### 3. Yöntemler

#### 3.1 Makine öğrenmesi yöntemleri

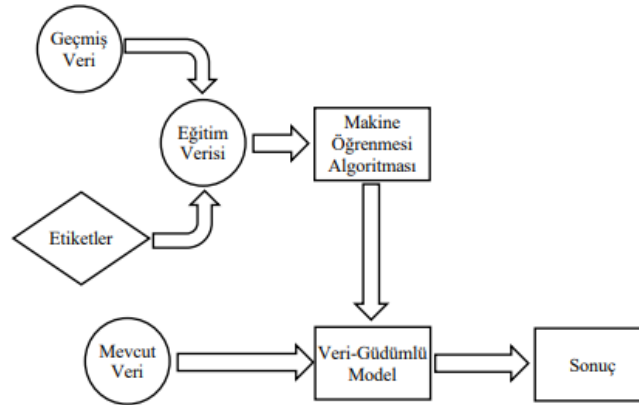
Makine öğrenmesinin tarihi, ilk öğrenen makinelerin kurulması, teori temelleri, sinir ağları olmak üzere öne çıkan üç olayla nitelendirilebilecek farklı dönemler altında gruplandırılabilir (Vapnik, 2000). Veri madenciliğinin gelişmesinde önemli rol oynayan ve sıklıkla kullanılan, makine öğrenmesi yöntemleri; denetimli öğrenme (supervised learning), denetimsiz öğrenme (unsupervised learning) ve yarı-denetimli öğrenme (semi-supervised learning) algoritmalarıdır. Şekil 1'de kategorize edilmiş makine öğrenme yöntemleri gösterilmektedir. Bu çalışmada veri girdi setine sahip olan gerçek veriler kullanılacağından denetimli makine öğrenmesi teknikleri kullanılmıştır.



Şekil 1. Makine Öğrenmesi Yöntemleri

### 3.1.1 Denetimli makine öğrenmesi önerilen yöntemler

Denetimli makine öğrenmesi, insan müdahalesi olmadan geçmişe dayalı verilerden öğrenebilen algoritmalarıdır. Denetimli öğrenmede bilinen bir girdi veri seti vardır. Denetimli öğrenme hem giriş hem de çıkış parametrelerine sahiptir. Girdi verilerini kullanarak bu veriler üzerinden tahminlemeler yapılmaya başlanır ve algoritma kabul edilen performansa geldiğinde öğrenme durur. Kullanılan veri seti “geçmiş veri” olarak tanımlanmaktadır. Toplanan tüm verilerde ilk olarak tamamı kullanılamayacağından veri temizleme, filtreleme işlemi gerçekleştirilir. Sonrasında veri setleri etiketlenerek makine öğretilmeye başlanır. Elde edilen veri setine eğitim verisi denir. Bu veriler makine öğrenmesi tekniği ile işlenerek, giriş ve çıkış algoritmasına dayanan model oluşturulur. Bahsi geçen iş akışı Şekil 2’de görselleştirilmiştir.



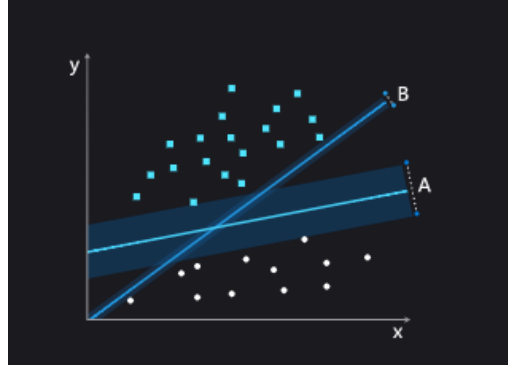
Şekil 2. Denetimli Öğrenme (Jahnke, 2015)

Arıza zamanı tespiti ve bakım planında, denetimli öğrenme en yaygın kullanılan öğrenme tekniğidir. Bu teknik geçmiş verilere dayandığı için birden fazla çalışmaya olanak sağlamaktadır, bununla gerçek dünya sistemi izlenmektedir (Jahnke, 2015).

#### 3.1.1.1 Destek vektör makinesi

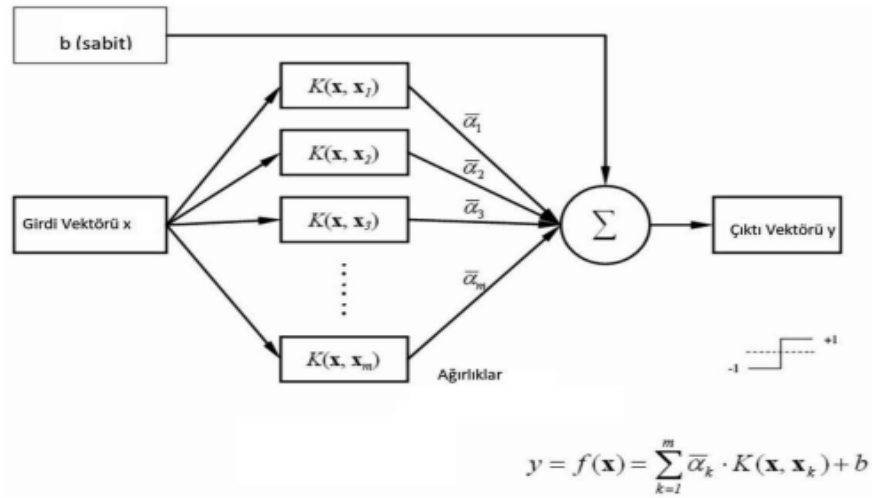
Destek Vektör Makineleri, etkin makine öğrenimi tekniklerinden biridir. Destek Vektör Makinelerinin en önemli avantajı, sınıflandırma problemini kareli optimizasyon problemine dönüştürüp çözmesidir. Böylece problemin çözümünde tahmin aşamasında işlem sayısı azalmakta ve diğer algoritmalara göre daha hızlı çözüme ulaşılmaktadır (Osowski ve diğ., 2004). Bu nedenle büyük hacimli veri setlerinde daha kullanışlı bir yöntemdir. Destek vektör makinesi optimizasyon temelli olduğundan diğer tekniklere oranla karmaşık problemlerde daha kullanışlıdır (Nitze ve diğ., 2012). Karmaşık veri setleri için en uygun yöntemdir. Bu teknik bağımsız öğrenme algoritmasıdır, çünkü veriye dayanan birleşik dağılım fonksiyonuna ihtiyaç duymadan çalışır (Soman ve diğ.,

2011). Destek vektör makinelerinin en yakın veri noktaları arasında hiper düzlem oluşturması durumu Şekil 3’de gösterilmiştir.



Şekil 3. Destek Vektör Makineleri (Vapnik, 2000)

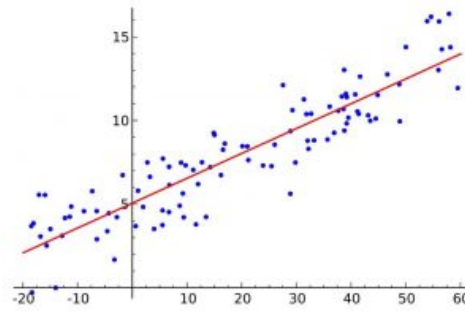
Aşağıdaki Şekil 4’te destek vektör makinesinin ağ yapısı verilmiştir. Bu akış şemasında  $K(X, X_k)$  çekirdek fonksiyonlarını,  $\alpha$  ise ağırlıkları gösteren Lagrange çarpanını ifade etmektedir. Bu yapı ile girdilerin iç çarpımları hesaplanmaktadır (Ayhan ve Erdoğan, 2014).



Şekil 4. Destek Vektör Makinesi Ağ Yapısı (Ayhan ve Erdoğan, 2014)

### 3.1.1.2 Regresyon Yöntemi

Regresyon işlemi de sınıflandırma işlemi ile benzerdir. Regresyon işleminde de bir eğitim kümesi ve bu eğitim kümesinden tahminleme çalışması yapılarak oluşturulan bir model mevcuttur. İki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiye regresyon denir. Regresyonda kullanılan parametreler birbirinden bağımlı veya bağımsız olabilir. Amaç, parametreler arasındaki ilişki fonksiyonunu elde etmektir. Lineer regresyon bağımlı değişken ile bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi gösteren algoritmadır (Freedman, 2009). Şekil 5’de lineer regresyon yöntemi ile değişkenler arasındaki ilişki görsel olarak ifade edilmiştir.



Şekil 5. Regresyon (Freedman, 2009)

Lineer regresyon özellikleri ve davranışları çok iyi bilme, parametre tahminleri, çok geniş ve karmaşık problemlerin kolay çözülmesi, spesifik veriler için tahminlerin büyük olasılıkla çözülmesi gibi avantajlara sahiptir. Lineer modelde doğrusal bir sınıflandırma oluşturularak çözüm yoluna gidilir. Regresyon modelinin bir diğer türü lojistik regresyondur.

Lojistik Regresyon sınıflandırma işlemi yapmaya yarayan bir regresyon yöntemidir. Bağımlı değişkenin iki farklı değer alması durumunda kullanılmaktadır (Evet / Hayır vs). Kategorik ve sayısal verilerin işlenmesinde kullanılmaktadır. Doğrusal sınıflandırma problemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Doğrusal regresyon modelinde,  $y$  bağımlı değişkeni,  $x$  bağımsız değişkeni,  $\beta_0$  kesişim noktası,  $\beta_1$  doğrunun eğimini ve  $\varepsilon$  ise gerçek değerlerin sapmalarına neden olan rassal değişkeni ifade etmek kullanılır (Kutner ve diğ., 2015).

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon$$

Polinomal (lojistik) regresyon ise bağımlı değişkenin sürekli çıkış değerleri yerine sınıfları tahmin edilir. Lojistik regresyonda,  $s$ , bağımsız  $x$  değişkeninin  $-\infty$  ile  $+\infty$  arasında değerler alabilen doğrusal işlevi olmak üzere aşağıdaki ifade kullanılır (Gök ve Atuntaş, 2017).

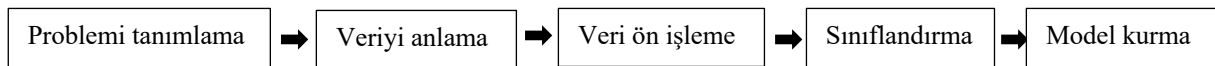
$$f(s) = \frac{e^s}{1 + e^s} = \frac{1}{1 + e^{-s}}$$

### 3.1.2 Denetimli makine öğrenmesi diğer yöntemler

#### 3.1.2.1 Sınıflandırma yöntemi

Denetimli öğrenme yöntemlerinden en etkin kullanılan sınıflandırma tekniğidir. Sınıflandırma tekniği eğitilmiş veri setine yönelik tahminleme çalışması yapılmak amacıyla kullanılır (Sebastiani, 2002). Sınıflandırma probleminde sonuç çıktıların ayrı ayrı tahmin edilmeye çalışılır. Makine öğrenmesi metodu tahmininde kullanılan çıktı kategorik ise sınıflandırmadır, eğer numerik ise regresyondur. Bu çalışmada regresyon yöntemi kullanılmıştır.

Sınıflandırmada problem tanımlama, veriyi anlama, veriyi hazırlama, veri ön işleme ve model kurma aşamaları Şekil 6'da mevcuttur.

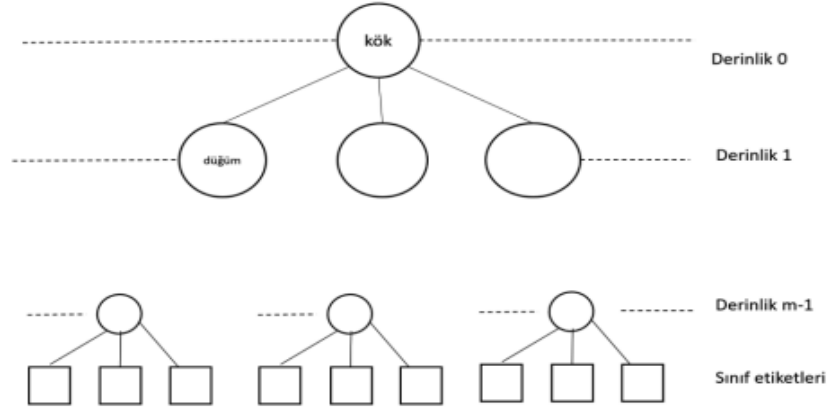


Şekil 6. Sınıflandırma Şeması

#### 3.1.2.2 Karar ağacı

Karar ağacı, ağaç tabanlı algoritmalarından biri olup karmaşık problemlerde kullanılır. Karar ağaçlarının ilk hücreleri köktür ve kök hücrelerinin altında yapraklar bulunur, bu yapraklar bize sonucu verir. Belirli bir karar için olası tüm çözümleri tanımlayan başarılı bir yöntemdir. Olası çözümlerin grafiksel gösterimidir. Gerçek hayatta uygulanan karar ağaçları yapısı çok karmaşık olmakla beraber seçenek olarak çok fazladır. Karar ağacı ile yapılan her planlamanın maliyeti ve faydası ortaya çıkmaktadır. Karar ağaçlarının genel akış şeması Şekil 7'de ifade edilmiştir.





Şekil 7. Karar Ağacı Akışı (Albayrak ve Yılmaz, 2019)

Karar ağacında her bölme işlemi ile birbirine benzeyen veriler gruplandırılır ve tümevarım yöntemi ile çözmeye çalışılmak amaçlanır.

Karar ağacında veri seti oluşturma algoritması aşağıdaki Tablo 1’de ifade edilmiştir.

Tablo 1. Karar Ağaçları Algoritması

Veri oluşturma algoritması
Girdi: T (Öğrenme Kümesi) 1. Her nitelik için bilgi kazancını hesapla 2. Bilgi kazancının en yüksek niteliğini “ayırıcı nitelik” seç 3. T’yi ayırıcı nitelik ile böl, düğüm oluştur. If( örnekler aynı sınıfta   örnekleri bölecek özellik yok   kalan özellik için örnek yok) { İşlemi sonlandır } else { 1. adıma geri dön }

### 3.1.3 Denetimsiz makine öğrenmesi

Denetimsiz öğrenmede sistem öğretilmiyor, verilerden kendisi öğreniyor. Denetimli öğrenmede olduğu gibi geçmiş veriler makineye öğretilip sonrasında gelecek tahmini yapılmıyor. Bu yöntem bakım planında kullanılan bir yöntem değildir. Verileri keşfetmek için kümelere ayırmak gerekiyorsa bu yöntem kullanılır fakat kümeleme olmayacaksa tercih edilen bir yöntem değildir. Daha karmaşık bir yöntemdir.

### 3.2 Bakım planlaması yöntemleri

Bakım, maliyet azaltma türleri arasında ilk sırada yer almaktadır. Bakım yapılması zorunlu bir faaliyet olduğu için firmalar için önemli bir durumdur (Tsang, 2002). Modern endüstride az kaynak ile daha fazlasını yapmak durumu ön plana çıkmıştır. Bunun nedeni bütçelerin azalması şirketlerin küçülmesidir. Böylelikle ürün değişkenlikleri artarak insanlar tarafından ekipmanlardan üst düzey performans beklenmektedir (Cassady ve diğ., 2001). Bakım, ekipman ve parça stoğunu minimize hale getirir. Bir fabrikanın makine ve tesislerinin sürekli olarak çalışır durumda olması için gerekli faaliyetlerin planlanması bakımın gerekliliğidir. Bakım sayesinde ekipmanın ömrü ve ekipmanın performansı artar, enerji tasarrufu sağlanır.

Bir işletmede yapılacak bakım, işletmenin kendi bakım ekibi tarafından yapılabileceği gibi, dışarıdan da satın alınabilir. Bakım maliyeti ve uygun ekipman yetersizliği göz önüne alındığında dışarıdan bakım hizmeti satın alınması gerçekleştirilebilir. Arıza ve kesinti plansız bakımda oldukça yüksektir, planlı bakımda ise sonradan oluşan maliyet diğerlerine göre daha azdır. Makinalardaki durumu en aza indirerek mümkün olan en yüksek düzeyde üretimi sağlamak amacıyla bakım çalışması yapılır.

Üretim maliyetlerini düşürmek, verimi ve kaliteyi artırmak, makine duruş sayısını azaltmak ve sürekli üretimi sağlamak bakım faaliyetlerinin başlıca amaçlarıdır. Bakım planı ile kapasite kullanım oranının artırılmasını sağlar ve böylece yatırımlar için harcanan sermayeden daha fazla verim elde edilmesi sağlanır. Arıza halinde makine veya tesis zincirleme olarak bütün sistemi, üretimi etkilemektedir. Bu etki yanlış malzemenin üretilmesi ya da kalitenin düşmesine sebebiyet vermektedir. Böylece müşteri taleplerinin karşılanamaması ve müşteri kayıplara meydana gelmektedir.

### 3.2.1 Bakım planlaması önerilen yöntem

#### 3.2.1.1 Kestirimci (Öngörücü) bakım

Kestirimci bakım mevcut durum analizinin daha gelişmiş yaklaşımıdır. Kestirimci bakım, makine ve ekipmanların çalışma durumlarını, ölçüm ve analizlerinin sonuçlarını değerlendiren, olumsuz bir durum varsa önlem olarak gerekli planlamaların yapılmasını sağlayan bir bakım türüdür (Zhou ve diğ., 2007). Kestirimci bakımda özel aygıtlar kullanılarak gözlem ve ölçümler yapılabilmektedir. Bir makine ya da parçanın durumunu izleyerek, elde tutulan verilerden yararlanarak bakımın yapılacağı en uygun zamanı belirleyen bir faaliyettir. Böylece daha az duruş, işçilik ve maliyet kaybı olmakta, ekipmanların ömrü uzadığı için daha çok kullanılmaktadır (Baraçlı ve diğ., 2001). Bu yöntemde arızanın nedeni önceden belirleneceği için bakım yapılırken daha az zaman harcanmaktadır. Makine arızalanmadan müdahale edildiği için üretim durmadan, sevkiyatlar gecikmeden makine aktif hale gelmektedir. Üretimde süreklilik bu yöntem ile daha iyi sağlanmaktadır.

