



ANKARA YILDIRIM BEYAZIT UNIVERSITY  
JOURNAL OF TURKISH OPERATIONS MANAGEMENT

ISSN 2630-6433 e-ISSN 2630-6433

# JOURNAL OF TURKISH OPERATIONS MANAGEMENT

**YEAR: 2026**

**VOLUME: 10**

**NUMBER: 1**



ANKARA YILDIRIM BEYAZIT UNIVERSITY  
JOURNAL OF TURKISH OPERATIONS MANAGEMENT

ISSN 2630-6433 e-ISSN 2630-6433

**Owner / Sahibi**

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

[metegundogan@aybu.edu.tr](mailto:metegundogan@aybu.edu.tr)

**General Publication Management / Genel Yayın Yönetimi**

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

[eraslan@aybu.edu.tr](mailto:eraslan@aybu.edu.tr)

**Editor-in-Chief / Editör**

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

[babek.erdebilli2015@gmail.com](mailto:babek.erdebilli2015@gmail.com) or [berdebilli@aybu.edu.tr](mailto:berdebilli@aybu.edu.tr)

**Editorial Board / Editör Kurulu**

Prof. Dr. Emel Kızılay Aydoğan	Department of Industrial Engineering, Erciyes University, Kayseri, Türkiye	<a href="mailto:ekaydogan@erciyes.edu.tr">ekaydogan@erciyes.edu.tr</a>
Prof. Dr. Dilşad Güzel	Department of Industrial Engineering, Atatürk University, Erzurum, Türkiye	<a href="mailto:dguzel@atauni.edu.tr">dguzel@atauni.edu.tr</a>
Prof. Dr. Neslihan Demirel	Department of Industrial Engineering, Kayseri University, Kayseri, Türkiye	<a href="mailto:ndemirel@kayseri.edu.tr">ndemirel@kayseri.edu.tr</a>
Prof. Dr. Kumru Didem Atalay	Department of Industrial Engineering, Başkent University, Ankara, Türkiye	<a href="mailto:katalay@baskent.edu.tr">katalay@baskent.edu.tr</a>
Prof. Dr. Canan Nur Karabey	Faculty of Economics and Administrative Sciences, Atatürk University, Erzurum, Türkiye	<a href="mailto:ckarabey@atauni.edu.tr">ckarabey@atauni.edu.tr</a>
Prof. Dr. Yusuf Tansel İç	Department of Industrial Engineering, Başkent University, Ankara, Türkiye	<a href="mailto:yustanic@baskent.edu.tr">yustanic@baskent.edu.tr</a>
Prof. Dr. Gülsen Akman	Department of Industrial Engineering, Kocaeli University, Kocaeli, Türkiye	<a href="mailto:akmang@kocaeli.edu.tr">akmang@kocaeli.edu.tr</a>
Prof. Dr. Fatih Emre Boran	Department of Industrial Engineering, Gazi University, Ankara, Türkiye	<a href="mailto:emreboran@gazi.edu.tr">emreboran@gazi.edu.tr</a>
Prof. Dr. İbrahim Küçükkoç	Department of Industrial Engineering, Balıkesir University, Balıkesir, Türkiye	<a href="mailto:ikucukkoc@balikesir.edu.tr">ikucukkoc@balikesir.edu.tr</a>
Prof. Dr. Ecir Uğur Küçüksille	Department of Computer Engineering, Süleyman Demirel University, Isparta, Türkiye	<a href="mailto:ecirkucuksille@sdu.edu.tr">ecirkucuksille@sdu.edu.tr</a>
Prof. Dr. Yücel Öztürkoglu	Department of Logistics Management, Yaşar University, İzmir, Türkiye	<a href="mailto:yucel.ozturkoglu@yasar.edu.tr">yucel.ozturkoglu@yasar.edu.tr</a>
Prof. Dr. Hakkı Okan Yeloğlu	Department of Management and Organization, Başkent University, Ankara, Türkiye	<a href="mailto:okany@baskent.edu.tr">okany@baskent.edu.tr</a>
Prof. Dr. Muhammed Emre Keskin	Department of Industrial Engineering, Atatürk University, Erzurum, Türkiye	<a href="mailto:emre.keskin@atauni.edu.tr">emre.keskin@atauni.edu.tr</a>
Prof. Dr. Tamer Eren	Department of Industrial Engineering, Kırıkkale University, Kırıkkale, Türkiye	<a href="mailto:tamereren@gmail.com">tamereren@gmail.com</a>
Assoc. Prof. Dr. Aylin Adem	Department of Industrial Engineering, Gazi University, Ankara, Türkiye	<a href="mailto:aylinadem@gazi.edu.tr">aylinadem@gazi.edu.tr</a>