Kestirimci bakım ölçme ve kontrol, analiz değerlendirme, bakım planlama ve bakım onarım olmak üzere dört aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar ile düzgün operasyon şartlarında ekipmanın arızaya doğru hareket edip etmediği teslim edilir.

**Ölçme ve Kontrol:** Özel aygıtlarla yapılan ölçümler ile makine veya ekipmanların ölçümleri gerçekleştirilir. Olması gereken değerler ve olan değerler karşılaştırılır.

**Analiz ve Değerlendirme:** Titreşim, basınç, sıcaklık, performans gibi ölçülen değerlerin analizi yapılarak son durumlar değerlendirilir. En önemli analiz edilebilecek parametreler vibrasyon, yağ analizi, ultrasonik test, kızıl ötesi sıcaklık, motor akım analizidir.

**Bakım Planlama:** Belirlenen arızanın giderilmesi için iş emri oluşturulur ve arıza için bakım planlama tarihi belirlenir.

**Bakım-Onarım:** Bakım-onarım belirlenen tarihte gerçekleştirilerek üretimin durması engellenir. Üretime ara vermeden, sevkiyatlarda gecikme olmadan müşteri memnuniyeti sağlanır.

### 3.2.2 Bakım planlaması diğer yöntemler

#### 3.2.2.1 Plansız-Düzeltilici bakım

Plansız bakım, arıza olduktan sonra yapılan gecikmiş bir bakımdır. Bu bakım türü oldukça maliyetli bir hâle dönüşebilir. Hatta o anda oluşan küçük bir arıza giderilirken daha büyük arızalara ya da problemlere yol açabilecek sorunlar meydana getirebilir. Bu nedenle bu tip arızaların daha büyük arızalara ve duruşlara sebebiyet verdiği görülmektedir. Önleyici bakım yaptırılmamasından kaynaklı meydana gelen plansız arızalardır. İşletmeler tarafından bütçe ve çeşitli sebeplerden dolayı istenmeyen bir durumdur. Önleyici bakım ise ekipmanın ömrünü uzatmak, planlanmamış bakımın etkilerini azaltmak için yapılan bakımdır (Worsham, 2004).

#### 3.2.2.2 Koruyucu bakım

Makine üreticisi imalatçı firmalar veya bakım planlama ekibi tarafından belirlenmiş periyodik zamanlarda yapılan bakımdır. Yağlama, yenileme, değiştirme işlemlerinin gerçekleştirildiği ekipmanların kontrol edildiği bakım türüdür. Düzgün bir planlama ile yapıldığında endüstride kullanılacak uygunlukta olup, üretimin sürekliliğini artıran bir yöntemdir (Kenne ve Nkeungoue, 2007)

## 4. Bulgular

Bu çalışma Savunma Sanayi'nde Türk Havacılık firmasında boya tesisinin bulunduğu alanda gerçekleştirilmiştir. Boyahane tesisinde gerçekleştirilen bu çalışmada otomatik boya makinesinin bakım planlama günleri için tahmin yapılmış ve belirlenmiştir. Makine özellikle önemli projelerin boyandığı su bazlı cihazdır. Bu makinede bozulma

veya arıza olduğu zaman üretim durmakta, acile düşen sevkiyat parçaları artmaktadır. Hatta üretimin duruşundan kaynaklı kimyasaldan gelen saatlik parçalar hurda olmaktadır. Bundan dolayı firma müşteri kaybı ve büyük maddi zarara uğramaktadır. Bu su bazlı makinede işleme alınan parçalar sevkiyat gününe yetişmediği takdirde parçalar için firma günlük zarar ödemektedir. Bu nedenle bu makinenin arızaya geçmeden önce son durumunun tahmin edilmesi önemlidir. Cihaz için belirli bakım zamanları önceden belirlenmelidir. Bu istasyondaki makineye gelen parçalar kimyasaldan geldiği için 18 saat süre içerisinde yüzey kaplama primer ve renk boyası işleme yapılması gerekmektedir. Aksi takdirde parçalar hurda olup firma ciddi zarara uğramaktadır, hurda olmayan parçalarda ise geç boyamadan kaynaklı boya kalkması meydana gelmektedir, dolayısıyla müşteri kaynaklı şikâyetler firmaya zarar vermektedir.

Su bazlı makinenin performans yüzdesine göre bakım zamanının tahmini yapılmalıdır, çünkü makineye giren karton sayısı ve boyama süresi performansıyla orantılıdır, makinenin performansında azalma olduğunda makinenin karton alma sayısı azalır ve toplamda boyadığı karton sayısından daha az parça alır. Aynı zamanda performansı azalan makinenin boyama süresi uzamakta ve hızı düşmektedir. Makinenin performans yüzdesine göre kalan süre sistemsel olarak yansımaktadır.

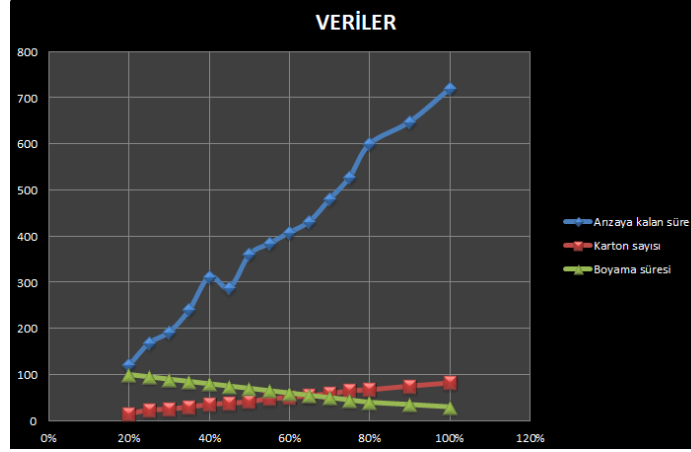
Su bazlı makinenin %100 performansla çalıştığında alacağı karton sayısı 82'dir. Ayrıca 20 kartonun altında makinenin açılması sağlanamaz, çünkü boşa giden boyanın maliyeti bir gün beklemenin maliyetinden daha fazladır. Bu cihaz 7 gün 24 saat aralıksız olarak çalışmaktadır ve sadece bozulduğunda bakım yapılmaktadır. Bakım süreleri ve türleri farklı olduğundan ne zaman yapılacağı mevcut durumda sadece anlık arızalarla belirlenmektedir. Cihazın yedek parçaları firmada bulundurulduğundan cihazın bakımı için en fazla 4 güne ihtiyaç vardır, bu nedenle 4 gün önceden arıza durumunu bildiren bir sistem olmalıdır. Amaç makine öğrenmesi teknikleri ile bakım planlaması tahmini yapmak, daha önceden belirlenen süreler ile makine öğrenmesi sonucu çıkan tahminlerin uyum yüzdesine bakmaktır. Bu çalışmada denetimli makine öğrenmesi tekniklerinden lineer regresyon, polinomal regresyon ve destek vektör makineleri yaklaşımı kullanılmıştır.

Bu yöntemlere spyder uygulamasında çalışıldıktan sonra çıkan sonuçlar kök ortalama kare hatası yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Veri seti savunma sanayinin gizliliğinden dolayı gerçek ve yaklaşık değerlerden oluşmaktadır. 2 adet veri seti ele alınarak problem çözülmüştür. Performans ve ömür olarak nitelendirilen veri setleri, eğitim ve test veri setleri olmak üzere ayrılmıştır. 15 adet veri bulunmaktadır. Eğitim seti arıza durumuna geçene kadar olan verileri içermektedir. Makine öğrenmesi yöntemleriyle çözüm için Python yazılımı kullanılmıştır. Problem için kullanılan veri seti Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Problem İçin Veri Seti

Performans	Arızaya kalan süre	Karton sayısı	Boyama süresi
100%	720	82	30
90%	648	75	35
80%	600	67	40
75%	528	65	45
70%	480	58	50
65%	432	55	55
60%	408	50	60
55%	384	48	65
50%	360	41	70
45%	288	38	75
40%	312	35	80
35%	240	30	85
30%	192	25	90
25%	168	23	95
20%	120	15	100

Şekil 8'de veriler X, Y dağılımı ile analiz edilerek gösterilmiştir. Karton sayısı, arızaya kalan süre ve boyama süresi arasındaki ilişki analiz edilerek gösterilmiştir.



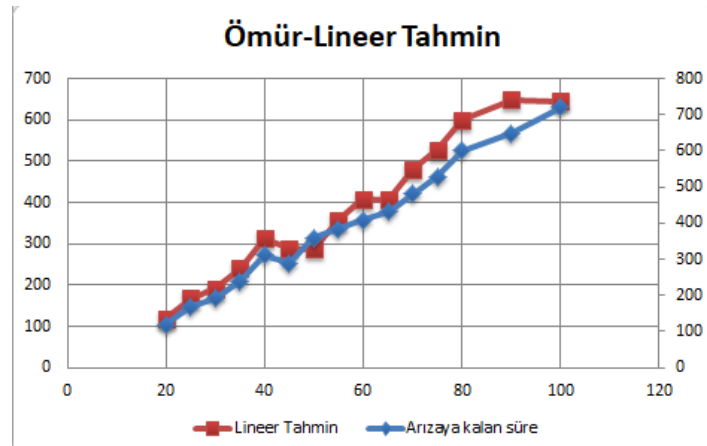
Şekil 8. Verilerin X,Y dağılımıyla gösterimi

Çalışmada yukarıdaki değerlerden veri ön işleme yapılarak sadece gerekli kriterler belirlenmiştir. Bu nedenle performans ve makine ömrü verilerinden yararlanarak test ve eğitim setleri oluşturulmuştur. Performans verisinden  $x_{test}$  test setini ve  $x_{train}$  eğitim setini oluşturmaktadır. Veriler Şekil 8’de gösterildiği gibi 0,33 oranında eğitim ve test seti olarak bölünmüş ve rassal olarak seçilmiştir. Şekil 9’da sol taraftaki değerler makine öğrenimi için eğitim verileri, sağ taraftaki veriler ise tahminleme sonucu oluşturulan test verileridir.

x_train - DataFrame		x_test - DataFrame	
Index	performans	Index	performans
0	100	1	90
2	80	6	60
3	75	8	50
4	70	9	45
5	65	14	20
7	55		
10	40		
11	35		
12	30		
13	25		

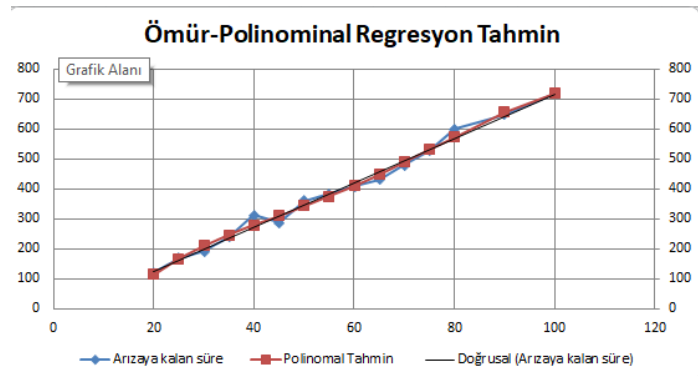
Şekil 9. Ömür eğitim ve veri seti oluşturma

Sonuç olarak lineer regresyon uygulanmış ve makine öğrenmesi ile test olarak ayrılmış 5 verinin performans açısından arızaya geçmesinin kalan süreleri tahmin edilmiştir. Gerçek yani tecrübeye dayanan sürelerle karşılaştırma yapılarak makine öğrenmesi tekniğinin başarı oranı hesaplanır. Lineer regresyon sonucu çıkan tahminlerin ve gerçek ömür değerlerinin karşılaştırılması Şekil 10’da verilmiştir. Arızaya girdiği performans verileri ve tahminleme sonucu arızaya girebileceği performans değerleri arasındaki fark gösterilmiştir.



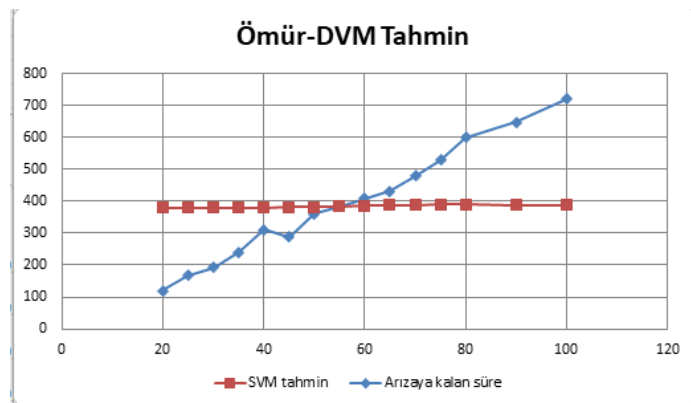
Şekil 10. Ömür ve lineer tahmin

Polinomial regresyon sonucu çıkan tahminlerin ve gerçek ömür değerlerinin karşılaştırılması Şekil 11’de verilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucu arızaya kalan süreye en yakın zaman polinomial ile belirlenmiştir. Planlamada herhangi bir sapma olmaması için arızaya kalan sürenin yüksek olması istenilen bir durumdur. Polinomial regresyonda arızaya kalan süre diğer tahminlemeden daha fazladır ve önlem ona göre daha önceliklidir.



Şekil 11. Ömür ve polinomial regresyon tahmin

Destek vektör makineleri sonucunda arızaya kalan süre performans açısından minimum değerler olarak gözlemlenmektedir. Normalde 480 gün sonrasında arıza veren makinenin bu tahminleme sonucunda 388 gün sonra arızaya geçeceği görülmektedir, bu durum daha önce görülmemiştir. Destek vektör makinesi sonucu çıkan tahminlerin ve gerçek ömür değerlerinin karşılaştırılması Şekil 12’de verilmiştir.



Şekil 12. Ömür ve DVM tahmin

Bu çalışma kapsamında Lineer regresyon, polinomial regresyon ve destek vektör makineleri teknikleri kullanılmıştır. Bu teknikler sonucunda arızaya kalan süre ve performans verisi hesaplanmıştır. Tablo 3’de yaklaşım için hesaplanan tahmin değerleri verilmiştir.

Tablo 3: Yaklaşımlar için Tahmini Değerler

Performans	Arızaya kalan süre	Lineer tahmin	Polinomal tahmin	DVM tahmin
100	720	644,293	719,439	387,118
90	648	648	656,688	388,378
80	600	600	574,357	389,013
75	528	528	531,401	388,844
70	480	480	489,32	388,234
65	432	405,666	449,109	387,164
60	408	408	411,316	385,702
55	384	357,941	376,045	384
50	360	286,353	342,953	382,272
45	288	288	311,253	380,745
40	312	312	279,71	379,605
35	240	240	246,645	378,962
30	192	192	209,932	378,837
25	168	168	167	379,167
20	120	119,314	114,832	379,829

Yapılan analizler sonucu kök ortalama kare hatası hesaplanmıştır, hesaplama hem excel ortamında manuel olarak hem de python yazılımında yapılmıştır. Kök ortalama kare hatası lineer sonucunda 0,9, polinomal lineer sonucunda 1,0 ve destek vektör makinesi sonucunda 0,037 olarak değerler sonuçlanmıştır. Bu değerler sonucunda tahminlemenin ne kadar doğru sonuçlar vereceği planlanmıştır. Bu değerler arızalanma süresi olarak değerlendirildiğinde üretim için en etkin olan polinomal değer olarak belirlenmiştir. Bu çalışmanın devamında SQL’de alarm l-kodu yazılarak makine öğrenmesinde hesaplanan tahmini saatlere göre ömür 209,8 saatin altına düştüğünde bilgisayarlara otomatik olarak rapor gitmesi sağlanacaktır.

## 5. Sonuç

Bu çalışma kapsamında, kestirimci bakım ve makine öğrenmesi perspektifi ile kök ortalama kare hesabı ve bakım takvimi planlaması çalışması gerçekleştirilmiştir. Kök ortalama kare hesabı için python spyder uygulaması kullanılmıştır. Bu şekilde, çıkan değere göre hangi yöntemin kullanılacağını gösteren rakamsal ifade belirlenmiştir. Periyodik bakım takvimi planlaması için de regresyon, destek vektör makineleri yöntemleri kullanılmış, etiketlenmiş veriler üzerinden modeller eğitilerek, performans bazlı bakım planlamasında doğrudan kullanılacak çıktıları üretmek hedeflenmiştir.

Çalışmalar savunma sanayinde otomatik boya tezgâhında yapay zeka alanında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma sayesinde makineler için kalan faydalı ömürler hesaplanmış, ona uygun olarak bakım tarihleri belirlenmiştir. Üretimin aksamaması, parçaların hurdaya ayrılmaması ve müşteri kaybının olmaması için çalışma yapılmıştır. İki ayrı veri setinde performanslar ayrı ayrı gözlemlenmiş, birbiri ile doğrulanarak net sonuçlar ortaya çıkmıştır. Otomatik boya tezgâhındaki algılayıcılardan alınan veriler, genel olarak sanayide kullanılmakta olan gelişmiş robotları ve üretim hatlarındaki diğer ekipmanları takip eden algılayıcılar ile aynı özelliktedir. Karşılaştırmalı sonuç tablolarındaki değerler göz önüne alınarak hangi yöntemin bakım planlamasında kullanılacağı, ne oranda kazançlar sağlayacağı analiz edilmiştir. Polinomal yöntem ile üretime ara vermeden bakım çalışmasının yapılacağı gösterilmiştir. Gelecek çalışmalarda, buradaki sonuçlar ışığında önerilen yöntemin, ‘gerçek’ bir sistemden elde edilen veriler üzerinde uygulaması yapılabilir ve üretilen sonuçlara göre bakım planlaması gerçekleştirilebilir.

## Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada, Gözde Nur Calayır, problemin ortaya konması, literatür taraması, makalenin oluşturulmasında, Mehmet Kabak yazım kontrolleri ve son kontrollerin yapılarak düzenlenmesinde katkı sağlamıştır.