## ANKARA YILDIRIM BEYAZIT UNIVERSITY

### JOURNAL OF TURKISH OPERATIONS MANAGEMENT

ISSN 2630-6433 e-ISSN 2630-6433

Assoc. Prof. Dr. Gürkan Işık	Department of Industrial Engineering, Bursa Technical University, Bursa, Türkiye	<a href="mailto:gurkan.isik@btu.edu.tr">gurkan.isik@btu.edu.tr</a>
Assoc. Prof. Dr. Emir Hüseyin Özder	Department of Industrial Engineering, Aksaray University, Aksaray, Türkiye	<a href="mailto:emirhuseyin.ozder@aksaray.edu.tr">emirhuseyin.ozder@aksaray.edu.tr</a>
Assoc. Prof. Dr. Sena Daş	Department of Industrial Engineering, De Montfort University, Leicester, United Kingdom	<a href="mailto:sena.das@dmu.ac.uk">sena.das@dmu.ac.uk</a>
Assoc. Prof. Dr. Burcu Özcan Türkkan	Department of Industrial Engineering, Kocaeli University, Kocaeli, Türkiye	<a href="mailto:burcu.ozcan@kocaeli.edu.tr">burcu.ozcan@kocaeli.edu.tr</a>
Assoc. Prof. Dr. Akın Özdemir	Department of Industrial Engineering, Ondokuz Mayıs University Samsun, Türkiye	<a href="mailto:akin.ozdemir@omu.edu.tr">akin.ozdemir@omu.edu.tr</a>
Assoc. Prof. Dr. Oğuzhan Ahmet Arık	Department of Industrial Engineering, Erciyes University, Kayseri, Türkiye	<a href="mailto:oguzhanahmet@erciyes.edu.tr">oguzhanahmet@erciyes.edu.tr</a>
Assoc. Prof. Dr. Buket Karatop	Department of Industrial Engineering, Istanbul University Cerrahpaşa, İstanbul, Türkiye	<a href="mailto:buket.karatop@iuc.edu.tr">buket.karatop@iuc.edu.tr</a>
Assoc. Prof. Dr. Burcu Yılmaz Kaya	Department of Industrial Engineering, Gazi University, Ankara, Türkiye	<a href="mailto:burcuyilmaz@gazi.edu.tr">burcuyilmaz@gazi.edu.tr</a>
Assoc. Prof. Dr. Hüseyin Yıldırım Dalkılıç	Department of Industrial Engineering, Erzincan Binali Yıldırım University, Erzincan, Türkiye	<a href="mailto:hydalkilic@erzincan.edu.tr">hydalkilic@erzincan.edu.tr</a>
Assoc. Prof. Dr. Emine Elif Nebati	Department of Industrial Engineering, İstanbul Sabahattin Zaim University, İstanbul, Türkiye	<a href="mailto:emine.nebati@izu.edu.tr">emine.nebati@izu.edu.tr</a>
Assoc. Prof. Dr. Ayyüce Aydemir Karadağ	Department of Industrial Engineering, Gazi University, Ankara, Türkiye	<a href="mailto:aykaradag@gazi.edu.tr">aykaradag@gazi.edu.tr</a>
Assoc. Prof. Dr. İbrahim Yılmaz	Department of Industrial Engineering, Ankara Yıldırım Beyazıt University, Ankara, Türkiye	<a href="mailto:i.yilmaz@aybu.edu.tr">i.yilmaz@aybu.edu.tr</a>
Asst. Prof. Dr. Deniz Efendioğlu	Department of Industrial Engineering, Ankara Yıldırım Beyazıt University, Ankara, Türkiye	<a href="mailto:defendioğlu@aybu.edu.tr">defendioğlu@aybu.edu.tr</a>
Asst. Prof. Dr. Nihan Çağlayan	Department of Industrial Engineering, Kırşehir Ahi Evran University, Kırşehir, Türkiye	<a href="mailto:ncaglayan@ahievran.edu.tr">ncaglayan@ahievran.edu.tr</a>
Asst. Prof. Dr. Emre Çalışkan	Department of Industrial Engineering, Gazi University, Ankara, Türkiye	<a href="mailto:ecaliskan@gazi.edu.tr">ecaliskan@gazi.edu.tr</a>
Asst. Prof. Dr. Yeşim Ok	Department of Industrial Engineering, Atatürk University, Erzurum, Türkiye	<a href="mailto:yesim.ok@atauni.edu.tr">yesim.ok@atauni.edu.tr</a>
Asst. Prof. Dr. Orhan Gerdan	Department of Industrial Engineering, Ankara Bilim University, Ankara, Türkiye	<a href="mailto:orhan.gerdan@ankarabilim.edu.tr">orhan.gerdan@ankarabilim.edu.tr</a>
Asst. Prof. Dr. Halil Alper Tayalı	Department of Industrial Engineering, İstanbul University, İstanbul, Türkiye	<a href="mailto:halper.tayali@istanbul.edu.tr">halper.tayali@istanbul.edu.tr</a>
Asst. Prof. Dr. Adem Şehitoğlu	Department of Management, Muş Alparslan University, Muş, Türkiye	<a href="mailto:a.sehitoglu@alparslan.edu.tr">a.sehitoglu@alparslan.edu.tr</a>
Asst. Prof. Dr. Elmas Burcu Mamak İkinci	Department of Statistics, Başkent University, Ankara, Türkiye	<a href="mailto:burcuekinci@baskent.edu.tr">burcuekinci@baskent.edu.tr</a>
Asst. Prof. Dr. Erdal Aydemir	Department of Industrial Engineering, Süleyman Demirel University, Isparta, Türkiye	<a href="mailto:erdalaydemir@sdu.edu.tr">erdalaydemir@sdu.edu.tr</a>
Lecturer Ayşenur Yurtseven	Department of Industrial Engineering, Başkent University, Ankara, Türkiye	<a href="mailto:aysenur@baskent.edu.tr">aysenur@baskent.edu.tr</a>
Asst. Prof. Dr. Oğuz Toragay	Department of Industrial Engineering, The Pennsylvania State University, Pennsylvania, USA	<a href="mailto:ojt5116@psu.edu">ojt5116@psu.edu</a>
Assoc. Prof. Dr. Beata Mrugalska	Faculty of Engineering Management, Poznań University of Technology, Poznań, Poland	<a href="mailto:beata.mrugalska@put.poznan.pl">beata.mrugalska@put.poznan.pl</a>



**ANKARA YILDIRIM BEYAZIT UNIVERSITY**  
**JOURNAL OF TURKISH OPERATIONS MANAGEMENT**

ISSN 2630-6433 e-ISSN 2630-6433

**Advisory Board / Danışma Kurulu**

Prof. Dr. Mete Gündoğan	Department of Industrial Engineering, Ankara Yildirim Beyazıt University, Turkey	<a href="mailto:metegundogan@aybu.edu.tr">metegundogan@aybu.edu.tr</a>
Prof. Dr. Ergün Eraslan	Department of Industrial Engineering, Ankara Yildirim Beyazıt University, Turkey	<a href="mailto:eraslan@aybu.edu.tr">eraslan@aybu.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. Mehmet Kabak	Department of Industrial Engineering, Gazi University, Turkey	<a href="mailto:mkabak@gazi.edu.tr">mkabak@gazi.edu.tr</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.



CONTENTS / İÇİNDEKİLER

**Research Articles / Araştırma Makaleleri**

- The Present and Future Scope of Virtual Reality in the Construction Industry 1-10  
**Aditya SINGH**
- Airline customer satisfaction analysis using machine learning methods 11-23  
**Sonya JAVADI , Amine Hatun ERGIN , Özge YÜKSEL**
- Girişimci desteğinde bağımsız kurul üyesi atanmasının çok kriterli karar verme yöntemleriyle değerlendirilmesi 24-64  
**Yeşim KAYABAŞ ALKAN , Mehmet KABAK**
- Lojistiğin internetleşen hali: Fiziksel internet üzerine kapsamlı bir bibliyometrik değerlendirme 65-85  
**Mustafa Egemen TANER , Ata KAHVECİ**
- A predict-then-optimize job assignment framework for efficient trademark application evaluation 86-101  
**Taghi KHANIYEV, Berfin ÖZDEMİR, Elif Sena IŞIK , Elif Rana YÖNER, Bartu Efe KÖSE**
- Kişisel ve İşyeri Ortamı Solunabilir ve Toplam Toz Maruziyetlerinin Çok Ölçütlü Karar Verme Yaklaşımıyla Değerlendirilmesi 102-118  
**Ayşe ERİM , Ergün ERASLAN**



# Journal of Turkish Operations Management

## The present and future scope of virtual reality in the construction industry

Aditya Singh<sup>1, \*</sup>

<sup>1</sup>Department of Civil Engineering, Amrita Vishwa Vidyapeetham, Coimbatore, Tamil Nadu, India  
aditya777777k@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0001-9347-5627>

\*Corresponding Author

### Article Info

#### Abstract

#### Article History:

Received: 10.12.2023  
Revised: 16.12.2023  
Accepted: 16.11.2025

#### Keywords

Virtual Reality,  
Construction 4.0,  
Quality Control,  
Construction Safety,  
Sustainability

Virtual Reality is developing and spreading all over the world at a rapid rate, its applications are being increasing with time. In the recent years, the presence of virtual reality can be observed in the construction industry as well. With the technological advancements in the recent decades, the traditional way of construction is being transformed slowly and steadily, due to which the construction industry is no longer separate from advanced technologies like virtual reality. In this paper, the focus on virtual reality was given and its significance in the construction sector at present. Further, the potential of virtual reality to change as well as transform the construction industry in the future, is covered in the paper. Some research gaps in the current studies in addition to graphical analysis based on the obtainable data from different sources were performed to support the study.

## 1. Introduction

Virtual Reality in short is often called as VR and it is a simulated three dimensional environ which allows the user to not only reconnoitre but also the ability to intermingle with a given virtual surrounding in a manner which comes closer to reality as how the senses of the user perceived it. With the assistance of a software as well as computer hardware, it is possible to create such a virtual environment, granting that the users are required to wear some devices like goggles or helmets, in order to have the ability to interact with that particular created VR environment. If a user is able to immerse himself or herself too deeply in a virtual reality environment provided that the nearby physical surrounding of that user is blocked out, then that user can hang his or her faith as well as even believe that a bizarre VR environment is a real one. In other words, for a VR user to have an immersive feel of a given virtual world, VR technology provides a simulated experience to that user, which can hire three dimensional near eye displays in addition to pose tracking, to make it work. Mostly, Virtual Reality is applied in the entertainment industry, especially the gaming industry; also in the education sector while training the user in military or medical and healthcare industry, in addition to in businesses as well, where virtual meetings are organized when required. Even particularly designed rooms having a number of large screens can provide the same VR experience which is normally attained with the assistance of Virtual Reality headsets comprising of head mounted display along with small screen to be placed in front of the VR user. Then, with the assistance of haptic technology force feedback as well as additional sensory perception and input might be permitted, apart from the classical inclusion of video as well as auditory feedback in Virtual Reality. On a careful look into a brief history, from the middle of 15<sup>th</sup> century, the term virtual meant something which is being present in essence or has effect, nonetheless not present in reality or factually present, which shows that the concept of Virtual Reality was up to certain extent was already present in the recorded history. From the year 1959 onwards, it was being used in the computer sense, where it meant that the software is helping a non-existent thing in realism to appear. However, it is important to note that Antonin Artaud who was a French avant-grade playwright, in the latter half of the fourth decade of the 20<sup>st</sup> century, labelled the illusory nature of objects as well as characters as “la réalité virtuelle” which means Virtual Reality in the English language, which was used in regards to theatre in his collection of essays, later on translated in English a

year before 1959, which shows the earliest usage of the word Virtual Reality in any published form based on the records. However, it can be found that Myron Krueger created the term Artificial Reality for the same in the 8<sup>th</sup> decade of the 20<sup>th</sup> century; but by the early ninth decade of the 20<sup>th</sup> century, Damien Broderick brought back the term Virtual Reality in the limelight after mentioning in his science fiction novel. Further, the 1<sup>st</sup> business oriented VR hardware was designed by Jaron Lanier and his company selling the products just began the real competition in the business world. By the early last decade of the 20<sup>th</sup> century, Lawnmower Man was the movie which also added the popularity of VR technology among the masses and then the development of VR technology significantly increased later on in the succeeding decades. At present, people generally first think of video games after hearing the word Virtual Reality, and that is because the gaming industry utilised the VR technology very efficiently so far unlike other industries. This led to the success of popular video games like Minecraft VR, Beat Saber, in addition to Skyrim VR. However, it is also important to not forget about other areas where promising growth of Virtual Reality is visible in the recent years, which are following

**Education:** Virtual Reality could give educational institutions novel methods to help not only medical, aerospace engineering and defence students to learn as well as understand in an effective manner various complex things, but also it could help construction management in addition to construction technology engineering students to understand the concepts in a better way. This also increases their involvement and activity level during their lectures. This might help them to understand and realize the terrain of faraway inaccessible places in a way better manner.

**Training:** With Virtual Reality, it is easy to train pilots in commercial planes as well as in fighter planes and helicopter. The same can be done to train doctors, surgeons, police officers, firefighters, and so on. Similarly, labourers, engineers, and project staffs could also be trained in a proper way, which might increase their awareness, alertness, sharpness and insight while working on a real project.

**Retail:** VR technology is useful in making the right decisions while selecting decorative items, clothes, spectacles, and other daily fashion items, which will improve the retail business greatly and reduce the chances of wrong selection considerably in the first time. However, only minor things can be seen for people working in a project, like selecting the right size of safety equipment, work equipment and upto some extent the quantity of materials. Still, this needs further research of how much VR technology can be of a significant use in this case.

**Healthcare:** The medical and healthcare industry is getting some benefits and the quality of medical professionals are expected to improve further. This directly doesn't help in any project but the quality of medical professionals being enhanced also increases the survival as well as recovery of labourers, engineers, and other project staffs who often becomes a victim of mishaps during the course of a project.

**Entertainment:** Mostly Virtual Reality is benefiting the gaming industry but the remaining entertainment industry has also noticeable chance to grow further, which was observed during the pandemic. Just like the above one, it doesn't have any direct effect on any project, but engineers, labourers, and other project staffs who often have to relocate to different places based on the project location easily develop work related stress and that affects their work. So, with a balanced way of some VR entertainment it might reduce their work related stress and make them relax in unfamiliar locations after their work hours, which will make them fresh before their next working schedule.

**Real Estate:** VR technology is expected to improve the real estate and make it more profitable. For instance, touring HVAC systems become easier for building engineers, detailed plan of houses or buildings become easier to understand in three dimensional view which also decreases the chance of faults as well as improving any part if needed, and also observing the remodelling of the houses by owners whenever required at their own comfort.

The industry of Virtual Reality has a long way to go before apprehending its vision of a complete immersive environ which can permit VR users to involve numerous sensations in such a way which approaches almost close enough to the real world. Nevertheless, VR technology has already reached some major milestones, which includes giving genuine sensory engagement as well as demonstrates its potential for a number of businesses in various industries.

### 1.1 What is the need and role of Virtual Reality in the development of the construction industry?

Virtual Reality is an advanced technology and one of the revolutionary technologies in the current century. There is no doubt the gaming industry has been showing significant development with the application of Virtual Reality but overall the entertainment industry has been improved considerably with the appearance of VR. Further, medical and healthcare industry also shows that the Virtual Reality has a good potential in enhancing the industry more in the future. Then, Psychologist also found that Virtual Reality will help in the advancement of the human psychology and in improving mental health. There are other areas also which are showing signs that VR technology might help in their transformation in the future. Now, with the coming of advanced technologies in other industries, it is natural to affect the construction industry slowly and steadily. Plus, advanced technologies like Virtual Reality can help in developing and leading the construction industry towards Construction 4.0. Moreover, Virtual Reality is compatible with other advanced technologies like AI, BIM, Robotics, Automation, and so on, which can further help in the advancement of the construction industry considerably in the future.