## Çıkar Çatışması

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

## Kaynaklar

Aggarwal, R. K., Xuan, Q. Y., Dunn, R. W., Johns, A. T. ve Bennett, A. (1999). A novel fault classification technique for double-circuit lines based on a combined unsupervised/supervised neural network, IEEE transactions on Power Delivery, 1250-1256. Doi: <https://doi.org/10.1109/61.796214>

- Albayrak, A.S., Yılmaz, Ö. (2019). Veri madenciliği: Karar ağacı algoritmaları ve İMKB verileri üzerine bir uygulama. “*Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*.” Doi: <https://doi.org/10.31590/ejosat.843837>
- Ayhan, S., Erdoğmuş, Ş. (2014). Destek vektör makineleriyle sınıflandırma problemlerinin çözümü için çekirdek fonksiyonu seçimi. “*Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*.” Erişim adresi: <http://www.itobiad.com/tr/pub/issue/54141/673015>
- Baraçlı, H., Coşkun, S., Eser, A. (2001). Toplam kalite programlarının başarılı olarak uygulanabilmesinde toplam üretken bakım tekniği, *I. Demir-Çelik Sempozyumu*, 340-341, Zonguldak. Erişim adresi: <https://www.mmo.org.tr/kitaplar/idemir-celik-sempozyumu-bildiriler-kitabi-1>
- Cassady, C.R., Pohl, E.A., Murdock W.P. (2001). Selective Maintenance Modeling for Industrial Systems, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 7, 104-117. Doi: <https://doi.org/10.1108/13552510110397412>
- Ekici, S. (2012). Support Vector Machines for classification and locating faults on transmission lines, *Applied Soft Computing*, 1650-1658. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2012.02.011>
- Freedman, D. A. (2009). *Statistical Models*, Cambridge University Press. Doi: <https://doi.org/10.1017/CBO9781139165495>
- Garcia, M. A., Sanz-Bobi, Pico, J. (2006). SIMAP: Intelligent System for Predictive Maintenance. “*Application to the health condition monitoring of a wind turbine gearbox*”, *Comput. Ind.*, 57, 552-568. Doi: <https://doi.org/10.3390/pr9020300>
- Gök, M., Atuntaş, V. (2017). “*Regresyon Analizi*”, (Ed. Akçetin E, Çelik, U, Gök, M.) “*Rapidminer ile Veri Madenciliği*”, 85-86, Ankara. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/gujsc/issue/31140/311082>
- Hashemian, H., Bean, W. C. (2011). “*State-of-the-art predictive maintenance techniques*,” *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 60, 3480-3492. Doi: <https://doi.org/10.1109/TIM.2009.2036347>
- Jahnke, P. (2015). *Machine Learning Approaches for Failure Type Detection and Predictive Maintenance*, 83. Erişim adresi: [https://www.ke.tu-darmstadt.de/lehre/arbeiten/master/2015/Jahnke\\_Patrick.pdf](https://www.ke.tu-darmstadt.de/lehre/arbeiten/master/2015/Jahnke_Patrick.pdf)
- Kenne, J.P., Nkeungoue, L.J. (2007). Simultaneous control of production, preventive and corrective maintenance rates of a failure-prone manufacturing system, *Applied Numerical Mathematics*. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.apnum.2006.11.010>
- Konar, P., Chattopadhyay, P. (2011). “*Bearing fault detection of induction motor using wavelet and Support Vector Machines (SVMs)*,” *Appl. Soft Comput. J.*, 11, 4203-4211. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2011.03.014>
- Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., Neter, J., Li, W. (2015). “*Applied Linear Statistical Models*”, Cilt 103. McGraw-Hill Irwin, New York. Erişim adresi: <https://docplayer.biz.tr/140769174-Fen-bilimleri-dergisi-makine-ogrenmesi-yontemleri-ile-akademik-basarininin-tahmin-edilmesi.html>
- Lyonnet, P. (1991). *Maintenance Planning: Methods and Mathematics*, Chapman&Hall. Doi: <https://doi.org/10.1002/qre.4680090514>
- Nils J. Nilsson, (1996). *Introduction to Machine Learning: An Early Draft of a Proposed Textbook*, Stanford University. Erişim adresi: <https://ai.stanford.edu/~nilsson/MLBOOK.pdf>
- Nitze, I., Schulthess, U., Asche, H. (2012). Comparison of machine learning algorithms random forest, artificial neural network and support vector machine to maximum likelihood for supervised crop type classification. *Proceedings of the 4th. GEOBIA*, 35-40. Doi: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-W6-573-2019>
- Nourmohammadzadeh, A., Hartmann, S. (2015). *Fault Classification of a Centrifugal Pump in Normal and Noisy Environment with Artificial Neural Network and Support Vector Machine Enhanced by a Genetic Algorithm in Theory and Practice of Natural Computing*. *Lecture Notes in Computer Science*. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.06.018>
- Oowski, S., Siwekand, K., Markiewicz, T. (2004). *MLP and SVM Networks – a Comparative Study* *Proceedings of the 6th Nordic Signal Processing Symposium – NORSIG*. <https://doi.org/10.1109/NORSIG.2004.250120>
- Öztanır, O. (2018). “*Makine öğrenmesi kullanılarak kestirimci bakım*”, (Yüksek lisans tezi), <https://openaccess.hacettepe.edu.tr>

- Rohani, A., Abbaspour-Fard, M., Abdolahpour, S. (2011). Prediction of tractor repair and maintenance costs using Artificial Neural Network, Expert Syst. Appl., 38, 8999–9007. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.01.118>
- Sarac, A., Batta, R. ve Rump, C. M. (2006). A Branch-and-Price Approach for Operational Aircraft Maintenance Routing. European Journal of Operational Research.
- Sebastiani, F. (2002). Machine learning in automated text categorization, ACM computing surveys (CSUR), 34, 1-47. Doi: <https://doi.org/10.1145/505282.505283>
- Soman, K.P., Loganathan, R., Ajay, V. (2011). Machine learning with SVM and other kernel methods. PHI Learning. Erişim adresi: [https://content.kopykitab.com/ebooks/2018/03/16708/sample/sample\\_16708.pdf](https://content.kopykitab.com/ebooks/2018/03/16708/sample/sample_16708.pdf)
- Sriram, C. ve Haghani, A. (2003). An Optimization Model for Aircraft Maintenance Scheduling and Re-assignment. Transportation Research. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0965-8564\(02\)00004-6](https://doi.org/10.1016/S0965-8564(02)00004-6)
- Tamilselvan, P., Wang, P. (2013). Failure diagnosis using deep belief learning based health state classification, Reliab. Eng. Syst. Saf., 115, 124–135. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.res.2013.02.022>
- Tsang A.H.C. (2002). Strategic Dimensions of Maintenance Management, Journal of Quality in Maintenance Engineering, 8, 7-39. Doi: <https://doi.org/0.1108/13552510210420577>
- Vapnik, V. (2000). The Nature of Statistical Learning Theory, Second Ed., 1, New York. Doi: <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4757-3264-1>
- Worsham, C.W. (2004). “*Önleyici bakım gerekli midir?*”, Mühendis ve Makine Dergisi, 45, Sayı 538, 21-23. Erişim adresi: <https://polen.itu.edu.tr/bitstream/11527/5895/1/9192.pdf>
- Zhou, X., Xi, L., Lee, J. (2007). Reliability centered predictive maintenance scheduling for a continuously monitored system subject to degradation, Reliability Engineering & System Safety, 92, 530-534. doi: [10.1016/j.res.2006.01.06](https://doi.org/10.1016/j.res.2006.01.06)





# Journal of Turkish Operations Management

## Intuitionistic fuzzy green supplier selection and an application in the machine manufacturing sector

Fulya Zarali

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

### Article Info

#### Article History:

Received: 21.03.2021  
Revised: 08.05.2021  
Accepted: 19.05.2021

#### Keywords:

Green supply chain management,  
Green supplier selection,  
Multi-criteria decision making problems,  
Intuitionistic fuzzy TOPSIS

### Abstract

Green supplier selection(GSS) is a mandatory function of green supply chain management and has an important role for enterprises to maintain their strategic competitiveness. GSS is an important milestone in the transition to sustainable supply chain design and management. Therefore, it is important to provide a well-functioning green supplier decision-making system to enterprises and it is a critical process for them. In this study, a selection model including green criteria was proposed for green supplier selection. In order to show the applicability and effectiveness of the proposed model, a real-world case study is presented. The results of this study proved that the proposed comprehensive model could solve the green supplier selection problem well by considering the uncertainties associated with the decisions of experts.

## 1. Introduction

Green supply chain has been formed to alleviate environmental problems and control air, waste pollution, water with the espousal of green applications in enterprises (Khan, 2018). Today, sustainable corporate governance promotes green supply chain applications. A green supply chain provides green production practices that support to reduce wastes and greenhouse emissions generating during the production process and have an environmentally friendly design. Many enterprises aiming to minimize environmental problems are trying to participate in green supply chains with economically, socially, and environmentally sustainable supply, material and production processes. Additionally, sustainable producers focus on GSS to reduce costs and save the environment, as well (Phochanikorn and Tan, 2019).

GSS is one of the decision making procedures of enterprises and directly affects the environmental performance of the enterprises. In addition, GSS provides economic benefits and competitive advantages to enterprises. GSS for this purpose is depend on a series of green criteria to appraise selected suppliers. (Gaoa et.al., 2020). When we look at the literature, the green criteria used for GSS are pollution control, pollution production, source consumption, green image, environmental management system, green product, green/eco design, green competencies, green innovation and management commitment (Amin et.al.,2019). In addition, GSS involves more than one decision makers (DM), which makes GSS a complex decision problem. DM generally have limited knowledge about GSS and they may not know the properties of all criteria. This situation causes uncertainty in decision-making (Gaoa et al., 2020). Intuitionistic fuzzy (IF) sets are one of the most effective methods in decision making in uncertain environments. For this purpose, IF-TOPSIS (Intuitionistic fuzzy-Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) method for GSS was recommended in this study.

In this study, the GSS problem of a machine manufacturing enterprise is evaluated. The company plans to improve its supply chain management and make it green. For this purpose, criteria that can be evaluated both economically and environmentally were determined and a selection was made for four alternatives. The result obtained from the study has been an alternative solution proposal for the company in choosing a green supplier.

The study consists of five parts. In the second part, a literature review on green supplier selection is presented. In the third part, basic information about the IF set and the IF-TOPSIS method is given. In the fourth part, GSS has been made by using the IF-TOPSIS method, taking into account the green criteria. In the last part, the results obtained from the study are given.

## 2. Literature Review

An enterprise needs a well-functioning GSS system to determine whether or not a supplier is a right partner in green supply chain management. In addition, selection of green suppliers is harder than choice of customary supplier for an enterprise. Since GSS requires considering both qualitative and conflicting environmental criteria, it is accepted as a multi-criteria decision making (MCDM) problems (Kannan et al., 2013; Ecer,2020). Recently, GSS has attracted great attention in business and academic environments with the increase of environmental planning and environmental awareness. When we examine the literature, we see that various MCDM problems are used for GSS. If we summarize these methods in general, Büyüközkan and Çiftçi (2012b) proposed a model that includes fuzzy DEMATEL- ANP- TOPSIS methods for GSS. Tseng and Chiu (2013) made a GSS for a company manufacturing electronics using fuzzy grey relational analysis (GRA) method. GSS was made with Fuzzy TOPSIS method by Shen et al., (2013) for a company producing automobiles for a Brazilian electronics company. Li and Wu (2015), Cao et al., (2015), Tian et al., (2015), Memari et al., (2019) and Rouyendegh et al., (2020) improved a GSS model with an IF-TOPSIS method. Kuo et al., (2015) improved a GSS model using VIKOR and ANP. Kannan et al., (2015) made the GSS for a company that manufactures plastic using fuzzy axiomatic design method. Freeman and Chen (2015) made a selection with a model based on AHP-Entropy-TOPSIS. Ghorabae et al., (2016) presented a model based on WASPAS with range type-2 fuzzy sets for GSS. Yazdani et al., (2017) improved a method including SWARA- QFD - WASPAS for GSS. Qin et al., (2017) applied TODIM technique to the GSS problem using type-2 fuzzy sets. Sen et al., (2017) made a GSS in fuzzy environment with MULTIMOORA method. Daldır and Tosun (2018) made GSS with fuzzy WASPAS method. Banaeian et al., (2018) made GSS for agro-food industry using TOPSIS-VIKOR-GRA methods. Çalık (2018), Deshmukh and Sunnapwar (2019) made GSS using fuzzy AHP. Mishra et al., (2019) proposed a new model consisting of entropy and WASPAS methods in an unstable fuzzy medium for GSS. Madenoglu (2019) used Fuzzy TOPSIS-VIKOR-Grey Relational Analysis-Aras methods for GSS. Ecer (2020) made GSS with a model joining type-2 fuzzy set and AHP method. Xu et al.,(2020) made GSS with a single-valued complex neutrosophic EDAS method. Çalık (2021) made the selection of green supplier by integrating AHP and TOPSIS methods in Pythagoras fuzzy environment. Zhao et al.,(2021) made GSS with classical TODIM method based on cumulative prospect theory (CPT-TODIM) including interval-valued Pythagorean fuzzy set (IVPFs). Zhang et al.(2021) made GSS with CODAS method, which includes Under Picture 2-Tuple Linguistic Environment. Erbyık et al.(2021) made a GSS using the ELECTRE method. GSS is accepted as a decision-making problem with multiple criteria. It is aimed that decision makers (DM) choose the most suitable green supplier depending on the decision-making situations from a decision set. However, in some cases, no alternative can meet all determined criteria at the best level (Gaoa et al., 2020). In this selection problem, it is necessary to produce the most appropriate and ideal solution that will meet the determined needs and criteria. TOPSIS method is one of the decision-making methods that consider both positive solution and negative solution to determine the most appropriate alternative meeting the criteria the best. TOPSIS method, developed by Hwang and Yoon, is a method that tries to select alternatives with the shortest distance to the positive ideal solution and the furthest distance to the negative ideal solution. (Pınar,2020). Selection and ranking problems, it is hard for the DMs to determine the importance of criteria, to evaluate alternatives according to the criteria, and to express exactly with clear data. The IF sets presented by Atanassov (1986) is an appropriate method to cope with these difficulties and have been applied to many decision-making problems in an uncertain environment. It has been shown that IF sets are quite suitable for uncertainty and dealing with uncertainty (Memari, 2019). TOPSIS method takes both positive-ideal and negative-ideal solution into account and TOPSIS method integrated with IF set has a great success chance for green supplier selection process. For this purpose, it was preferred in this study. In addition, with the method suggested, the aim of this study was to contribute to the GSS literature by developing effective and reliable criteria by addressing uncertainty more effectively, to help managers to make decisions and to support suppliers for improving their environmental performances.

## 3.Method

### 3.1. IF set Theory

The concept of Fuzzy Set (FS), an effective method to overcome uncertainty, was developed by Zadeh (1965) and has been successfully applied in many different fields such as economy, engineering and management. FS is expressed as a dual membership function in complex systems containing human judgments and thoughts in real

world problems. This method has been developed based on the insufficiency of classical sets. The degree of membership, forming the basis of FFSs, proposes to express the qualities with ordered membership functions and can get all values in the range of [0,1]. In classical sets, the degree of membership takes the value 0 or 1. The IF set theory was developed by Atanassov (1986) by making additions to the FS theory. While FS theory is modelled to show the degree of membership defined in the range of [0,1], the degree of non-membership is defined in addition to the degree of membership in IF set theory. The degrees of membership and non-membership are in the range of [0,1] in IF set theory. In general, FZ theory, the sum of the degrees of membership and non-membership is calculated as 1. In IF set theory, the sum of membership degree and non-membership degree does not have to be 1. In IF set theory, Atanassov defined a third parameter named hesitancy degree to make the sum equal to 1 (Yildirim,2019).

### 3.2. IF-TOPSIS method

In this part, definitions for IF-TOPSIS method are given. Firstly, the set of alternatives  $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$  and set of criteria  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$  were defined. The decision making group is not identical and include 1 different DM. Since DMs have different experience and knowledge, their significance levels are different from each other.  $\lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_l\}$  is the weight vector of DMs and  $\lambda_k \geq 0, k = 1, 2, \dots, l, \sum_{k=1}^l \lambda_k = 1$ .  $R^{(k)} = (r_{ij}^{(k)})_{m \times n}$  is the decision matrix (DMX) of the DM and  $r_{ij}^{(k)} = (\mu_{ij}^{(k)}, \nu_{ij}^{(k)}, \pi_{ij}^{(k)})_{m \times n}$  is the IF value taken from the j. criteria of i. alternative given by the DMs.  $\mu_{ij}^{(k)}$  degree of i. alternative to meet j. criteria according to the kth DM,  $\nu_{ij}^{(k)}$  degree of i. alternative to meet j. criteria according to the kth DM and  $\pi_{ij}^{(k)}$  refers to the uncertainty level according to kth DM. According to these definitions, the steps of IF-TOPSIS method are explained below (Boran et al., 2009).

Step 1. Detect the weights of DMs. Suppose that decision group includes l DM. The importance of the DM is accepted as linguistic terms stated within the scope of IF numbers.

Let  $D_k = [\mu_k, \nu_k, \pi_k]$  be an IF number to rate kth DM. Then the weight of kth DM can be detected as following equation:

$$\lambda_k = \frac{(\mu_k + \pi_k \left(\frac{\mu_k}{\mu_k + \nu_k}\right))}{\sum_{k=1}^l (\mu_k + \pi_k \left(\frac{\mu_k}{\mu_k + \nu_k}\right))}$$

and  $\sum_{k=1}^l \lambda_k = 1$  (1)

Step 2. Build the unified IF DMX based on the views of the DMs. In the group decision-making process, all individual decision views must be included in a group view to form a unified IF DMX. For this reason, IFWA (Intuitionistic Fuzzy Weighted Averaging) operator proposed by Xu (2007) is employed.

$$r_{ij} = IFWA_{\lambda}(r_{ij}^{(1)}, r_{ij}^{(2)}, \dots, r_{ij}^{(l)}) = r_{ij}^{(1)} \lambda_1 \oplus r_{ij}^{(2)} \lambda_2 \oplus \dots \oplus r_{ij}^{(l)} \lambda_l$$

$$= \left[ 1 - \prod_{k=1}^l (1 - \mu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^l (\nu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^l (1 - \mu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k} - \prod_{k=1}^l (\nu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k} \right]$$
 (2)

Here  $r_{ij} = (\mu_{A_i}(x_j), \nu_{A_i}(x_j), \pi_{A_i}(x_j)) (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$ .