## 1.2 Objectives

There are a several objectives of this paper, which are as follows:

- To understand the concept of Virtual Reality in the general sense and the difference between Virtual Reality as well as in Augmented Reality.
- To understand the gaps in the current research in applying Virtual Reality in the construction industry.
- To understand the current as well as future scope of Virtual Reality and how much beneficial it is for the construction industry.

## 2 Motivation

The author performed this study as Virtual Reality technology is growing at an alarming rate over the recent decade and its strong presence can be seen in various industries like entertainment which include advanced games, medical and healthcare industry and so on. The author being a civil engineer felt that it is important to understand how an advanced technology like Virtual Reality can be important and play any major role in the development of the construction industry through this study.

## 3 Literature Review

Bakhoum et al. (2023) studied virtual reality and they worked on examining the impact of executing it in the construction industry in the country Egypt. They developed Oculus Quest 2 as well as Fuzor VDC to elaborate the use of technology, and in their study it also included four dimensional simulation as well as meeting in VR. Further, they performed a survey to get the desired results. Kang et al. (2023) performed a quantitative approach in order to understand the distance estimation's reliability in a given VR space, particularly intended for construction management. da Silva et al. (2022) studied virtual reality and they worked on analysis of robotic construction by creating a simulation with the assistance of it, in order to detect construction problems, forecast cost as well as duration of construction process, through their study. Luo et al. (2023) studied the design of an immersive VR based safety training in the construction sector and they examined the impact of interaction fidelity as well as scenario on such training experiences. Hong et al. (2023) studied virtual reality and they worked on an analysis based on it to perform on the exposure of the construction noise's effects especially on work productivity of masonry. Rokooei et al. (2023) studied VR and they worked on applying it in the safety training in the construction work. Zhang et al. (2023) studied modular construction and they worked on VR improved multirole collaboration particularly in the training of crane lifting intended to aid their studied direction. Bao et al. (2022) studied cross platform VR and they worked using it especially for the safety training in the case of real time construction scenario with the assistance of foundation classes of immersive web as well as industry. Zhang et al. (2022) studied VR technology and they worked on an extended technology acceptance model using it to support the construction safety training through their study. Han et al. (2022) performed an assessment on the basis of process as well as outcome to differentiate VR driven construction safety training and conventional one. Han et al. (2021) worked in the direction of a complete construction design review with the support of VR technology and they made a framework which was intended for semiautomatic one to detect completely the obstructed objects in three dimensional models. Dallasega et al. (2020) worked on Lean Construction Management and they empower it using AR, BIM as well as VR, in order to make project simulated game, to obtain desired study outcomes. Kim et al. (2021) performed a VR experiment in order to forecast the carelessness of workers to be struck by dangers through the observation of bio signals while performing a given construction task. Zhang and Pan (2021) studied VR technology and they worked on using it to aid in the layout planning of an interactive tower crane, which was specifically intended for high rise modular integrated construction through their study. Delgado et al. (2020) studied VR as well as AR technologies and they worked on a research programme which was intended for such technologies to be used in engineering, architecture in addition to construction, to obtain the desired study results. Jeon and Cai (2021) studied VR as well as wearable electroencephalogram, and they worked on categorizing hazards associated to perceptions in the construction projects with their assistance. Getuli et al. (2020) studied BIM and they worked on immersive VR on its basis, which was intended for the planning of construction workspace. Dinis et al. (2020) worked on linking laser scanning as well as VR, in order to enhance project communication in the construction, engineering in addition to architecture industries. Shi et al. (2020) performed an experiment which was a pipe maintenance one using VR, and they further worked on finding out the impact of engineering information formats on implementation in addition to learning of a given construction operation through their study. Li et al. (2023) worked on enhancing bridge teaching communication by using immersive VR as a tool to perform their study.

## 4 Research Gaps

After going through around 60 published papers, only the ones which were published in the recent years were further considered. Based on the recent scientific and research papers or review papers, it was found that most of the research on use of virtual reality in the construction industry in the recent years was particularly performed in China and also from developed countries. There was lack of sufficient research done in the recent years in regards to the use of virtual reality in the construction industry in India. More research on the use virtual reality in other

areas like medical and health care, entertainment, human psychology as well as mental health and so on, in comparison to the construction industry.

### **5 Main Focus of the Paper Along with Issues and Problems**

The paper focussed on explaining the concept of Virtual Reality and how it could benefit the construction industry, in some detail. This paper also talked about the differences between Augmented Reality and Virtual Reality, as well as how Virtual Reality is compatible with other advanced technologies, which together can improve the construction industry considerably. However, there are a number of problems and issues with Virtual Reality while using the technology in the construction industry, which can't be ignored. There is a significant difference between the real scenario in any construction project and what could be observed through Virtual Reality. At times, the difference between the two is high enough which might confuse the civil engineers or make their training through Virtual Reality of not much use. Then, cost for the setup of Virtual Reality on a large scale is high enough to make them expensive, which might make the contractor hesitate to use it. Many civil engineers who are used to the traditional ways of construction practices, won't be able to get used to Virtual Reality, as they lack any prior knowledge about VR technology and it might be difficult for them to use sophisticated VR technology suddenly.

### **6 Main Types of Virtual Reality**

The Virtual Reality systems differ considerably from one system to the other, based on the type of technology utilized and their purpose, though they normally can be part of three main types, which are as follows:

- Non Immersive
- Semi Immersive
- Fully Immersive

#### **Non Immersive**

Non Immersive is a type of Virtual Reality, which denotes a three dimensional simulated environment which can be accessed with the assistance of a computer screen. Based on the type of program used, this type of virtual environment can also produce sound. In this case, the user has fractional control over this type of virtual environment with the aid of a mouse, keyboard or other devices. Nonetheless this type of virtual environment can only interact with the user indirectly. For understanding purpose, a video game where a website can allow a user to help in designing the décor of a room, can serve as a good instance of a Non Immersive Virtual Reality system.

#### **Semi Immersive**

Semi Immersive is another type of Virtual Reality, but compared to the earlier one, it offers an experience which is partially virtual in nature, which can also be accessed with the assistance of a headset or some specific type of glasses or computer screen. Main aim of this type of VR system is on the visual three dimensional aspect of virtual reality, so it doesn't execute any physical movement like the Fully Immersive VR system does. A flight simulator which is used to train pilots in the military as well as in the airlines, is a good instance of this type of VR system.

#### **Fully Immersive**

Fully Immersive is another major type of Virtual Reality, but in comparison to the other VR types, it gives the highest level of Virtual Reality experience, where the user is entirely immersed in a given simulated three dimensional world. It executes not only sound and sight, but also touch in some cases. Some experiments had been even performed where smell was also added. To completely interact with the virtual world, the users are require to wear special equipment like gloves, goggles, and helmets. Equipment like stationary bicycles or treadmills can also be incorporated in the virtual environment, to give the user an experience where the user is moving through the three dimensional space. This type of Virtual Reality technology is still in the early or initial stage, nevertheless it had made inroads up to some extent in the healthcare industry, but significant contribution in the gaming industry specifically. Also, it is attracting other industries towards itself slowly and steadily.

### **7 Difference between Augmented Reality and Virtual Reality**

AR and VR are many times used together and noncore people might not be able to differentiate both of them. However, there is a major difference between them which are as follows:

- In the case of Augmented Reality, a real world setting is used. On the other hand Virtual Reality is entirely virtual.
- Smartphone can be used to access Augmented Reality environment, while device like a headset is required in the case of Virtual Reality.
- Users in Augmented Reality has the ability to control their respective presence in the real world, but in the case of Virtual Reality, the system control the users.
- Augmented Reality has the ability to improve both the real world as well as the virtual world. However, a fictional reality can only be improved in the case of a Virtual Reality.

### **8 Methodology**

In this section, application of Virtual Reality is shown in the construction industry, where numerous benefits of Virtual Reality can be observed during the course of a construction project.

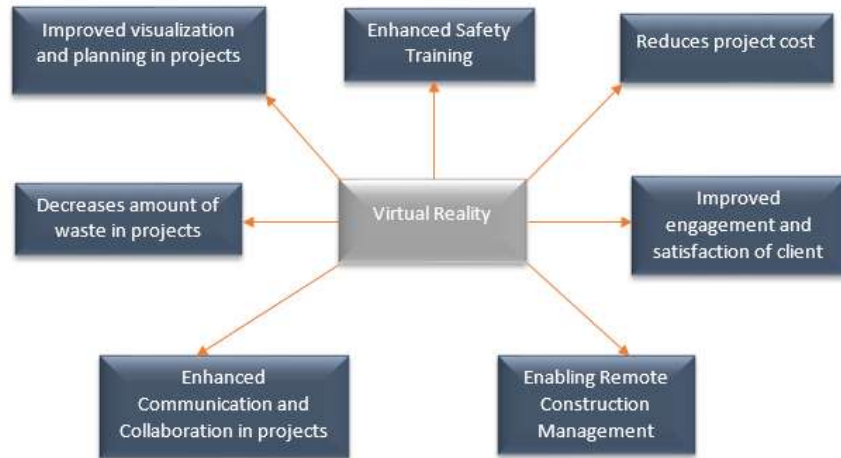


Figure 1: Flowchart showing application of VR technology in construction projects

## 9 Result and Discussion

In this section, data from different sources were collected to perform graphical analysis.

Table 1: AR and VR Market Revenue of Top Countries

AR & VR Market Revenue of Major Countries in 2023	In USD
China	6,606,000,000
Japan	1,880,000,000
USA	8,568,000,000

Table 2: Market Growth of VR in India

Market Revenue in India	In USD
VR Hardware in 2017	19,150,000
VR Software in 2017	6,490,000
VR Hardware in 2027	273,000,000
VR Software in 2027	121,400,000

Table 3: VR Market Dominance of USA in the World

VR Users Comparison	Total VR Users
USA	65,900,000
World	171,000,000

Table 4: Worldwide Market Growth of VR

Global VR Market Growth	In USD
Global Value of VR Market in 2016	2,020,000,000
Global Value of VR Market in 2027	26,900,000,000