The combined IF DMX can be defined as follows:

$$R : \begin{bmatrix} (\mu_{A_1}(x_1), \nu_{A_1}(x_1), \pi_{A_1}(x_1)) & (\mu_{A_1}(x_2), \nu_{A_1}(x_2), \pi_{A_1}(x_2)) & \dots & (\mu_{A_1}(x_n), \nu_{A_1}(x_n), \pi_{A_1}(x_n)) \\ (\mu_{A_2}(x_1), \nu_{A_2}(x_1), \pi_{A_2}(x_1)) & (\mu_{A_2}(x_2), \nu_{A_2}(x_2), \pi_{A_2}(x_2)) & \dots & (\mu_{A_2}(x_n), \nu_{A_2}(x_n), \pi_{A_2}(x_n)) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (\mu_{A_m}(x_1), \nu_{A_m}(x_1), \pi_{A_m}(x_1)) & (\mu_{A_m}(x_2), \nu_{A_m}(x_2), \pi_{A_m}(x_2)) & \dots & (\mu_{A_m}(x_n), \nu_{A_m}(x_n), \pi_{A_m}(x_n)) \end{bmatrix}$$

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ r_{31} & r_{32} & \dots & r_{3m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

Step 3. Determine the weights of the criteria. It may not be recommended that all criteria are of equal importance. W offers a range of severity levels. For the importance of each criterion to obtain W, all individual DM views must be combined.

Let  $W_j^{(k)} = [\mu_j^{(k)}, \nu_j^{(k)}, \pi_j^{(k)}]$  be an IF number assigned to criterion Xj by the kth DM. Then, IFWA operator is used to detect the weights of the criteria:

$$W_j = IFWA_{\lambda}(W_j^{(1)}, W_j^{(2)}, \dots, W_j^{(l)}) = \lambda_1 W_j^{(1)} \oplus \lambda_2 W_j^{(2)} \oplus \dots \oplus \lambda_l W_j^{(l)}$$

$$= \left[ 1 - \prod_{k=1}^l (1 - \mu_j^{(k)})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^l (v_j^{(k)})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^l (1 - \mu_j^{(k)})^{\lambda_k} - \prod_{k=1}^l (v_j^{(k)})^{\lambda_k} \right] \tag{3}$$

$W = [W_1, W_2, W_3 \dots W_j]$  here  $W_j = (\mu_j, v_j, \pi_j) (j = 1, 2 \dots n)$

Step 4. Build a combined weighted IF DMX. After determining the criterion weights (W) and the combined IF DMX, the combined weighted IF DMX is formed based on the following equation:

$$R \oplus W = \{ (x, \mu_{Ai}(x) \cdot \mu_w(x) + v_{Ai}(x) \cdot v_w(x) - v_{Ai}(x) \cdot v_w(x)) | x \in X \} \tag{4}$$

And

$$\pi_{AiW}(x) = 1 - v_{Ai}(x) - v_w(x) - \mu_{Ai}(x) \cdot \mu_w(x) + v_{Ai}(x) \cdot v_w(x) \tag{5}$$

Then, the combined weighted IF DMX can be detected as follows:

$$R: \begin{bmatrix} (\mu_{A1W}(x_1), v_{A1W}(x_1), \pi_{A1W}(x_1)) & (\mu_{A1W}(x_2), v_{A1W}(x_2), \pi_{A1W}(x_2)) & \dots & (\mu_{A1W}(x_n), v_{A1W}(x_n), \pi_{A1W}(x_n)) \\ (\mu_{A2W}(x_1), v_{A2W}(x_1), \pi_{A2W}(x_1)) & (\mu_{A2W}(x_2), v_{A2W}(x_2), \pi_{A2W}(x_2)) & \dots & (\mu_{A2W}(x_n), v_{A2W}(x_n), \pi_{A2W}(x_n)) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ (\mu_{AmW}(x_1), v_{AmW}(x_1), \pi_{AmW}(x_1)) & (\mu_{AmW}(x_2), v_{AmW}(x_2), \pi_{AmW}(x_2)) & \dots & (\mu_{AmW}(x_n), v_{AmW}(x_n), \pi_{AmW}(x_n)) \end{bmatrix}$$

$$R' = \begin{bmatrix} r'_{11} & r'_{12} & \dots & r'_{1m} \\ r'_{21} & r'_{22} & \dots & r'_{2m} \\ r'_{31} & r'_{32} & \dots & r'_{3m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r'_{n1} & r'_{n2} & \dots & r'_{nm} \end{bmatrix}$$

$r'_{ij} = \{ \mu'_{ij}, v'_{ij}, \pi'_{ij} \} = \{ \mu_{AiW}(x_j), v_{AiW}(x_j), \pi_{AiW}(x_j) \}$  is an element of the combined weighted IF DMX.

Step 5. Detect IF positive ideal solution (PIS) and IF negative ideal solution (NIS).  $J_1$  and  $J_2$  be benefit criteria and cost criteria, respectively.  $A^+$  is an IF PIS and  $A^-$  is an IF NIS. Then,  $A^+$  and  $A^-$  are obtained as:

$$A^+ = \{ \mu_{A^+W}(x_j), v_{A^+W}(x_j) \} \text{ and } A^- = \{ \mu_{A^-W}(x_j), v_{A^-W}(x_j) \} \tag{6}$$

Where

$$\mu_{A^+W}(x_j) = ((\max_i \mu_{AiW}(x_j) | j \in J_1), (\min_i \mu_{AiW}(x_j) | j \in J_2)) \tag{7}$$

$$v_{A^+W}(x_j) = ((\min_i v_{AiW}(x_j) | j \in J_1), (\max_i v_{AiW}(x_j) | j \in J_2)) \tag{8}$$

$$\mu_{A^-W}(x_j) = ((\min_i \mu_{AiW}(x_j) | j \in J_1), (\max_i \mu_{AiW}(x_j) | j \in J_2)) \tag{9}$$

$$v_{A^-W}(x_j) = ((\max_i v_{AiW}(x_j) | j \in J_1), (\min_i v_{AiW}(x_j) | j \in J_2)) \tag{10}$$

Step 6: Detect the separation measures. Hamming distance, Euclidean distance and their normalized distance measures can be used to determine the distinction between alternatives in the IF set. After selecting the distance measure, the separation measures  $S_i^+$  and  $S_i^-$  of each alternative from IF PIS and NIS are determined. Hamming distance was used in this study.

$$S_i^+ = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n [ | \mu'_{ij} - \mu_j^{+*} | + | v'_{ij} - v_j^{+*} | + | \pi'_{ij} - \pi_j^{+*} | ] \quad i = 1, 2 \dots m \tag{11}$$

$$S_i^- = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n [ | \mu'_{ij} - \mu_j^{-*} | + | v'_{ij} - v_j^{-*} | + | \pi'_{ij} - \pi_j^{-*} | ] \quad i = 1, 2 \dots m \tag{12}$$

Step 7. Determine the relative affinity coefficient to the intuitionistic ideal solution. The relative affinity coefficient of an alternative  $A_i$  with respect to IF PIS is defined as follows:

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}, \quad 0 \leq C_i^* \leq 1, \quad i = 1, 2, \dots m \tag{13}$$

Step 8. Rank the alternatives.

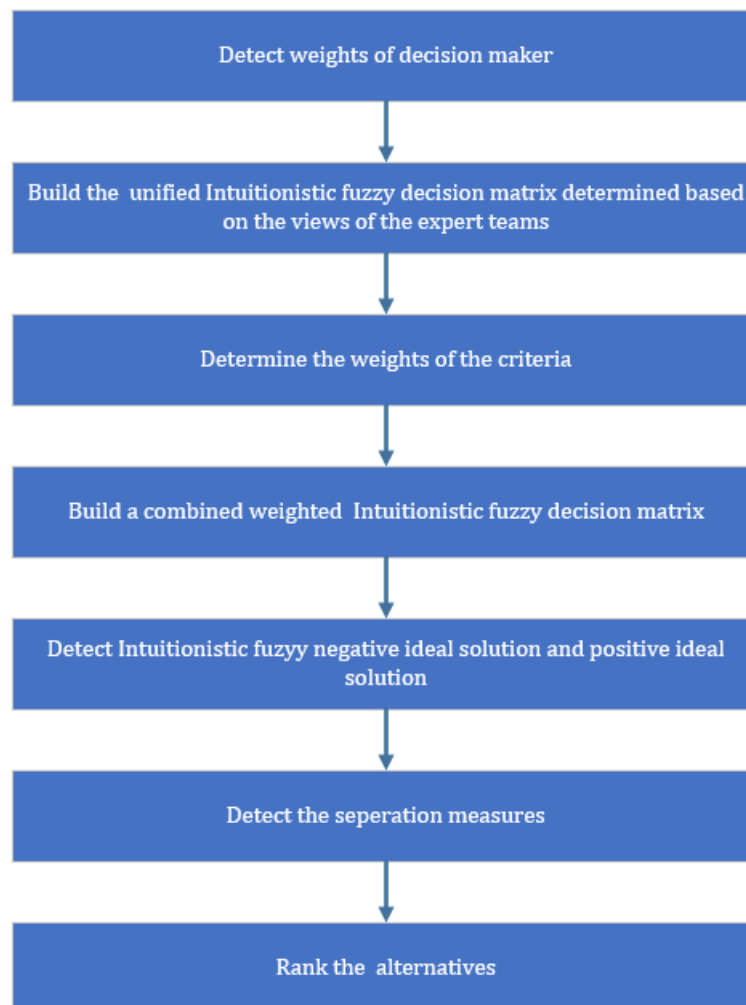
After the relative proximity coefficient of each alternative is determined, the alternatives are ranked in descending order of  $C_i^*$ 's.

### 4. Application

In this study, GSS was made for a machine manufacturing company operating in Kayseri province in order to show the applicability and effectiveness of the proposed model. Within the company, an expert group consisting of General Manager, Purchasing Officer, Production Supervisor and Planning Supervisor was prepared. Each of the expert group was detected as the DM. The expert team wanted to determine sustainable and applicable criteria for GSS. Criteria that can be evaluated both economically and environmentally have been determined by considering the green criteria in the literature (Büyüközkan and Çiftçi, 2012a; Gao et al., 2020). Cost, performance, environmental protection capacity and product quality were determined as the main criteria and product price, transportation fee, return rate, delivery performance, control level, green product, environmental management certificate, pollutant emission, green competitiveness, rejection rate, and quality evaluation were determined as sub-criteria. Table 1 shows criteria and sub-criteria. For 4 alternative green suppliers detected by the company, the model of the decision problem was constructed. Figure 1 shows the model of the decision problem.

**Table 1.** Criteria

Criteria	
Cost	Product price (C1): The total price of the product.
	Transportation fee (C2): The price includes all costs related to transportation. (Such as shipping, handling, and packaging)
Performance	Delivery performance (C3): It is the capability of suppliers to comply with specified delivery schedules.
	Return rate (C4): It is the ability of the supplier company to respond to customer requests (such as price, order frequency, demand structure).
Environmental protection capacity	Pollutant emission control level (C5): The ability of suppliers to reduce or eliminate their pollutant emissions.
	Green product (C6): The degree of supplier company to meet environmental needs in the production and use of the product.
	Environmental management certificate (C7): The capability of supplier company to establish environmental management system and to implement its policies.
	Green competitiveness (C8): The capability of the supplier company to provide environmentally friendly solutions.
Product quality	Rejection Rate (C9): The number of products rejected by the customer due to quality issues.
	Quality assessment (C10): Quality assessments of supplier companies

**Figure 1.** Models of the decision problem

The application steps of IF-TOPSIS model prepared for the selection of the best green supplier after the determination of criteria and alternatives together with the expert team (DM) are described below. In the first step, the weights of each of the expert team were determined. The importance levels of the expert team were defined as linguistic variables. The general manager was determined as E1 with the importance level of “very important”, Purchasing Officer as E2 with importance level of “important”, production supervisor as E3 with importance level of “important”, and Planning supervisor as E4 with importance level of “medium”. The linguistic terms used to determine the weights of the expert team were converted into IF numbers. Table 2 shows linguistic terms and IF numbers.

**Table 2.** Linguistic terms used to determine the importance levels of the expert team

Linguistic terms	IF numbers
very important	0,80-0,10
important	0,50-0,30
medium	0,50-0,50
unimportant	0,30-0,50
very unimportant	0,20-0,70

Table 3 shows the importance levels and weight values of the expert team. The weight value of each expert was calculated using Equation 1.

**Table 3.** Weight values of the expert team

	E1	E2	E3	E4
Linguistic terms	very important	important	important	moderate
Weight value	0,322	0,249	0,249	0,180

In the second step, the evaluations of the expert team regarding the alternatives were combined and the combined DMX was obtained. In the evaluation of alternatives by the expert team, linguistic terms were used and the linguistic terms were converted into IF numbers. Table 4 shows the linguistic terms and IF numbers used.

**Table 4.** Linguistic terms and IF numbers

Linguistic terms	IF numbers
very good	0,70-0,10-0,15
good	0,60-0,25-0,15
medium	0,50-0,50-0,00
bad	0,25-0,60-0,15
very bad	0,10-0,75-0,15

Each expert evaluated alternatives according to the criteria. Table 5 shows evaluation results. In order not to lose information of the entire expert team, the views of the experts had to be combined as group thoughts. IFWA operator was used for this purpose. Table 6 shows the combined DMX obtained with the information of four experts.

**Table 5.** Evaluation results

		E1	E2	E3	E4			E1	E2	E3	E4
GS1	C1	vg	g	m	m	GS2	C1	g	g	vg	g
	C2	g	g	g	g		C2	g	vg	g	g
	C3	g	vg	g	g		C3	g	vg	g	b
	C4	b	m	b	b		C4	vg	g	m	m
	C5	b	m	b	vb		C5	b	b	m	b

	C6	vb	b	m	vb		C6	b	b	m	b
	C7	m	g	g	b		C7	vb	b	b	m
	C8	m	m	b	g		C8	m	vb	b	m
	C9	g	g	vg	g		C9	m	b	vb	b
	C10	g	vg	g	g		C10	g	m	g	m
E1 E2 E3 E4					E1 E2 E3 E4						
GS3	C1	g	g	g	g	GS4	C1	vg	g	g	g
	C2	g	g	g	g		C2	g	m	b	m
	C3	b	b	b	b		C3	g	m	b	m
	C4	b	b	b	b		C4	m	g	vg	g
	C5	b	m	b	b		C5	m	g	g	m
	C6	b	b	b	b		C6	g	g	g	m
	C7	g	m	m	g		C7	g	g	vg	g
	C8	m	g	m	g		C8	vg	g	g	g
	C9	g	m	g	m		C9	g	m	m	b
	C10	g	g	m	m		C10	g	m	m	b

Table 6. The combined DMX

	C1			C2		
GS1	(0,522	0,271	0,207)	(0,601	0,25	0,149)
GS2	(0,629	0,199	0,173)	(0,629	0,199	0,173)
GS3	(0,601	0,25	0,149)	(0,601	0,25	0,149)
GS4	(0,635	0,186	0,179)	(0,486	0,418	0,096)
	C3			C4		
GS1	(0,628	0,199	0,173)	(0,322	0,572	0,106)
GS2	(0,583	0,233	0,184)	(0,522	0,271	0,207)
GS3	(0,249	0,599	0,152)	(0,249	0,599	0,152)
GS4	(0,486	0,418	0,096)	(0,66	0,148	0,192)
	C5			C6		
GS1	(0,300	0,596	0,104)	(0,281	0,64	0,075)
GS2	(0,322	0,572	0,106)	(0,322	0,572	0,106)
GS3	(0,322	0,572	0,106)	(0,249	0,599	0,152)
GS4	(0,565	0,353	0,212)	(0,584	0,283	0,301)
	C7			C8		
GS1	(0,520	0,365	0,115)	(0,331	0,608	0,061)
GS2	(0,260	0,623	0,117)	(0,377	0,577	0,046)
GS3	(0,578	0,297	0,125)	(0,546	0,371	0,083)
GS4	(0,628	0,199	0,173)	(0,635	0,186	0,179)
	C9			C10		
GS1	(0,628	0,199	0,173)	(0,628	0,199	0,173)
GS2	(0,377	0,577	0,046)	(0,561	0,336	0,225)
GS3	(0,561	0,336	0,225)	(0,561	0,336	0,225)
GS4	(0,500	0,413	0,087)	(0,500	0,413	0,087)

In the third step, the weights of the criteria were determined. The weights of each criterion were not equal. The importance level of criteria is also different for each expert. For this purpose, IF values given to criteria by each expert are combined. Table 7 shows the linguistic terms and IF numbers used by the expert team to evaluate criteria.

**Table 7.** Linguistic terms and IF numbers

Linguistic terms	IF fuzzy numbers
very good	0,70-0,10-0,15
good	0,60-0,25-0,15
medium	0,50-0,50-0,00
bad	0,25-0,60-0,15
very bad	0,10-0,75-0,15

Each criterion was evaluated by the expert team using linguistic terms. Table 8 shows evaluation results. Linguistic terms were transformed into IF numbers in Table 7. The weight values of the criteria were obtained by using the IFWA operator and by making calculations in equation 3. Table 9 shows the obtained values.