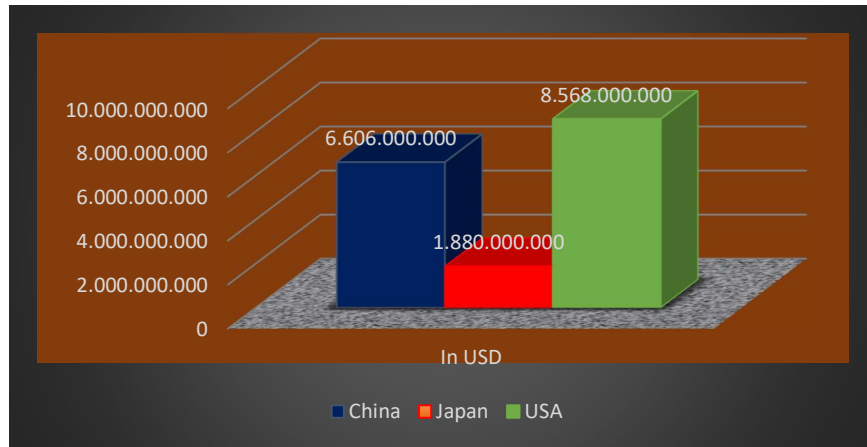


Figure 2: AR and VR Market Revenue of Top Countries

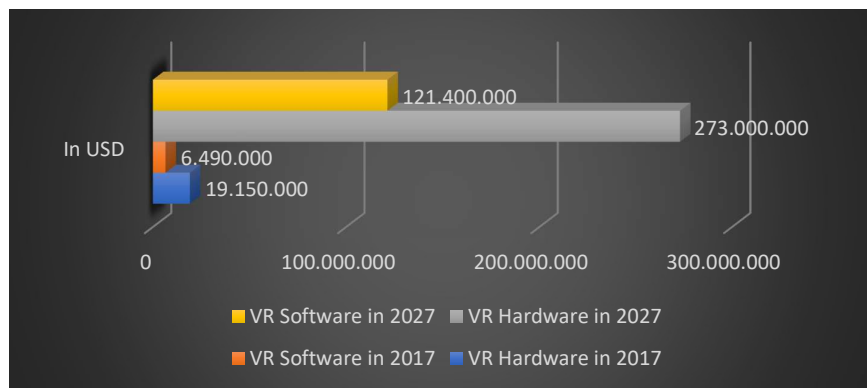


Figure 3: Market Growth of VR in India

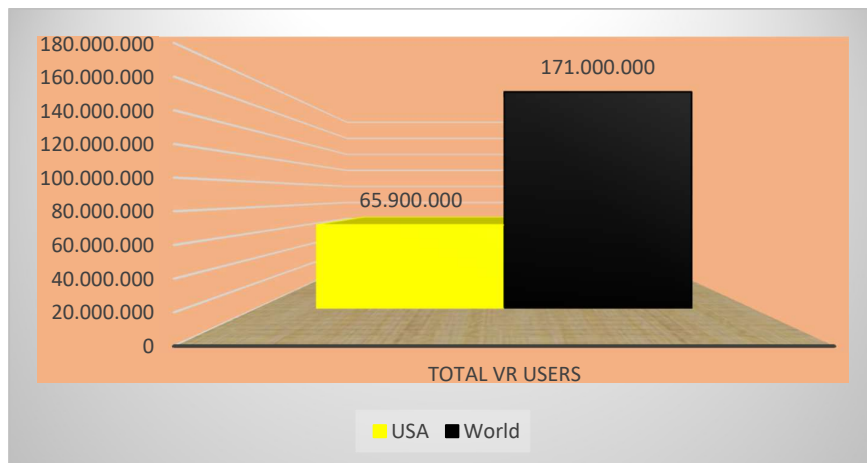


Figure 4: VR Market Dominance of USA in the World

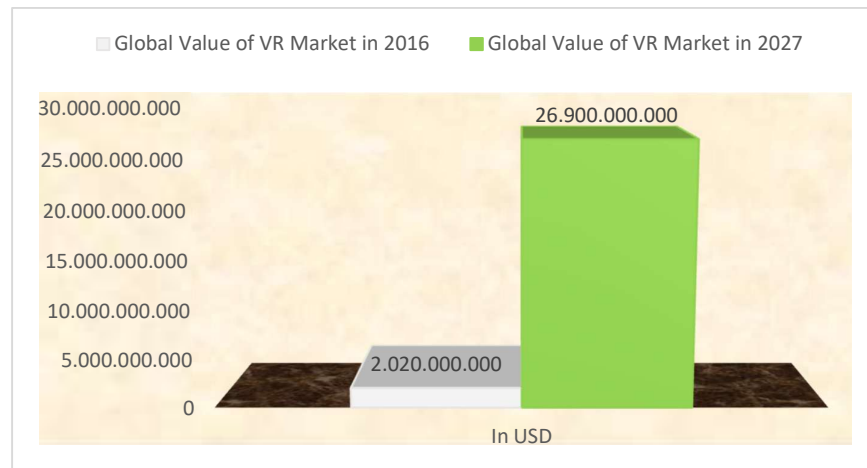


Figure 5: Worldwide Market Growth of VR

### 9.1 Advantages of Virtual Reality

In this subsection, the various advantages of Virtual Reality and how it could make a positive impact in the construction industry would be discussed, based on the analyses of the above graphs:

- According to Fig. 2, USA is having AR and VR market revenue of over \$8.56 Billion USD, whereas Japan has over \$1.8 Billion USD in the year 2023. This also means that advanced countries are using technologies like Virtual Reality on a large scale. Then, China which is a major developing country also has a strong AR and VR market revenue of over \$6.6 Billion USD in the same year, second only to USA. There is no doubt that China over the decades developed at an astonishing rate and use of advanced technologies might have played a major role in its development. It is safe to say that the developing countries like India and so on in the future could invest more in advanced technologies like VR to increase their rate of development.
- According to Fig. 3, the Virtual Reality Hardware had a market revenue over \$19 Million USD in the year 2017 in India, but it is expected that its market revenue will reach \$273 Million USD, which means that around 14.26 times the market revenue is expected to increase in the span of 10 years only. Similarly, the market revenue of Virtual Reality Software in the year 2017 in India was over \$6.4 Million USD, but by the year 2027, it is expected to reach over \$121 Million USD, which means that its market revenue in the country might increase by 18.71 times in the span of 10 years. It is safe to say that with time, Virtual Reality Software and Hardware will have more demand in the future. Since, both Virtual Reality Software and Hardware will be highly profitable in India in the coming future, so it will be a smart move to invest more in Virtual Reality Software and Hardware, in addition to it will be good to apply Virtual Reality technology in the construction sector as well.
- Based on Fig. 4, there are one hundred seventy one Million Virtual Reality users in the world, on the other hand close to sixty six Million users of Virtual Reality from USA. This means that over 38.5% users of Virtual Reality in the world are alone from America, which also shows the dominance of America in the world of Virtual Reality. USA being an advanced and developed country is using advanced technologies like Virtual Reality way more than other countries, also shows how Virtual Reality which is an advanced technology is helping in the further development of USA. It is safe to say, that the developing and underdeveloped countries also need to use advanced technologies like Virtual Reality more in the future in order to reach the current point of development of advanced and developed countries.
- Based on Fig. 5, the worldwide market value of Virtual Reality was over \$2 Billion USD in the year 2016, but by the year 2027, it is expected that its worldwide market value will reach close to \$27 Billion USD. This means that the market value of Virtual Reality on a global level, is expected to increase by 13.32 times in the span of 11 years, which shows a significant positive increase in its market value. So, it is safe to say that more investment can be done on Virtual Reality on an international level, as the global demand of Virtual Reality is increasing at a tremendous rate. Also, it will be a wise option to expand the application of Virtual Reality to other areas also like construction industry, apart from the main ones.

## 10 Conclusion

The paper explained the concept of Virtual Reality in the general sense and a brief history of VR technology. It also discussed the way Virtual Reality is having the potential to affect other areas and how projects are also affected through them. Then, this paper talked about the way VR technology can help in the development of the construction industry and some gaps in the current research. Some problems and issues were also discussed in the paper in regards to the application of Virtual Reality in the construction industry and how it could be applied in a construction project to improve it in some aspects. Further, some graphical analyses were performed on data available from different sources, to support the study. Since, both Virtual Reality Software and Hardware will be highly profitable in India in the coming future, so it will be a smart move to invest more in Virtual Reality Software and Hardware, in addition to it will be good to apply Virtual Reality technology in the construction sector as well. Also, the developing and underdeveloped countries also need to use advanced technologies like Virtual Reality more in the future in order to reach the current point of development of advanced and developed countries. Some more research in the future is required to be done to reduce the current limitations of Virtual Reality while applying in the construction industry.

## Acknowledgement

This research received no specific grant from any funding agency in the commercial, public, or not for profit sectors.

## References

- Bakhoun, E.S., Younis, A.A., Aboulata, H.K., and Bekhit, A.R.: Impact assessment of implementing virtual reality in the Egyptian construction industry. *Ain Shams Engineering Journal*, Volume 14, Issue 6, June 2023, 102184.
- Kang, J.H., Yadav, N., Ramadoss, S., and Yeon, J.: Reliability of distance estimation in virtual reality space: A quantitative approach for construction management. *Computers in Human Behavior*, Volume 145, August 2023, 107773.
- da Silva, N.P., Eloy, S., and Resende, R.: Robotic construction analysis: simulation with virtual reality. *Cell Press*, Volume 8, Issue 10, October 2022, e11039.
- Luo, Y., Ahn, S., Abbas, A., Seo, J.O., Cha, S.H., and Kim, J.I.: Investigating the impact of scenario and interaction fidelity on training experience when designing immersive virtual reality-based construction safety training. *Developments in the Built Environment*, Volume 16, December 2023, 100223.
- Hong, J., Choi, J., Lee, J.H., Cho, S.H., Hong, T., Han, S.U., Park, H.S., and Lee, D-E.: Virtual reality-based analysis of the effect of construction noise exposure on masonry work productivity. *Automation in Construction*, Volume 150, June 2023, 104844.
- Rokoei, S., Shojaei, A., Alvanchi, A., Azad, R., and Didehvar, N.: Virtual reality application for construction safety training. *Safety Science*, Volume 157, January 2023, 105925.
- Zhang, Z., Wong, M.O., and Pan, W.: Virtual reality enhanced multi-role collaboration in crane-lift training for modular construction. *Automation in Construction*, Volume 150, June 2023, 104848.
- Bao, L., Tran, S.V-T., Nguyen, T.L., Pham, H.C., Lee, D., and Park, C.: Cross-platform virtual reality for real-time construction safety training using immersive web and industry foundation classes. *Automation in Construction*, Volume 143, November 2022, 104565.
- Zhang, M., Shu, L., Luo, X., Yuan, M., and Zheng, X.: Virtual reality technology in construction safety training: Extended technology acceptance model. *Automation in Construction*, Volume 135, March 2022, 104113.
- Han, Y., Yang, J., Diao, Y., Jin, R., Guo, B., and Adamu, Z.: Process and Outcome-based Evaluation between Virtual Reality-driven and Traditional Construction Safety Training. *Advanced Engineering Informatics*, Volume 52, April 2022, 101634.
- Han, B., Ma, J.W., and Leite, F.: A framework for semi-automatically identifying fully occluded objects in 3D models: Towards comprehensive construction design review in virtual reality. *Advanced Engineering Informatics*, Volume 50, October 2021, 101398.

Dallasega, P., Revolti, A., Sauer, P.C., Schulze, F., Rauch, E.: BIM, Augmented and Virtual Reality empowering Lean Construction Management: a project simulation game. *Procedia Manufacturing*, Volume 45, 2020, Pages 49-54.

Kim, N., Kim, J., and Ahn, C.R.: Predicting workers' inattentiveness to struck-by hazards by monitoring biosignals during a construction task: A virtual reality experiment. *Advanced Engineering Informatics*, Volume 49, August 2021, 101359.

Zhang, Z., and Pan, W.: Virtual reality supported interactive tower crane layout planning for high-rise modular integrated construction. *Automation in Construction*, Volume 130, October 2021, 103854.

Delgado, M.D., Oyedele, L., Dermian, P., and Beach, T.: A research agenda for augmented and virtual reality in architecture, engineering and construction. *Advanced Engineering Informatics*, Volume 45, August 2020, 101122.

Jeon, J.H., and Cai, H.: Classification of construction hazard-related perceptions using: Wearable electroencephalogram and virtual reality. *Automation in Construction*, Volume 132, December 2021, 103975.

Getuli, V., Capone, P., Bruttini, A., and Isaac, S.: BIM-based immersive Virtual Reality for construction workspace planning: A safety-oriented approach. *Automation in Construction*, Volume 114, June 2020, 103160.

Dinis, F.M., Sanhudo, L., Martins, J.P., and Ramos, N.M.M.: Improving project communication in the architecture, engineering and construction industry: Coupling virtual reality and laser scanning. *Journal of Building Engineering*, Volume 30, July 2020, 101287.

Shi, Y., Du, J., and Worthy, D.A.: The impact of engineering information formats on learning and execution of construction operations: A virtual reality pipe maintenance experiment. *Automation in Construction*, Volume 119, November 2020, 103367.

Li, W., Zhu, J., Dang, P., Wu, J., Zhang, J., Fu, L., Zhu, Q.: Immersive virtual reality as a tool to improve bridge teaching communication. *Expert Systems with Applications*, Volume 217, 1 May 2023, 119502.

Singh, Aditya. "8 Augmented Reality and its use in the field of civil engineering". *Handbook of Augmented and Virtual Reality*, edited by Sumit Badotra, Sarvesh Tanwar, Ajay Rana, Nidhi Sindhwani and Ramani Kannan, Berlin, Boston: De Gruyter, 2023, pp. 117-136. <https://doi.org/10.1515/9783110785234-008>.

Tech Target, <https://www.techtarget.com/whatis/definition/virtual-reality>, last accessed on 12/09/2023.

Wikipedia, [https://en.wikipedia.org/wiki/Virtual\\_reality](https://en.wikipedia.org/wiki/Virtual_reality), last accessed on 12/09/2023.

Tulane University School of Professional Advancement, <https://sopa.tulane.edu/blog/whats-difference-between-ar-and-vr#:~:text=AR%20uses%20a%20real%2Dworld,only%20enhances%20a%20fictional%20reality>, last accessed on 12/09/2023.

Neuroject, <https://neuroject.com/virtual-reality-in-construction/#:~:text=By%20leveraging%20VR%2C%20architects%20and, costly%20errors%20prior%20to%20construction>, last accessed on 12/09/2023.

Program-Ace, <https://program-ace.com/blog/vr-in-engineering/#:~:text=Virtual%20reality%20in%20civil%20and%20structural%20engineering,-Civil%20Engineering%20is&text=In%20a%20similar%20vein%2C%20structural,objects%20in%20a%20virtual%20environment>, last accessed on 12/09/2023.

Statista, <https://www.statista.com/outlook/amo/ar-vr/india#:~:text=Revenue%20in%20the%20AR%20%26%20VR,US%24211.30m%20in%202023>, last accessed on 12/09/2023.

Zippia, <https://www.zippia.com/advice/virtual-reality-statistics/#:~:text=Virtual%20Reality%20Statistics%20by%20Users,of%20VR%2FAR%20device%20users>, last accessed on 12/09/2023.

Singh, A. (2023). Mechatronics Engineering in the Modern World and Its Use in the Construction Industry. In M. Mellal (Ed.), Trends, Paradigms, and Advances in Mechatronics Engineering (pp. 64-92). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-6684-5887-7.ch004>.

Singh, A. (2023). The Present and Future Role of Artificial Intelligence in the Promotion of Sustainable Practices in the Construction Sector. In: Kahraman, C., Sari, I.U., Oztaysi, B., Cebi, S., Cevik Onar, S., Tolga, A.Ç. (eds) Intelligent and Fuzzy Systems. INFUS 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 759. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-39777-6\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-031-39777-6_2).