**Table 8.** Evaluation results

	E1	E2	E3	E4
C1	g	g	vg	g
C2	vg	vg	g	g
C3	m	m	g	m
C4	g	g	g	g
C5	m	m	m	b
C6	b	b	m	b
C7	b	g	g	m
C8	m	m	m	m
C9	g	g	m	g
C10	g	g	g	g

**Table 9.** The obtained values.

W	Obtained values		
W1	(0,628	0,199	0,173)
W2	(0,660	0,148	0,192)
W3	(0,468	0,473	0,059)
W4	(0,601	0,250	0,149)
W5	(0,464	0,515	0,021)
W6	(0,322	0,572	0,106)
W7	(0,490	0,375	0,135)
W8	(0,502	0,498	0,000)
W9	(0,578	0,297	0,125)
W10	(0,601	0,250	0,149)

In the fourth step, a weighted combined DMX was constructed. After the weights of the criteria and the combined DMX were constructed, a weighted combined DMX was obtained using Equations 4 and 5. Table 10 shows the weighted combined DMX obtained.

**Table 10.** Weighted combined DMX



	C1			C2		
GS1	(0,328	0,416	0,256)	(0,397	0,361	0,242)
GS2	(0,395	0,358	0,247)	(0,415	0,318	0,267)
GS3	(0,377	0,399	0,223)	(0,397	0,361	0,242)
GS4	(0,399	0,348	0,253)	(0,321	0,504	0,175)
	C3			C4		
GS1	(0,294	0,578	0,128)	(0,194	0,679	0,127)
GS2	(0,273	0,596	0,131)	(0,314	0,453	0,233)
GS3	(0,117	0,789	0,095)	(0,150	0,699	0,151)
GS4	(0,227	0,693	0,079)	(0,397	0,361	0,242)
	C5			C6		
GS1	(0,139	0,804	0,057)	(0,090	0,846	0,064)
GS2	(0,149	0,792	0,058)	(0,104	0,817	0,080)
GS3	(0,149	0,792	0,058)	(0,080	0,828	0,091)
GS4	(0,262	0,686	0,052)	(0,188	0,693	0,119)
	C7			C8		
GS1	(0,255	0,603	0,142)	(0,166	0,803	0,031)
GS2	(0,127	0,764	0,108)	(0,189	0,788	0,023)
GS3	(0,283	0,561	0,156)	(0,274	0,684	0,042)
GS4	(0,308	0,499	0,193)	(0,319	0,591	0,090)
	C9			C10		
GS1	(0,363	0,437	0,200)	(0,377	0,399	0,223)
GS2	(0,218	0,703	0,079)	(0,337	0,502	0,161)
GS3	(0,324	0,533	0,143)	(0,337	0,502	0,161)
GS4	(0,289	0,587	0,124)	(0,301	0,560	0,140)

In the fifth step, IF PIS  $A^*$  and IF NIS  $A^-$  for each alternative were calculated using Equation 6. Table 11 shows the calculation results.

**Table 11.** The calculation results.

	$A^*$			$A^-$		
	(0,399	0,348	0,253)	(0,328	0,416	0,256)
	(0,415	0,318	0,267)	(0,321	0,504	0,175)
	(0,294	0,578	0,128)	(0,117	0,789	0,095)
	(0,397	0,361	0,242)	(0,150	0,699	0,151)
	(0,262	0,686	0,052)	(0,139	0,804	0,057)
	(0,188	0,693	0,119)	(0,080	0,828	0,091)
	(0,308	0,499	0,193)	(0,127	0,764	0,108)
	(0,319	0,591	0,090)	(0,166	0,803	0,031)
	(0,363	0,437	0,200)	(0,218	0,703	0,079)
	(0,377	0,399	0,223)	(0,301	0,560	0,140)

In the sixth step, positive and negative separation measures were calculated. The separation measures between IF PIS and IF NIS were calculated for each alternative using Equations 11 and 12. Table 12 shows the calculation results. In the seventh step, the closeness coefficient for each alternative was calculated. Using Equation 13, the closeness coefficients of the alternatives were calculated according to IF PIS and IF NIS and given in Table 12.

**Table 12.** IF PIS and IF NIS

	S*	S-	C
GS1	1,024	0,013	0,013
GS2	1,190	0,809	0,405
GS3	1,245	0,754	0,377
GS4	0,613	1,370	0,691

In the final step, the alternatives were ranked according to their closeness coefficient values. The alternatives were ranked as GS4-GS2-GS3-GS1. GS4 having the highest coefficient was determined as the best alternative company among the green supplier company alternatives and GS1 having the lowest closeness coefficient was determined to be the worst alternative among the green supplier company alternatives. The alternative green supplier company meeting the determined criteria the best was found to be GS4. The obtained result was accepted as appropriate by the expert team and it was predicted that the recommended model for the selection of green supplier would give good results in similar problems.

## 5. Conclusion

GSS of for sustainable green supplier chain is one of the important decision-making problems. It is essential to determine the criteria suitable for an effective GSS and to choose the best supplier according to the determined criteria. IF-TOPSIS method is a decision making method according to both the positive solution and negative solution to determine the most suitable alternative considering the determined criteria in selection and ranking problems. IF-TOPSIS method not only allows to select both best and most suitable alternative from the determined alternatives but also the most appropriate alternative and it was preferred in this study due to these advantages.

In this study, a systematic approach was presented for supply chain managers who can make economic and environmental evaluations. For a GSS, an applicable model with sustainability was proposed. With the recommended model, selection was made from four alternative green suppliers with 4 main criteria and 10 sub-criteria. In the assessment process, each alternative, criteria, and the weights of the criteria were given in linguistic terms expressed in IF numbers. In addition, IFA operator was used to collect the experts' opinions. After the IF PIS and IF NIS were calculated according to the hamming distance, the related closeness coefficients of the alternatives were obtained and the alternatives were sorted.

TOPSIS method combined with IF set was preferred in this study , it was aimed to contribute to the GSS literature by developing effective and reliable criteria by addressing uncertainty more effectively, to help managers to make decisions and to support suppliers to improve their environmental performance. This method is anticipated to be used in the supply selection and evaluation of other enterprises in the machine manufacturing sector in the future.

## Çıkar Çatışması

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

## References

Amin, S., Haeri, S., Rezaei, J. (2019). A grey-based green supplier selection model for uncertain environments. *Journal of Cleaner Production*, 221, 768-784. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.193>

Atanassov, K. (1986). Intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems*.20(1), 87-96. doi: [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(86\)80034-3](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(86)80034-3)

Banaeian, N., Mobli, H., Fahimnia, B., Nielsen, L.E., Omid, M. (2018). Green supplier selection using fuzzy group decision making methods: A case study from the agri-food industry. *Computers and Operations Research*, 89, 337-347. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2016.02.015>

Boran, E., Genc, S., Kurt M., Akay D. (2009). A multi-criteria intuitionistic Fuzzy group decision making for supplier selection with TOPSIS method. *Expert Systems with Applications* 36, 11363-11368. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.03.039>

- Büyüközkan, G., Çifçi, G. (2012a). Evaluation of the green supply chain management practices: a fuzzy ANP approach. *Prod. Plan. Control*, 23 (6), 405-418. doi: <https://doi.org/10.1080/09537287.2011.561814>
- Büyüközkan, G., Çifçi, G. (2012b). A novel hybrid MCDM approach based on fuzzy DEMATEL, fuzzy ANP and fuzzy TOPSIS to evaluate green suppliers. *Expert Systems with Applications* 39 (3), 3000-3011. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.08.162>
- Cao, Q., Wu, J., Liang, C. (2015). An intuitionistic fuzzy judgement matrix and TOPSIS integrated multi-criteria decision making method for green supplier selection. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 28(1), 117-126. doi: <https://doi.org/10.3233/IFS-141281>
- Çalık, A. (2018). Green Supplier Selection with Fuzzy Multi-Objective Linear Programming and Interval Type-2 Fuzzy AHP Method. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 39, 96-109.
- Çalık, A. (2021) A novel Pythagorean fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methodology for green supplier selection in the Industry 4.0 era. *Soft Computing*, 25, 2253–2265. doi: [10.1007/s00500-020-05294-9](https://doi.org/10.1007/s00500-020-05294-9)
- Daldır, I., Tosun, O. (2018). Green Supplier Selection Using Fuzzy WASPAS. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 23(4), 193-208. doi: <https://doi.org/10.17482/uumfd.449584>
- Deshmukh, S., Sunnapwar, V. (2019). Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) for Green Supplier Selection in Indian Industries. *Proceedings of International Conference on Intelligent Manufacturing and Automation*, 679-687. doi: [https://doi.org/10.1007/978-981-13-2490-1\\_63](https://doi.org/10.1007/978-981-13-2490-1_63)
- Ecer, F. (2020). Multi-criteria decision making for green supplier selection using interval type-2 fuzzy AHP: a case study of a home appliance manufacturer. *Operational Research*. doi: <https://doi.org/10.1007/s12351-020-00552-y>
- Erbıyık, H., Kabakçı, G., Erdil, A. (2021). Supplier Selection in the Automotive Sector with the Electre Method: An Application for Green Supplier Selection. *European Journal of Science and Technology Special Issue* 24, 421-429. doi: <https://doi.org/10.31590/ejosat.903952>
- Freeman, J., Chen, T. (2015). Green supplier selection using an AHP-Entropy-TOPSIS framework *Supply Chain Manag.*, 20 (3), 327-340. doi: <https://doi.org/10.1108/SCM-04-2014-0142>
- Gaoa, H., Ernesto, Y., Gonzalez, S., Zhang, W. (2020). Green supplier selection in electronics manufacturing: An approach based on consensus decision making. *Journal of Cleaner Production*. 245, 118781. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118781>
- Ghorabae, M.K., Zavadskas, E.K., Amiri, M., Esmaceli, A. (2016). Multi-criteria evaluation of green suppliers using an extended WASPAS method with interval type-2 fuzzy sets. *J. Clean. Prod.*, 137, 213-229. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.031>
- Kannan, D., Khodaverdi, R., Olfat, L., Jafarian, A., Diabat, A. (2013). Integrated fuzzy multi criteria decision making method and multi-objective programming approach for supplier selection and order allocation in a green supply chain. *Journal of Cleaner Production*, 47, 355-367. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.02.010>
- Kannan, D., Govindan, K., Rajendran, S. (2015). Fuzzy axiomatic design approach based green supplier selection: a case study from Singapore. *Journal of Cleaner Production*, 96, 194-208. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.12.076>
- Kahn, R.A. (2018). *Introductory Chapter: Introduction of Green Supply Chain Management*. doi: <https://doi.org/10.5772/intechopen.81088>
- Kuo, T.C., Hsu C.W., Li, J.Y. (2015). Developing a Green Supplier Selection Model by Using the DANP with VIKOR. *Sustainability*, 7(2), 1661-1689. doi: <https://doi.org/10.3390/su7021661>
- Li M., Wu, C. (2015). Green Supplier Selection Based on Improved Intuitionistic Fuzzy TOPSIS Model. *Metallurgical and Mining Industry*, 6, 193-205.

- Memari,A., Dargi, A., Akbari M.R., Robaiah, J., Rahim, R.A. (2019). Sustainable supplier selection: A multi-criteria intuitionistic fuzzy TOPSIS method. *Journal of Manufacturing Systems*. 50, 9-24. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.11.002>
- Mishra A.R., Rani, P., Pardasani, K.R.,Mardani, A. (2019). A novel hesitant fuzzy WASPAS method for assessment of green supplier problem based on exponential information measures. *Journal of Cleaner Production*, 238, 117901. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117901>
- Phochanikorn, P., Tan, C. (2019). An Integrated Multi-Criteria Decision-Making Model Based on Prospect Theory for Green Supplier Selection under Uncertain Environment: A Case Study of the Thailand Palm Oil Products Industry. *Sustainability*. 11(7), 1872. doi: <https://doi.org/10.3390/su11071872>
- Pinar, A.(2020). Multiple criteria decision making methods used in supplier selection. *Journal of Turkish Operations Management*, (4)2, 449-478.
- Qin,J.,Lin, X.,Pedryez,W. (2017). An extended TODIM multi-criteria group decision making method for green supplier selection in interval type-2 fuzzy environment. *European Journal of Operational Research*.258(2), 626-638. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.09.059>
- Rouyendegh B.R., Yıldızbaşı, A., Üstünyer, P. (2020). Intuitionistic Fuzzy TOPSIS method for green supplier selection problem. *Soft Computing* 24(3), 2215-2228. doi: <https://doi.org/10.1007/s00500-019-04054-8>
- Shen,L. Olfat,L.,Govindan,K.,Khodaverdi,R.,Diabat,A.(2013). A fuzzy multi criteria approach for evaluating green supplier's performance in green supply chain with linguistic preferences. *Resources, Conservation and Recycling*.74,170-179. doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.09.006>
- Tseng, M.L. , Chiu, A.S.F. (2013). Evaluating firm's green supply chain management in linguistic preferences. *Journal of Clean Production*, 40, 22-31. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.08.007>
- Tian, Z, Zhang H., Wang, J., Wang, T. (2015). Green Supplier Selection Using Improved TOPSIS and Best-Worst Method Under Intuitionistic Fuzzy Environment. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 28(19), 117-126. doi: <https://doi.org/10.15388/Informatica.2018.192>
- Xu Z. (2007).Intuitionistic fuzzy aggregation operators. *Fuzzy Systems, IEEE Transactions on*, 15,1179-1187. doi: <https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2006.890678>
- Xu, D., Cui, X., Xian, H.(2020). An Extended EDAS Method with a Single-Valued Complex Neutrosophic Set and Its Application in Green Supplier Selection. *Mathematics*, 8(2), 282. doi: <https://doi.org/10.3390/math8020282>
- Yazdani, M., Chatterjee, P., Zavadskas, E.K., Zolfani, S.H. (2017). Integrated QFD-MCDM framework for green supplier selection.*J. Clean. Prod.*, 142, 3728-3740. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.095>
- Yıldırım, F. (2019). Evaluation of Credit Card Platforms Using Intuitionistic Fuzzy TOPSIS Method *Journal of BRSA Banking and Financial Markets*, 13(1), 37-58.
- Zadeh L.A. (1965) Fuzzy sets. *Information and Control*. 8(3), 338-353. doi: [https://doi.org/10.1142/9789814261302\\_0021](https://doi.org/10.1142/9789814261302_0021)
- Zhang, S., Wei, G.,Wang, R., Wu, J., Wei, C., Guo, Y., Wei, Y.(2021). Improved CODAS Method Under Picture 2-Tuple Linguistic Environment and Its Application for a Green Supplier Selection. *Journal: Informatica*, 32(1), 195-216. doi: <https://doi.org/10.15388/20-INFOR414>
- Zhao, M., Wei, G., Wei, C., Wu, J.(2021). TODIM Method for Interval-Valued Pythagorean Fuzzy MAGDM Based on Cumulative Prospect Theory and Its Application to Green Supplier Selection. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 46,1899–1910. doi: <https://doi.org/10.1007/s13369-020-05063-8>



# Journal of Turkish Operations Management

## Yüksek seviyeli radyoaktif maddelerin taşınmasında hata ağacı analizi yönteminin kullanımının incelenmesi

Furkan Erdoğan<sup>1\*</sup>, Ergün Eraslan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>İş Sağlığı ve Güvenliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Ankara, Türkiye  
e-mail: furkanmavi1990@hotmail.com, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-0091-5257>

<sup>2</sup>İş Sağlığı ve Güvenliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Ankara, Türkiye  
e-mail: eraslan@ybu.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-5667-0391>

\*Sorumlu yazar

### Makale Girişi

#### Makale Geçmişi:

Geliş: 03.06.2020  
Revize: 10.07.2020  
Kabul: 27.10.2020

### Anahtar Kelimeler

İSG,  
Radyoaktif Maddeler,  
Yüksek Seviyeli Radyoaktif Maddelerin  
Taşınması,  
Hata Ağacı Analizi

### Özet

Radyoaktif maddeler, sahip oldukları potansiyel risk büyüklüğü göz önüne alındığında, kaza olması durumunda acil müdahale gerektiren tehlikeli maddeler sınıfında yer almaktadır. Kaza sonrasında, dünya genelinde kayda geçen radyoaktif madde taşıma kazası birkaçı geçmese dahi, gerekli tüm taşıma tedbirleri alınmalı, çalışanlar ve toplum bilgilendirilmeli ve acil önem durum planları yapılmalıdır. Radyoaktif maddelerin taşınması, ulusal ve uluslararası otoritelere belirlenen özel kurallar ve koşullar dikkate alınarak, maddelerin sahip olduğu radyolojik riskler göz önünde bulundurularak, her bir madde farklı özelliklerine göre sınıflandırılarak taşınmalıdır. Radyoaktif maddenin taşıma süreci; kaynağın içerisinde taşınacağı kabın tasarımı ve imalatı dahil olmak üzere, hazırlanan paketlerin etiketlenmesi, yüklenmesi, taşınması, indirilmesi, geçici olarak depolanması ve alıcıya teslim edilmesi aşamalarını kapsamaktadır. Çalışmada, karmaşık bir yapıya sahip olan radyoaktif madde taşımacılığı sırasında herhangi bir kazanın gerçekleşmesine neden olacak olaylar hata ağacı analizi ile incelenecektir. Burada amaç, taşıma kazasına neden olacak olay dizileri birbirleriyle ilişkilendirilerek, risk analizini güçlendirmek ve hata risklerini en aza indirmektir. Birinci aşamada, ortaya çıkacak tehlikenin ciddiyetine göre esas olay ve esas olayın ortaya çıkmasını etkileyecek faktörler belirlenmiştir. İkinci aşamada, belirlenen hata faktörleri hata ağacına yerleştirilerek durum incelenmiştir. Sonuç olarak, hata ağacı analizi sonucunda kesin bir sayısal değere ulaşmanın mümkün olmadığı sonucuna ulaşılmış, bunun yanında hata ağacı analizin risk faktörlerini ortadan kaldırmak için uygun bir yöntem olduğu belirlenmiştir.

## Article Info

### Article History:

Received: 03.06.2020  
Revised: 10.07.2020  
Accepted: 27.10.2020

### Keywords

OSHA,  
Radioactive Materials,  
Transportation of High-Level  
Radioactive Materials,  
Fault Tree Analysis

## Abstract

Radioactive materials are in the class of dangerous substances that require urgent intervention in case of an accident, given the potential risk size they have. After the accident, even if few of the radioactive material accidents recorded worldwide, all necessary transportation measures should be taken, employees and the society should be informed, and emergency plans should be prepared. The transport of radioactive materials should be carried by classifying each item according to its different characteristics, considering the special rules and conditions set by the national and international authorities, considering the radiological risks of the substances. The transport process of the radioactive material includes the design and manufacture of the container, the labeling, loading, transportation, downloading, temporary storage and delivery of the prepared packages to the receiver. In the study, the events that will cause any accident to occur during radioactive material transportation, which has a complex structure, will be analyzed by fault tree analysis. The aim is to strengthen the risk analysis and minimize the risks of errors by correlating the series of events that will cause a transport accident. In the first stage, the main event and the factors affecting the emergence of the main event have been determined according to the severity of the danger to occur. In the second stage, the determined error factors were placed in the fault tree and the situation was examined. As a result, it was concluded that it is not possible to reach a certain numerical value as a result of the fault tree analysis, besides, it was determined that your fault tree analysis is a suitable method to eliminate the risk factors in the system.

## 1. Giriş

Bir maddenin atom çekirdeğindeki nötron ve proton sayısı birbirine eşit olmadığı durumlarda, bu tür maddeler kararsız bir çekirdek yapısı göstermekte ve çekirdeğindeki nötronlar alfa, beta, gama gibi çeşitli ışınlar yaymak suretiyle parçalanarak kararlı hale geçmeye çalışmaktadır (Lamarsh, 2001). Bu enerji yayılımı olayında  *radyasyon*, çevresine bu şekilde ışın saçarak parçalanmış maddelere ise  *radyoaktif madde* denir (USNRC, Definitions).

Radyoaktif malzemeler, elektrik enerjisi üretimi, bilimsel araştırma, üretim, endüstriyel süreçler ve tıbbi teşhis ve tedavi dahil olmak üzere çok çeşitli amaçlar için kullanılır (Lamarsh, 2001). Bu çalışma alanlarında çeşitli büyüklükte ve şiddette radyasyon etkilenimi söz konusudur. Radyasyon kavramı hem elektromanyetik hem de partiküller radyasyon alanlarını kapsar. Bunlardan elektromanyetik radyasyonun bir bölümü ile partiküller radyasyon, ulaştıkları hücrelerde iyonlaşmaya neden olduklarından “iyozan- iyonlaştırıcı” radyasyon olarak adlandırılır. Çalışanlar açısından hem iyonizan hem de iyonizan olmayan radyasyon etkilenimi söz konusudur (OSHA, Radiation). Bu etkileşim sonucunda çeşitli sağlık sorunları ortaya çıkabilir. İş sağlığı ve güvenliğinin sağlanması, radyasyonun neden olabileceği maddi ve manevi her türlü etkinin kontrol altına alınabilmesi için; radyasyonun ve etkilerinin çok iyi bilinmesi, bu alanda çalışan tüm personelin gerekli eğitimleri alarak, olası tüm etkilerin önceden engellenmesine yönelik gerekli tüm önlemlerin alınmasını gerektirir (Health and Safety Executive/ Radiations).

Türkiye’de tıbbi ve araştırma tesisleri dışında radyasyona maruz kalmak yaygın olmasa da kurulacak olan Nükleer Güç Santrali sonrasında, kullanılacak yüksek radyoaktif maddeler ve kullanım sonrası oluşacak atık ve kullanılmış yakıtların neden olabileceği etkiler göz önüne alındığında; İş Sağlığı ve Güvenliği uygulamalarının önemi bir kez daha ortaya çıkmaktadır. Bu uygulamalar çalışanların güvenliklerini sağlamanın yanında, halkın ve çevrenin en az düzeyde radyasyon ile temas etmesine katkıda bulunacaktır.

Çalışmanın ikinci bölümünde yüksek seviyeli radyoaktif madde taşıma güvenliğinden bahsedilmiş, üçüncü bölümünde hata ağacı analiz yöntemine yer verilmiş, dördüncü bölümde hata ağacı analizinin yüksek radyoaktif maddelerin taşınmasında risk analizi için kullanılmasına ilişkin gerçekleştirilen uygulama anlatılmış, beşinci bölümde ise sonuç ve tartışmalara yer verilmiştir.

Bu makale araştırma ve yayın etiğine uygun şekilde hazırlanmıştır. Ayrıca, bu makale yüksek lisans tez çalışmasından türetilmiştir. Açık kaynaklardan yararlanıldığı için yasal/özel izin alınması gerekmemektedir.

## 2. Yüksek Radyoaktif Madde Taşıma Güvenliği

**Bölünebilir (Fisil) Malzeme**, önemli büyüklükte radyasyon ve ısı salınımına neden olacak kritik bir olay üretme potansiyeline sahip malzemelerdir (IAEA, 2008). Bu nedenle, bölünebilir malzemeler nakliye sırasında nükleer kritiklik güvenliğini sağlamak için daha özenli ve katı paket tasarımı hususları ve kontrolleri gerektirir. Bölünebilir malzeme plütonyum-239, plütonyum-241, uranyum-233, uranyum-235 veya bu radyonüklitlerin herhangi bir kombinasyonu olarak tanımlanır. Işınlanmamış veya sadece termal reaktörlerde ışınlanmış doğal veya tükenmiş Uranyum, bölünebilir malzeme olarak kabul edilmez (Radyoaktif Maddenin Güvenli Taşınması Yönetmeliği, 2005).

*Radyoaktif madde taşımacılığı*, olası bir radyasyon salınımında, çalışanların, toplumun ve çevrenin yüksek düzeyde radyasyon ile etkileşim içerisine girmesine neden olabilecek çalışma alanlarından biridir. Dünya genelinde her gün, radyoaktif atık ve kullanılmış nükleer yakıtlar da dahil olmak üzere binlerce radyoaktif madde sevkiyatı gerçekleştirilmektedir (IAEA/ Transporting radioactive materials). Radyoaktif materyallerin taşınması araştırma, tıbbi ve endüstriyel amaçlı kullanılan radyoizotopların taşınmasını ve radyoaktif atıklar ile nükleer yakıt çevrimi malzemelerinin sevkiyatlarını içerir (Er, 2008).

Uluslararası Atom Enerjisi Ajansının verilerine göre şu anda dünya çapında her yıl yaklaşık 20 milyon radyoaktif materyal ve atık sevkiyatı yapılmaktadır ve bunların sadece %5'i nükleer yakıt çevrimi unsurları ile ilgilidir (IAEA/ Transporting radioactive materials). Sivil nükleer güç santrallerinin %20'sini işleten Amerika'da, radyoaktif maddeler yıl içinde gönderilen 300 milyon tehlikeli madde paketinin %1'lik bölümünü oluşturmaktadır (Ratin, Mithel, Rishad ve Nitu, 2014).

Türkiye'de mevcut uygulamada, faal bir nükleer güç santrali bulunmadığından bölünebilir maddelerin taşınması işlemleri yapılmamaktadır (TAEK, 2018). Fakat yapımı devam eden Akkuyu Nükleer Güç Santrali'nin devreye girmesiyle birlikte aktif şekilde bu işlem söz konusu olacaktır.

Önemli miktarda radyoaktif madde içeren gönderilerin, kargoyu tanımlayıcı belge, etiket ve afişlere sahip olması gerekir. Radyoaktif maddeler, olası bir riske karşı dayanıklılığı test edilmiş özel koruma kapları içinde bulundurulmalıdır (IAEA/ Safety Standarts, 2008). Koruma kabı tasarımı, araç seçimi, paketleme, acil durum planlaması, hata analizleri, personel eğitimi ve denetleme işlemleri taşıma işleminde iş sağlığı ve güvenliğinin sağlanması açısından büyük öneme sahiptir.

Radyoaktif maddelerin paketlenmesi, radyasyon emisyonuna veya kazara ya da kasıtlı darbelerden, yangından kaynaklanan radyoaktif maddelerin salınımına karşı yüksek düzeyde koruma sağlayan en önemli koruma unsurlarından biridir (ARPANSA). Yüksek radyoaktif maddelerin taşınmasında genellikle B Tipi Paketler, Bölünebilir Madde Paketleri ve Uranyum Heksaflorür (UF6) için özel tasarlanan paketler kullanılır (REMM).

Etiketler, bir ambalajın içerdiği tehlikeli maddenin türünü ve aktivite seviyesini görsel olarak belirtmek için kullanılan afişlerdir (DOT/ Radioactive Material Regulations Review). Radyoaktif materyalin taşınması için gerekli olan paket (ambalaj), paketin içindeki maddenin aktivitesine göre seçilirken, paket üzerine yerleştirilen etiket, paketin dış yüzeyinde ölçülen radyasyon seviyesine göre seçilir (Cook, Flowers, Maders, Chapman ve McCombie, 2016). Taşıma güvenliği için paket tasarımı, paketleme ve işaretleme işlemleri oldukça önemlidir.

### 3. Hata Ağacı Analizi

6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'na göre, *risk değerlendirmesi*, çalışma ortamının yapısı gereği sahip olduğu veya dış ortamdan ya da olaylardan kaynaklanabilecek tehlikelerin belirlenmesini, incelemeye söz konusu tehlikelerin risk oluşturmasına yol açacak faktörler ve bu tehlikelerin taşıdığı birincil risklerin analiz edilerek sınıflandırılmasını ve riskleri ortadan kaldıracak tedbirlerin belirlenmesi amacı ile yapılan tüm çalışmaları ifade eder.

Radyoaktif maddelerin kullanıldığı çalışma alanları taşıdıkları potansiyel tehlikeler, yüksek teknoloji ve karmaşık yapıya sahip olması, bu alanda yürütülen işlerin çok aşamalı ve birbiri ile sıkı sıkıya bağlı olması nedeni ile risk analizi yapmak oldukça önemli ve gereklidir (Shrader-Frechette, 2003).

Risk faktörlerinin incelenmesi aşamalarında birçok farklı yöntem kullanılmaktadır. Ön Tehlike Analizi, Kinney Modeli, Ağırlıklandırılmış Ortalamalardan Sapma Tekniği, Birincil Risk Analizi, Risk Değerlendirme Tablosu, Hata Ağacı Analizi gibi farklı teknikler ile risk faktörleri belirlenerek, arıza durumları en aza indirilmeye çalışılmaktadır. Bu çalışmada hata ağacı analizi yöntemi benimsenmiştir. 1960'lı yıllardan günümüze kadar yaygın kullanılan bu tekniğin diğer tekniklere nazaran en etkili risk analizi yöntemi olduğu söylenebilir. İstenmeyen ciddi sonuçlara neden olabilecek fonksiyonel hataların belirlenmesinde oldukça etkin bir yöntemdir (Özkılıç, 2005; Kim vd., 2020).

Hata Ağacı Analizi, bir sistemdeki olası olayların kombinasyonları ile hatalar ve sistem arasındaki ilişkilerin anlaşılmasını sağlayan ve istenmeyen durumlar arasındaki bağlantıları ifade eden sistematik ve grafiksel bir risk analizi yöntemidir. Bu analiz yöntemi genellikle mevcut sistemin güvenilirliğini ve güvenliğini artırmak ve kaza olasılıklarını araştırmak için kullanılır (NASA, 2002). En ciddi etki ( toksik salınım, patlama, radyasyon salınımı gibi) ana etken olarak belirlenir. Bu yaklaşım ile insan hataları ile donanım hataları ilişkilendirilebilir. Hata ağacı ana olaya yol açacak etkenlerin tek tek sıralanması ve birbirleri ile ilişkileri dikkate alınarak oluşturulur. Olayın sonuçları, her bir etkenin gerçekleşme olasılığı, ayrı ayrı veya birlikte gerçekleşme ihtimalleri dikkate alınarak hesaplanabilir (IET, 2010).

Hata Ağacı Analizi ilk olarak 1962 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan Bell Laboratuvarlarında füze fırlatma sitemlerinin güvenlik kontrolünü geliştirmek üzere kullanılmaya başlanmıştır (Ericson, Clifton, 1999). 1975 yılında Amerika'da Nükleer Güvenlik analizlerinde kullanılmaya başlandı. 1979 yılında gerçekleşen Three Mile Island Nükleer Güç Santrali kazasının ardından önemi giderek artmaya başladı (USNRC/ Severe Accident Risks, 1990). Günümüzde birçok farklı mühendislik alanında sitem güvenliği analizlerinde kullanılmaktadır.

Tehlikeli madde taşımacılığı ortaya çıkarabilecekleri sonuçlar göz önüne alındığında risk ve güvenlik analizlerinin yapılması hayati önem taşıyan bir alandır. Tehlikeli maddelerin karayolu ile taşınması sürecinde ortaya çıkan çevresel risklerin değerlendirilmesinde hata ağacı analizi ile çeşitli çözümler önerilebilir ve arızalar gözlenebilir (Yalçınkaya, Demire ve Say, 2020). Kimyasal maddelerin taşınması sırasında oluşabilecek kontaminasyon riskine karşı Şenol, Aydoğdu, Şahin ve Kılıç tarafından Hata Ağacı Analizi (2015) yaklaşımı kullanılarak risk analizi çalışması ve olasılık analizi yapılmış ve bu tekniğin önemi vurgulanmıştır. Çin'de, 2017 yılında tehlikeli madde taşımacılığının yüzde 36'lık kısmı tren yolu ile gerçekleştirilmiştir. Tehlikeli madde taşımacılığındaki payı dikkate alındığında, Huang, Liu, Zhang, Xu ve Dieu (2020) demiryolu tehlikeli madde taşıma sisteminin başarısının tam olarak sağlanabilmesi için kaza analizi ve kaza kontrol yaklaşımın belirlenmesinde Hata Ağacı Analizi kullanılmıştır.

Nükleer santrallerde, reaktör koruma sistemleri geliştirilirken bu yazılımların sıkı güvenlik önlemlerinden geçmesi gereklidir. Sistemde oluşabilecek arızalar hata ağacı yöntemi incelenmiş ve Güney Kore'de çalışmakta olan bir nükleer santralin verileri referans alınarak vaka çalışması ve önerilen tekniğin etkinliği incelenmiştir. (Jung, Yoo, ve Lee, 2020). Nükleer güç santrallerinde güvenliği ve radyasyonun çalışanlar üzerinde neden olabileceği istenmeyen durumları en aza indirilmesi açısından robot sistemleri büyük öneme sahiptir. Bu robotların çalışma güvenliği Ferguson ve Lu (2000) tarafından, hata ağacı analizi kullanılarak test edilmiştir. Radyoaktif atıkların geri dönüşüm tesislerinde nicel ve nitel hata ağacı yöntemleri kullanılarak robotik manipülatörlerin tasarımında güvenlik sistemlerinin artırılmasında fayda sağlanmıştır ( Walker ve Cavallaro, 1996).

Yukarıda bahsedilen tüm çalışmalar Hata Ağacı Analizi yönteminin uzun yıllardır birçok mühendislik alanında risk ve güvenlik analizi amacıyla kullanıldığını göstermektedir. Buna karşın yüksek radyoaktif maddelerin taşınmasında





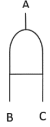

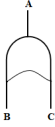


Hata Ağacı Analizi kullanılarak radyasyon salınımına karşı risk analizi çalışması üzerinde pek çalışılma yapılmamıştır. Özellikle yüksek radyoaktif atıkların olduğu bir nükleer güç santralının ülkemizde inşa edilmesi durumu göz önüne alındığında, risk analizi aşamasında bu yöntemin kullanılması ve risk faktörlerinin incelenmesi kaçınılmazdır.

### 3.1. Hata Ağacında Kullanılan Semboller

Bu çalışmada kullanılan hata ağacı analizi sembolleri ve tanımları Tablo 3.1 de verilmiştir.

**Tablo 3.1:** Hata Ağacı Analizinde Kullanılan Semboller (Roberts ve Haasl, 1981).

Sembol	Tanım		
	Esas olay		
	Koşula bağlı olay		
	Belirli unsurların ortaya çıkması sonucu gerçekleşen olay		
	VE kapısı		$A = B.C$
	VEYA kapısı		$A = B+C$

### 3.2. Hata Ağacı Analizi Adımlar

Hata ağacı analizi yöntemi ile yapılan çalışmalarda genel olarak dört ana aşama takip edilmektedir. Bunlar; sistemin tanımlanması, hata ağacının oluşturulması, nitel ve nicel değerlendirme aşamalarıdır (Roberts ve Haasl, 1981).

Çalışmada önerilen Hata Ağacı Analizi beş aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada ortaya çıktığında en büyük tehlikeye neden olacak istenmeyen esas olay belirlenir. Burada amaç, bu olaya neden olacak faktörleri belirleyerek istenmeyen durumun ortaya çıkmasını engellemektir. İkinci aşamada ise, esas olayın ortaya çıkmasına neden olacak hatalı durumlar ve faktörler belirlenir. Üçüncü aşamada hata ağacı sembolleri kullanılarak bu durum ve faktörler hata ağacına alt alta ilişkilendirilerek yerleştirilir. Dördüncü aşamada Boolean Matematiği kullanılarak olasılık hesabı mevcut istatistiklere göre hesaplanır. Son aşamada ise elde edilen sonuçlar değerlendirilir. Buna göre, inşa edilen hata ağacında yer alan hatalı durum ve faktörler göz önünde bulundurularak, sistemin eniyilemesi yapılır. Hangi alanlarda güvenlik tedbirleri alınması gerektiği, zayıf ve eksik noktalar ve potansiyel hatalar saptanır. Önerilen algoritma aşağıda verilmiştir.

#### Aşama 1: İstenilmeyen esas olayı belirle

**Adım 1:** Ne tür aksilikler meydana gelebilir?

Mevcut sistemde ortaya çıkması halinde en büyük aksiliklere neden olacak olay seçilir.

**Adım 2:** Gerçekleşme olasılığı nedir?

Gerçekleşme sıklığı esas olayın belirlenmesinde etkilidir.

**Adım 3:** Bir şeyler ters giderse sonuç ne olur?

Herhangi bir kaza ya da hata sonucu ortaya çıkması halinde neden olacağı sonuçlar açısından en tehlikeli olay seçilir.

#### Aşama 2: Esas olayın ortaya çıkmasına neden olan durum ve faktörlerin belirlenmesi

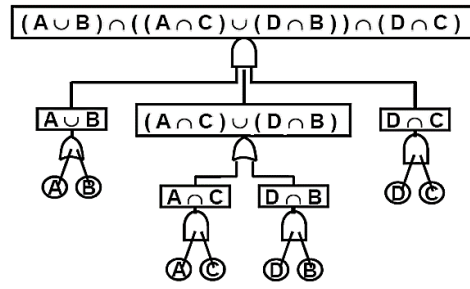
İstenmeyen olayın ortaya çıkmasını etkileyen hatalar ve kaza nedenleri araştırılır. Mevcut kazalardan elde edilen bilgilerden faydalanılır. Potansiyel faktörler değerlendirilir.

#### Aşama 3: Hata ağacı sembolleri kullanılarak hata ağacını inşa edilmesi

Elde edilen hatalı durum ve faktörler Tablo 'de verilen semboller kullanılarak hata ağacı inşa edilir.

#### Aşama 4: Boolean Matematiği ile olasılık hesabı

Risk faktörlerinin sebeplerini öğrenebilmek için bu faktörler Boolean Cebir'i (Şekil 3.1) giriş kapıları "VE" ve "VEYA" ile birbirine bağlanır Uygulanan matematiksel hesaplama Eşitlik (a) ve (b) kullanılarak yapılır. "VE" geçidi bağlı risk faktörlerinin hepsinin ortaya çıkması halinde olayın gerçekleşeceği anlamına gelir. "VEYA" geçidi ise bağlı nedenlerden herhangi biri meydana gelirse olayın gerçekleşeceği anlamına gelir. Risk yönetimi yapılarak sistem güçlendirilecek yöntemler bulunmaya çalışılır. Bu aşamada sistemi etkileyen tüm faktörler tanımlanır. Son olarak, sisteme dolaylı veya doğrudan etki eden tehlikeli faktörleri ortadan kaldırmak veya etkilerini azaltabilmek için uygun yöntemler belirlenir (Roberts ve Haasl, 1981).



Şekil 3.1: Boolean Matematiği Çizelgesi

$$\begin{aligned}
 (A \cup B) \cap ((A \cap C) \cup (D \cap B)) \cap (D \cap C) &= (A + B) * (A * C + D * B) * D * C \\
 &= AACDC + ADBDC + BACDC + BDBDC = ACD + ABCD + ABCD + BCD \quad (a) \\
 &= ACD + BCD
 \end{aligned}$$

$$\left[ \begin{array}{l} A + A = A, A * A = A \\ (A * B) + A = A, (A + B) * B = B \end{array} \right] \quad (b)$$

Hata ağacı analiz yöntemi olayların, hataların ve olayı etkileyen unsurların sayısal değerleri ele alındığında kantitatif risk çözümlemesi yapabilmeye imkânı da sağlamaktadır. Bu şekilde belirlenen risk ihtimallerini sayısal olarak hesaplanabilmektedir (Görçün, 2018).

#### Aşama 5: Sonuçların değerlendirilmesi

Elde edilen sonuçlar neticesinde sistem güvenilirliği tanımlanır, istenmeyen esas olaya etki eden karmaşık ve sistematik olumsuzluklar ve birbirleri ile olan ilişkileri değerlendirilir. Sistemi etkileyecek tehlikeler sıralanır ve bunların azaltılmasına yönelik önlemler planlanır. İlerleyen süreçte yapılan iyileştirmeler tekrar aynı yöntem yenilenerek incelenebilir.

### 4. Yüksek Radyoaktif Maddelerin Taşınmasında Hata Ağacı Analiz Yönteminin Uygulanması

Hata Ağacı Analizi yöntemi ile, karayolu ile gerçekleştirilen yüksek radyoaktif maddelerin taşınması sırasında muhtemel bir kazanın önüne geçilmek ve bu kazadan ötürü radyoaktif salınımı engelleyerek çalışanlar, toplum ve çevrenin radyasyonun zararlı etkilerinden koruyabilmek için kazaya neden olabilecek olasılıkların kombinasyonları belirlenerek risk değerlendirmesinin yapılması amaçlanmıştır. Gerekli literatür çalışması yapıldıktan sonra, dünya genelinde uygulanan taşıma standartları ve kuralları göz önünde bulundurularak, uluslararası ve ulusal yönetmelikler ve tavsiyeler ışığında, olası bir taşıma kazasına neden olabilecek faktörler belirlenerek hata ağacı şeması oluşturulmuştur. Birbiri ile ilişkili ya da zincirleme olarak gerçekleşecek durumlar ağaç dallarını oluşturacak şekilde sıralanmıştır. Yapılan uygulamanın aşamaları aşağıda verilmiştir.

#### Aşama 1

Yüksek radyoaktif maddelerin taşınması sırasında, sahip olduğu potansiyel riskler düşünüldüğünde, radyasyon salınımı istenmeyen olaydır. Bu nedenle radyasyon salınımı esas olay olarak seçilmiştir.

#### Aşama 2

Türkiye’de, bu çalışmanın yapıldığı tarihte, faal bir Nükleer Güç Santrali bulunmadığından, yüksek radyoaktif madde taşımacılığı henüz yapılmamaktadır ve yüksek radyoaktif madde içeren taşıma kazası gerçekleşmemiştir. Bu nedenle, taşıma işlemi sırasında esas olayın ortaya çıkmasına neden olacak faktörlerin belirlenmesinde, OSHA

tehlike kökü tanımlamalarından faydalanılmıştır (OSHA/ Hazard Identification and Assessment). Ek olarak Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bakanlığı (DOE) tarafından 2016 yılında hazırlanan A Historical Review of the Safe Transport of Spent Nuclear Fuel raporunda dünya genelinde yer alan taşıma kaza örneklerindeki kaza sebepleri referans alınmıştır (Connolly ve Pope, 2016). Yapılan bu detaylı araştırmanın ardından, radyasyon salınımına sebep olabilecek iki ana başlık ve bunların ortaya çıkmasına neden olacak alt başlıklar seçilmiştir. Burada seçilen ana başlıklar trafik kazası ve taşıma kaplarıdır. Bu çalışmada kazaya sebep olabilecek belirgin olaylar seçilmiştir, fakat sistemde olumsuzluk yaratabilecek tehlike çok daha fazladır. Radyoaktif salınımına neden olacak ana başlıklar ve bunları etkileyen alt faktörler Tablo 4.1 ve Tablo 4.2’de verilmiştir.

**Tablo 4.1:** Hata ağacı analizinde trafik kazasına neden olan ana ve ara faktörler

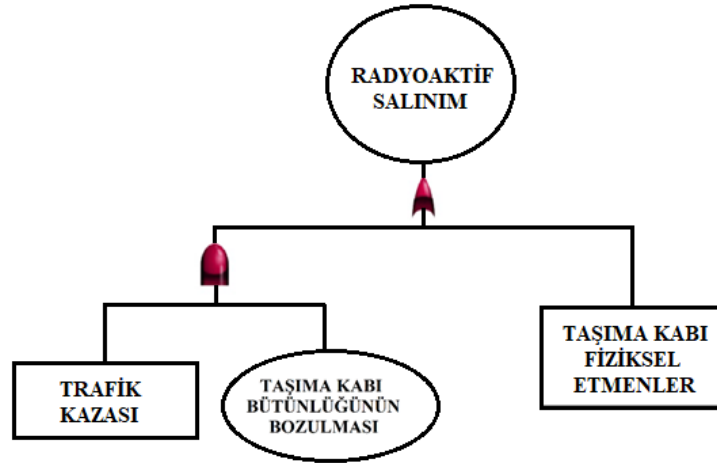
Ana Faktör	Ara Faktör
<b>Dış Etkenler</b>	Tehlikeli çalışma alanı
	Altyapı yetersizliği
	Yangın, Patlama
	Çarpışma
	Doğal Afet
<b>Sistemsal Etkenler</b>	Araç sistem yangınları
	Araç lastiklerinin zarar görmesi
	Araçın arızalanması
	Güvenlik takip, alarm ve ikaz cihazlarının eksikliği
<b>Personel Faktörü</b>	Uygunsuz pozisyon
	Prosedürlere uyulmaması, Sorumsuzluk
	Kontrol Hataları
	Hız
	İletişimsizlik
	Ani gelişen sağlık problemleri
	Yanlış karar alma
<b>Yönetsel Etkenler</b>	Yetersiz sayıda personel
	Donanımsız personel
	Hatalı yol haritası
	Koordinasyon eksikliği
	Kişisel koruyucu ekipman
	Hatalı araç seçimi
	Periyodik Kontroller
	Mühendislik kontrol eksikliği
	Hatalı veya eksik risk analizi
Yetersiz denetim	

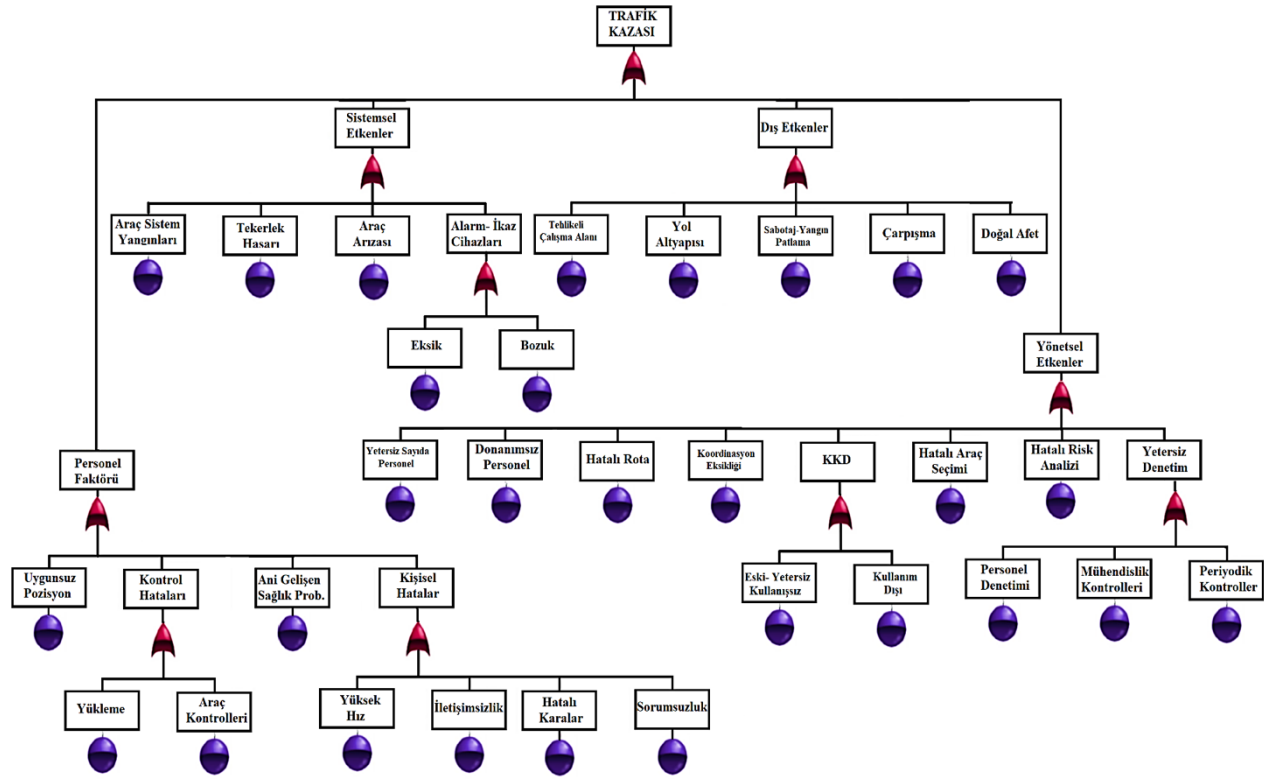
**Tablo 4.2:** Hata ağacı analizinde taşıma kaplarından kaynaklı radyasyon salınımı etkileyen ana ve ara faktörler

Ana Faktör	Ara Faktör
Termal Değişim	Yangın
	Radyoaktif maddelerden kaynaklanan fiziksel veya kimyasal reaksiyonlar
	Soğutucu
Tasarım	Hatalı Tasarım
	Korozyon
	Zırhlama
Personel Faktörü	Araçlara hatalı yükleme
	Radyasyon Seviyesi Ölçümünün Yapılmaması
	Hatalı paket

**Aşama 3**

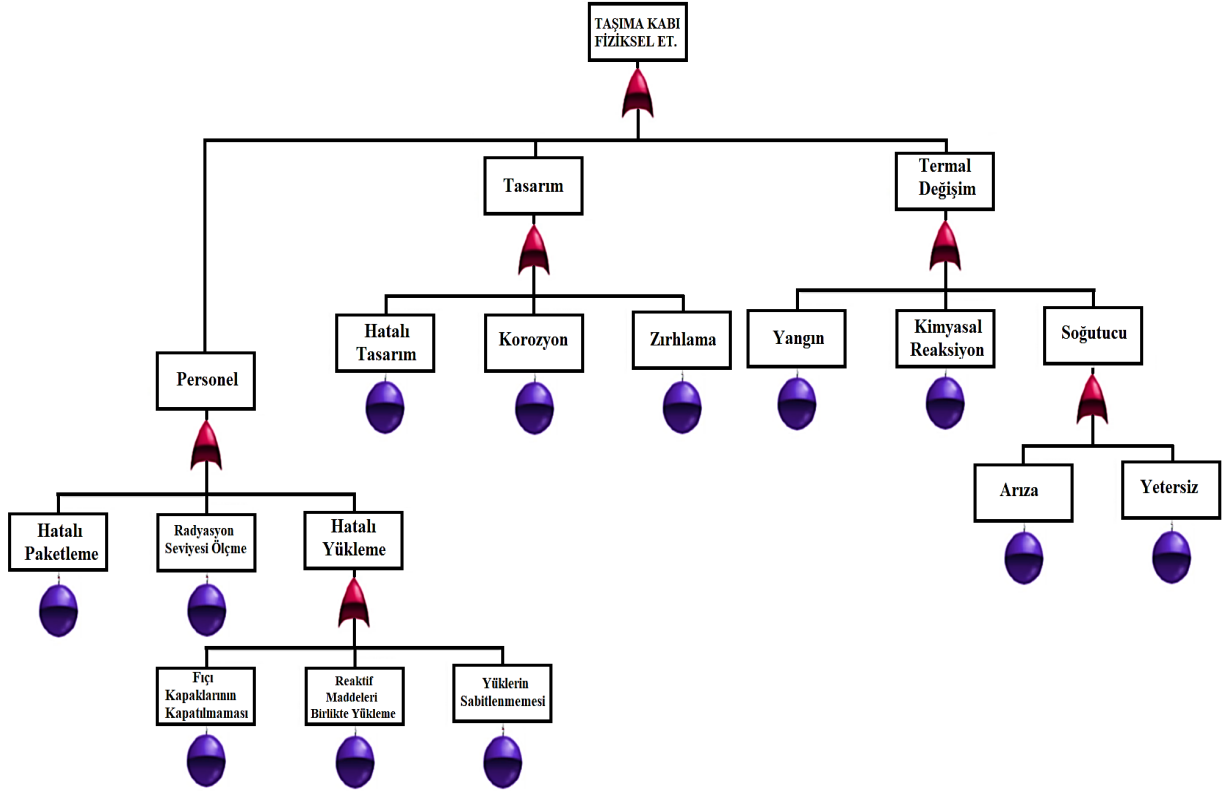
Seçilen hatalı durumlar ve faktörler hata ağacı sembolleri kullanılarak uygun şekilde yerleştirilmiştir. Hata ağacını oluşturan ana başlıklar ara kesitler halinde incelenmiş ardından esas olayla ilişkilendirilmiştir ve Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3 'te gösterilmiştir. Ara kesitlerde yer alan ana başlıkların gerçekleşmemesi durumunda radyasyon salınımı gerçekleşmez. Trafik kazasında radyasyon salınımı, taşıma kaplarının bu kaza nedeni ile bütünlüğünün bozulması koşuluna bağlıdır. Taşıma kaplarında meydana gelecek herhangi bir olumsuzluk radyasyon salınımını direkt etkileyecektir.

**Şekil 4.1:** Radyoaktif taşıma kazası hata ağacı



Şekil 4.2: Hata ağacı trafik kazası ara kesit

Trafik kazası, taşımada kullanılan fiçilerin ve zırhlarının direkt darbe olarak kırılması veya çatlamasına veya bir yangına sebebiyet vererek termal değişime neden olup taşıma kaplarının bütünlüğünü bozulmasına yol açabilir. Bütünlüğü bozulan fiçilerden da radyasyon salınımı gerçekleşebilir. Fiçi tasarımı ve alınan diğer önlemler de göz önüne alındığında, fiçilerin trafik kazasından alacağı darbe sonucu bütünlüğünün bozularak radyasyon yayılması ihtimali, trafik kazası gerçekleşme ihtimalinden çok daha düşüktür. Trafik kazası radyasyon salınımı tetikleyebilecek en büyük etken olduğu için ana faktör olarak kabul edilebilir.



Şekil 4.3: Hata ağacı taşıma kapları- fiziksel etmenler ara kesit

Taşıma kapları olası bir trafik kazasında, radyoaktif maddenin dağılmasını engellemede kalkan görevi görür. Taşıma kapları ağır darbelere ve şiddetli trafik kazalarına karşı dayanıklı olacak şekilde tasarlanırlar. Böylelikle şiddetli trafik kazalarında dahi radyasyon salınımı ihtimalini düşürür. Taşıma kaplarında ortaya çıkan herhangi bir problem direkt radyoaktif madde salınımına neden olacaktır.

#### Aşama 4

Hata ağacında her bir ara faktörün ortaya çıkma ihtimali bir üste yer alan olayın gerçekleşme ihtimaline etken olur. Olayların gerçekleşme sıklığı gerçekleşme ihtimalini belirler. Hata ağacının dallarını oluşturan her bir vakanın gerçekleşme olasılığı çok daha düşük olabileceğinden ve söz konusu olayın gerçekleşmesine etki edecek tüm faktörler ele alınamadığından, bir olayın toplam vaka sayısına bölünerek olasılık hesaplaması tercih edilmemiştir. Bu tez çalışmasında sistem güvenilirliği için Dizdar EN. (2003) tarafından hata ağacı analizini uyguladığı çalışmasında Tablo 4.3'de verilen olasılık ölçeği kullanılmıştır. Aynı zamanda Türkiye İstatistik Kurumu'nun yayımlandığı 2018 trafik kazası verilerinden faydalanılmıştır.

Tablo 4.3: Olasılık Ölçeği

Olasılığı	Gerçekleşme Frekansı
Her 10 olayda 1	Çok sık
Her 100 olayda 1	Sık
Her 1000 olayda 1	Seyrek
Her 10000 olayda 1	Çok az
Her 100000 olayda 1	Nadiren
Her 1 milyon olayda 1	Oldukça nadiren

Trafik kazasına neden olan dış etkenler, karşılaşma sıklığına göre nadiren olarak seçilmiştir. Hata ağacında yer alan diğer unsurlarda eniyileme yapıldığı düşünülerek oldukça nadir olarak seçilmiştir.

TÜİK 2018 verilerine göre, Türkiye’de mevcut kayıtlı araç sayısı yaklaşık olarak 23 milyondur. Aynı yıl yaklaşık olarak 1,23 milyon kaza meydana gelmiştir. Günlük ortalama 3370 civarında kaza gerçekleşmiştir. Bu kazalar genel olarak sürücü, yaya, taşıt ve yol kaynaklı gerçekleşmiştir. Büyük çoğunluğu araca yandan çarpma, aracın yoldan çıkması, sabit cisme çarpma, karşılıklı çarpışma, duraç araca çarpma, insan ya da hayvana çarpma gibi olaylardır (Özen ve Zorlu, 2018). Kayıtlı araçların aktif olarak aynı gün trafiğe çıktığını düşünürsek herhangi bir trafik kazasının gerçekleşme olasılığı 0.00014’tür. Bu değer bir aracın çarpışma nedeni ile trafik kazasına dahil olabilmesinin en yüksek ihtimali olarak belirlenmiştir.

2018 yılında gerçekleşen kazaların %75’i yerleşim bölgelerinde gerçekleşmiştir (Yaprak ve Akbulut, 2019). Yüksek radyoaktif maddelerin taşınması işlemleri nükleer tesisler ve depolama merkezleri arasında gerçekleştirildiğinden, taşıma işlemi genellikle yerleşim alanlarına uzak bölgelerde yapılmaktadır. Buna göre mevcut kaza ihtimalinin %25’i yüksek radyoaktif madde lojistik faaliyetinde bulunan bir aracın kazaya karışma olasılığı verir ve bu değer 0,000035’tir.

### Aşama 5

Yüksek radyoaktif maddelerin taşınması sırasında meydana gelebilecek radyasyon salınımı; çarpışma, doğal afet gibi etkenlerden kaynaklanan trafik kazası sonucu veya taşıma kaplarının tasarım veya yükleme aşamalarındaki hatalar, ya da termal değişim gibi faktörlerden kaynaklı gerçekleşebilir. Boolean Matematiği kullanılarak yapılan olasılık hesabı sonu elde edilen sonuçlar Tablo 4.4’te verilmiştir.

**Tablo 4.4:** Hata Ağacı Analizi sonucu elde edilen olasılık değerleri

Olay	Olasılık
Trafik Kazası	0.000099
Taşıma Kabı	0.000012
Radyasyon Salınımı	0.000024

Her trafik kazası radyasyon salınımına sebebiyet vermez. Herhangi bir trafik kazasında radyoaktif madde salınımı olabilmesi taşıma kaplarının bütünlüğünün bozulması koşuluna bağlıdır. Radyasyon salınımı olabilmesi için taşıma fiçileri ve zırh malzemelerinin de zarar görmesi gerekir. Trafik kazası için belirlenen olasılık, radyasyon salınımının gerçekleşme ihtimalini artıran bir değerdir.

Trafik kazası, taşımada kullanılan fiçilerin ve zırhlarının direkt darbe alarak kırılması veya çatlamasına veya bir yangına sebebiyet vererek termal değişime neden olup taşıma kaplarının bütünlüğünü bozulmasına yol açabilir. Bütünlüğü bozulan fiçilerden da radyasyon salınımı gerçekleşebilir. Fıçı tasarımı ve alınan diğer önlemler de göz önüne alındığında, fiçilerin trafik kazasından alacağı darbe sonucu bütünlüğünün bozularak radyasyon yayılması ihtimali, trafik kazası gerçekleşme ihtimalinden çok daha düşüktür.

Hata ağacında taşıma kazasında insan faktörü, diğer araç ve gereçler ya da doğal koşulların ortaya çıkaracağı etkilerden daha geniş yer kaplamaktadır. Yönetsel etkenlerde, tasarım lojistik faaliyetleri aşamalarında insan kaynaklı ortaya çıkan en küçük hata direkt olarak tüm lojistik faaliyetlerini ve olayın kaza ile sonuçlanmasını etkiler. Çalışanların yaş ve deneyim süreleri de bu süreçte değişikliğe neden olabilir (Alizadeh, Mortazavi, Sepehri, 2015).

## 5. Sonuçlar ve Tartışma

Hata ağacı analizi yüksek radyoaktif madde taşınması gibi karmaşık sistemlerde risklerin belirlenmesinde birçok farklı faktörün sisteme nasıl etki edeceğini göstermek için kullanılacak etkili, etkileşimli ve çok yönlü bir risk değerlendirme yöntemidir. Hata ağacını oluşturan dallar ile sisteme etki eden faktörler genelden detaya rahatlıkla görülebilir. Böylelikle karmaşık bağlantılar sisteme dahil edilerek hataların ne oranda ve büyüklükte sonuçlara yol



açacağı görmemizi sağlayabilir. Birbiri ile yakınlığı ve ilişkisi bulunan hatalar bu şekilde tespit edilerek sistemin eniyilemesi için çözüme odaklanma sürecini hızlandırabilir.

Hata ağacı analizi, ayrıntılı bir çalışma gerektirdiğinden oldukça zaman alıcı ve uzman bir ekip gerektiren bir süreci kapsar. Ara faktörlerin gerçekleşme olasılığının hesaplanmasında yaşanan belirsizlikler, ana faktörün gerçekleşme ihtimalinin hesaplanmasında da belirsizliklere neden olur. Bu nedenle matematiksel olarak olasılık hesabı yapıldığında hata payı mutlaka olacaktır. Çünkü sisteme etki edecek tüm faktörleri ele almak, bunların gerçekleşme ihtimallerini net olarak hesaplamak ve sonuçlandırmak neredeyse imkansızdır. Bu çalışmada hata ağacı analizinin kullanılmasının amacı yüksek radyoaktif maddelerin taşınmasında meydana gelebilecek bir kazanın olasılığını yaklaşık olarak hesaplamak değil sisteme etki edecek faktörleri detaylı bir şekilde birbiri ile olan ilişkilerini ve risklerin hangi faktörlerden kaynaklanabileceğini göstermektir. Hata ağacı yöntemini diğer risk analizi yöntemlerinden ayıran en büyük özelliği sisteme etki eden tüm faktörleri ayrıntılı bir şekilde sergilemesidir. Bu şekilde birbirini etkileyen her bir etmene sebep olan olaylar rahatlıkla gözlemlenebilir ve risk faktörleri minimize edilebilir.

İnsan hataları sisteme dahil edildiğinde, matematiksel olarak yapılacak olasılık hesabı tahminlerin ötesine geçmeyecektir. İnsan kaynaklı hatalar sistemin ilerleyişini çok hızlı bir şekilde etkileyerek tümü ile değiştirebilir. Aynı zamanda bu analiz yöntemi durağan bir yapıya sahiptir. Zaman ile olan ilişkisini kestirmek mümkün değildir.

Sisteme etki etme potansiyeli olan olayların, geçmiş kazalardan elde edilen deneyimler aracılığı ile sisteme etki eden ana faktörlerin ve bu kök nedenlere etki edecek ara faktörlerin zincirleme bağlantılarını görebilmek adına nükleer teknolojilerde risk değerlendirilmesi yaparken ve sistemlerin eniyilemesinde hata ağacı analizi etkili bir yöntem olarak varlığını sürdürecektir. Ulaştırma rotasının seçimi, paketleme, yükleme, tasarım ve taşıma aşamalarında güvenlik sistemlerinin belirlenmesinde ve kalitesinin artırılmasında, böylelikle çalışanların ve toplumun sağlığının korunmasında hata ağacının sonuçları kullanılabilir. Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Furkan Erdoğan, problem analizinin yapılması, bilimsel yayın araştırması ve makalenin oluşturulması; Ergün Eraslan, makalenin hazırlanması ve kontrolü konularında katkı sağlamışlardır.

### Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

### Kaynaklar

Alizadeh, SS., Mortazavi, SB. & Sepehri, MM. (2015). Analysis of Occupational Accident Fatalities and Injuries Among Male Group in Iran Between 2008 and 2012. *Iran Red Crescent Medical Journey*. 17/10: e18976. doi: [10.5812/ircmj.18976](https://doi.org/10.5812/ircmj.18976)

ARPANSA (Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency). Transport of radioactive material Erişim adresi: <https://www.arpansa.gov.au/regulation-and-licensing/safety-security-transport/transport-of-radioactivematerials> s.e.t. 10 Nisan 2020.

Connolly KJ & Pope RB. (2016). A Historical Review of the Safe Transport of Spent Nuclear Fuel. Prepared for US Department of Energy Nuclear Fuels Storage and Transportation Planning Project. Erişim adresi: [https://www.energy.gov/sites/prod/files/2017/03/f34/Enhanced%20safety%20record%20report%20%20final%20public%20release\\_0.pdf](https://www.energy.gov/sites/prod/files/2017/03/f34/Enhanced%20safety%20record%20report%20%20final%20public%20release_0.pdf)

Cook D, Flowers Q, Maders S, Chapman N & McCombie C. (2016). *Safety and Risks in the Transportation of Radioactive Materials to and in Australia*. Australia, Jacobs Group Pty Limited.

Dizdar EN. (2003). Sistem Güvenirliği için Hata Ağacı Analizi. *Teknoloji*. 3(4), 35-40.

Er, Z. (2008). Safety and security aspects for the effective shipment of radioactive materials with maritime transportation. *International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 2(3):303-309. Retrieved from [http://www.transnav.eu/Article\\_Safety\\_and\\_Security\\_Aspects\\_for\\_Er,7,109.html](http://www.transnav.eu/Article_Safety_and_Security_Aspects_for_Er,7,109.html)

Ericson, A. & Clifton, II. (1999). Fault tree analysis. A History. Proceedings of the 17th International Systems Safety Conference. Seattle, Washington.

Ferguson TA & Lu L. (2003). Fault Tree Analysis for an Inspection Robot in a Nuclear Power Plant. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 235: (2017) 012003 doi:10.1088/1757-899X/235/1/012003

Görçün, ÖF. (2018). Tehlikeleri Maddelerin Sınıflandırılması ve Paketlenmesi. İçinde: Koparal AS. Tehlikeli Madde Lojistiği ve İş Güvenliği. Eskişehir, 1.Baskı. Anadolu Üniversitesi Yayınları.

Health and Safety Executive. Radiations. Erişim adresi: <https://www.hse.gov.uk/toolbox/radiations.htm> s.e.t. 22.11.2019.

Huang, W., Liu, Y., Zhang, Y., Zhang, R, Xu, M., Dieu, GJ., Antwi, E. & Shuai, B. (2020). Fault Tree and Fuzzy D-S Evidential Reasoning combined approach: An application in railway dangerous goods transportation system accident analysis. *Information Sciences*. 520: 117–129

IAEA Safety Standards. (2008). Advisory Material for the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, No. TS-G-1.1. 63-194. Erişim adresi: <https://www.iaea.org/publications/12288/regulations-for-the-safe-transport-of-radioactive-material>

IET(2010). Quantified Risk Assessment Techniques - Part 2 Event Tree Analysis . ETA, The Institution of Engineering and Technology, Health and Safety Briefing No. 26b.

International Atomic Energy Agency (IAEA). Transporting radioactive materials. Erişim adresi: <https://www.iaea.org/topics/transporting-radioactive-materials> s.e.t. 01.03.2020.

İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu. (2012, 20 Haziran). Resmî Gazete. (Sayı: 6331). Erişim adresi: <https://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/1.5.6331.pdf>

Jung, S. Yoo, J., & Lee, YL. (2020). A Software Fault Tree Analysis Technique for Formal Requirement Specifications of Nuclear Reactor Protection Systems. *Reliability Engineering & System Safety* Volume 203: 107064

Kim, DH., Cho, WI. & Seung, JL. (2020). Fault Tree Analysis as a Quantitative Hazard Analysis with a Novel Method for Estimating the Fault Probability of Microbial Contamination: A Model Food Case Study. *Food Control*, Volume 110: 107019

Lamarsh, J. (2001). *Introduction to Nuclear Engineering* (3rd Edition). Prentice Hall.

NASA, (2002), National Aeronautics and Space Administration. "Fault Tree Handbook with Aerospace Applications. NASA Office of Safety and Mission Assurance, NASA Headquarters, Washington, DC.

Occupational Safety and Health Administration (OSHA). Hazard Identification and Assessment. Erişim adresi: <https://www.osha.gov/shpguidelines/hazard-identification.html> s.e.t. 17.03.2020.

OSHA. Radiation. Erişim adresi: <https://www.osha.gov/SLTC/radiation/> s.e.t. 22.11.2019.

Özen, M ve Zorlu, F. (2018). Türkiye’de Devlet Karayollarında Kaza Oranlarının ve Kaza Örüntüsünün Analizi. *Teknik Dergi*, 29 (5), 8589-8604. doi: 10.18400/tekderg.308318

Özkılıç, Ö., (2005). *İş Sağlığı ve Güvenliği, Yönetim Sistemleri ve Risk Değerlendirme Metodolojileri*. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, Türkiye İşveren Sendikaları Konfederasyonu, 27-140.

Radyoaktif Maddenin Güvenli Taşınması Yönetmeliği. (2005, 8 Temmuz). Resmî Gazete. (Sayı: 25869). Erişim adresi: <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=9020&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>

Ratin ASR, Mithel MFH, Rishad ASR, Nitu TAK. (2014). Radioactive waste management of nuclear power plant. *International Journal of Renewable Energy Technology Research*, 3(7): 1-10. Retrieved from <http://ijretr.org>

Roberts, NH & Haasl, DF. (1981). Fault Tree Handbook (pdf). Erişim adresi: <https://www.nrc.gov/docs/ML1007/ML100780465.pdf>

Shrader-Frechette K. (2003). Risk and uncertainty in nuclear waste management. Erişim adresi: [https://www.nwmo.ca/~media/Site/Files/PDFs/2015/11/04/17/31/607\\_1-5Riskand\\_UncertaintyinNuclearWaste\\_Management.ashx](https://www.nwmo.ca/~media/Site/Files/PDFs/2015/11/04/17/31/607_1-5Riskand_UncertaintyinNuclearWaste_Management.ashx) s.e.t. 21.04.2020.

Şenol, Y., Aydoğdu YV., Şahin B. ve Kılıç İ. (2015). Fault Tree Analysis of chemical cargo contamination by using fuzzy approach. *Expert Systems with Applications*, Elsevier Ltd. 42: 5232–5244 3.1.1.1.

TAEK. (2018). Radyoaktif Maddelerin Güvenli Taşınmasına İlişkin Kılavuz (pdf), RSGD-KLV-035. Erişim adresi: [https://www.taek.gov.tr/index.php?option=com\\_content&view=article&id=614&Itemid=429&lang=tr](https://www.taek.gov.tr/index.php?option=com_content&view=article&id=614&Itemid=429&lang=tr)

TÜİK Karayolu Trafik Kaza İstatistikleri. (2018). Erişim adresi: <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=27668> s.e.t. 16.03.2020.

Radiation Emergency Medical Management (REMM). Understanding Shipping Labels and Placards for Radioactive Materials. Erişim adresi: [https://www.remm.nlm.gov/transportation\\_hazard\\_id.htm](https://www.remm.nlm.gov/transportation_hazard_id.htm) , s.e.t. 15 Nisan 2020.

US Department of Transportation (DOT). Radioactive Material Regulations Review. Erişim adresi: <https://rampac.energy.gov/docs/default-source/dotinfo/dotramreg.pdf?sfvrsn=2> s.e.t. 10 Nisan 2020.

USNRC. Definitions. Erişim adresi: <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/cfr/part020/part020-1003.html> s.e.t. 13.12.2019.

USNRC. (1990). Severe Accident Risks: An Assessment for Five U.S. Nuclear Power Plants (pdf). Erişim adresi: <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/staff/sr1150/v2/sr1150v2appa.pdf>

Yalçınkaya, NM., Demirel E. ve Say, N. (2020). Tehlikeli Maddelerin Karayolu ile Taşınması Sürecinde Ortaya Çıkan Çevresel Risklerin Hata Ağacı Analizi ile Değerlendirilmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi* 8(4): 973 – 984 e-ISSN: 1308-6693.

Yaprak, Ş ve Akbulut, AM. (2019). Trafik Kaza ve Denetim İstatistikleri. *Polis Akademisi Yayınları*. 75: 8-13.

Yüksek Aktiviteli Kapalı Radyoaktif Kaynakların ve Sahipsiz Kaynakların Kontrolü Yönetmeliği. (2009, 21 Mart). Resmî Gazete. (Sayı: 27176). Erişim adresi: <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=12938&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>

Walker, ID., & Cavallaro, J. R. (1996). Failure mode analysis for a hazardous waste clean-up manipulator. *Reliability Engineering and System Safety*, 53(3), 277-290.