# Journal of Turkish Operations Management

## Airline customer satisfaction analysis using machine learning methods

Sonya Javadi<sup>1\*</sup>, Amine Hatun Ergin<sup>2\*</sup>, Özge Yüksel<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Industrial Engineering, Işık University, Istanbul, Turkey

sonya.javadi@isikun.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-3726-6799>

<sup>2</sup>Department of Management Information Systems, Işık University, Istanbul, Turkey

23itec5004@isik.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0009-0002-4409-6369>

<sup>3</sup>Department of Management Information Systems, Işık University, Istanbul, Turkey

23itec5003@isik.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0009-0003-5801-0164>

\*Corresponding Author: Sonya Javadi

### Article Info

#### Article History:

Received: 16.02.2025

Revised: 02.04.2026

Accepted: 21.04.2026

#### Keywords

Airline industries,  
Customer satisfaction,  
Machine learning,  
Deep learning techniques

### Abstract

The airline industry, a major component of global transportation, operates in a highly competitive environment where maintaining customer satisfaction is of critical importance. This study analyzes airline customer satisfaction using machine learning techniques in order to identify the key factors influencing passenger satisfaction and provide insights for service improvement. The dataset used in this study was obtained from a publicly available Kaggle dataset and contains 129,880 passenger records and multiple service-related features. Several machine learning algorithms, including Logistic Regression, Decision Tree, Random Forest, Support Vector Machine (SVM), and k-Nearest Neighbor (k-NN), were applied to analyze the dataset and predict customer satisfaction. The experimental results show that the Random Forest classifier achieved the highest prediction accuracy of 94.6%, outperforming the other models. The analysis further reveals that inflight entertainment has the strongest relationship with customer satisfaction, with a correlation value of approximately 0.52. In addition, the results indicate that customers who give high ratings to inflight entertainment are typically between the ages of 35 and 55, tend to travel in business class, and exhibit higher levels of customer loyalty. These findings provide valuable insights for airline companies seeking to improve service quality and enhance customer satisfaction. In particular, the results suggest that improving inflight entertainment services for loyal business-class passengers may significantly increase overall customer satisfaction. Therefore, airlines can use these insights to develop targeted service strategies and strengthen their competitive position in the airline industry.

## 1. Introduction

Customer satisfaction is crucial for the success of any business, and this holds true for the airline industry as well. The understanding and analysis of customer satisfaction play significant roles in enabling airlines to enhance their services, retain customers, and attain a competitive advantage. In recent years, significant progress has been made in utilizing machine learning techniques for the analysis and prediction of customer satisfaction. In the service-oriented airline industry, customer satisfaction stands out as a widely acknowledged key performance indicator. The satisfaction levels derived from passengers' travel experiences serve as direct reflections of the quality standards, service delivery, and customer-centric approaches employed by airline companies. For example, according to Hwang, Kim, Park, and Kwon (2020), the probability of customers' return visits to airline services can be predicted based on feedback comments and satisfaction ratings, achieving an accuracy of 83.42%. Their study also found that longer feedback comments improve prediction accuracy, although certain implications and

limitations remain in understanding customer preferences. Moreover, new machine learning models and deep learning methods have been applied in the literature to analyze customer satisfaction not only in the airline industry but also in other service sectors. For instance, a study by Garcia et al. (2019) evaluates the effectiveness of ensemble models for predicting customer satisfaction using a real database consisting of 129,890 airline samples. Specifically, the study assesses the performance of the Bagging ensemble model with the k-nearest neighbor (k-NN) algorithm as the base learner. The results indicate that the Bagging ensemble model outperforms the single classifier in terms of RMSE and MAE, demonstrating its superior predictive accuracy.

This study examines the application of machine learning techniques for analyzing customer satisfaction in the airline industry through a case study of Turkish Airlines. The main objectives are to identify the key factors influencing customer satisfaction and to assess the effectiveness of machine learning methods in predicting and analyzing customer satisfaction using historical data. To achieve this objective, a comprehensive methodology was designed to analyze the satisfaction levels of customers who choose Turkish Airlines for their flights. This section includes several key steps, such as data collection from Kaggle, an open-source data platform, data preprocessing, the development of machine learning models, and a comparative analysis of different analytical methods. Finally, the study evaluates the predictive performance of the models using evaluation metrics such as accuracy, precision, and recall in forecasting customer satisfaction. The findings aim to contribute to both academic and managerial understanding of customer satisfaction analysis and demonstrate the potential of machine learning techniques to support strategic decision-making in the airline industry, particularly for Turkish Airlines. The structure of the paper is organized as follows: Section 2 provides a comprehensive literature review on customer satisfaction analysis using machine learning techniques and different machine learning methods. Section 3 presents a brief introduction to the problem. Section 4 discusses the methodology and data preparation procedures used to analyze the problem. Section 5 presents the results of the different machine learning methods and discusses their findings. Section 6 introduces the prediction approach for future analysis of customer satisfaction in the airline industry. Finally, Section 7 concludes the paper and provides recommendations for future research in this field.

## 2. Literature Review

The existing research on customer satisfaction in the airline industry has primarily concentrated on traditional survey-based methods and statistical analysis. For example, Gures, Arslan, and Tun (2014), using a 5-point Likert questionnaire administered to 821 passengers in Turkish airports, found that reliability and facilities significantly enhance customer satisfaction, which in turn drives customer loyalty in the Turkish airline industry. While these approaches have yielded valuable insights, they often encounter challenges in capturing intricate patterns and trends in customer satisfaction, especially with the advent of social media platforms where customers can provide feedback. However, there exists a gap in the literature concerning the specific application of machine learning to analyze customer satisfaction within the airline industry.

For instance, Xu, Zhu, Metawa, and Zhou (2022) examine factors influencing brand equity from financial and customer perspectives, emphasizing the impact of ethical marketing on satisfaction and perception, and offering strategies to enhance customer satisfaction. Meanwhile, another study by Al-Mashraie, Chung, and Jeon (2020) analyzes customer churn in the telecommunications industry by comparing various prediction models, including logistic regression, support vector machines, random forests, and decision trees. Using the push-pull-mooring framework and partial least squares regression, the study identifies influential factors and finds that logistic regression has the highest prediction accuracy, while service quality emerges as a key factor in customer churn.

In contrast, machine learning techniques have the potential to analyze extensive volumes of customer data, reveal hidden patterns, and predict customer satisfaction with high accuracy. For instance, Hong, Khaw, Chew, and Yeong (2023) applied machine learning models to predict airline customer satisfaction, identifying key features such as online boarding, inflight entertainment, and seat comfort as highly correlated with satisfaction. Their model achieved 89.20% accuracy, 93.04% precision, and an 88.80% F1-score, providing valuable insights for improving airline service quality. Another study by Tayaba et al. (2023) uses machine learning to analyze tweets in order to improve customer experience in the airline industry. The findings show that a CNN model outperforms SVM and ANN models in sentiment classification, while association rule mining reveals connections between tweet categories and sentiments.

Similarly, Aktepe, Ersöz, and Toklu (2014) investigate customer satisfaction and loyalty in the white goods industry by categorizing customers into four groups based on 15 criteria. Using WEKA classification algorithms and structural equation modeling (SEM) with LISREL, the study analyzes the effects of satisfaction and loyalty. A survey of 200 customers supports the development of a method for identifying high-performance customer groups and relevant criteria. The findings are used to develop a tool for improving customer strategies and enhancing customer relationship management. Some studies focus more specifically on improving machine

learning techniques themselves. For example, Gou et al. (2019) propose two improved k-nearest neighbor (KNN) methods, namely the weighted representation-based KNN (WRKNN) and the weighted local mean representation-based KNN (WLMRKNN), to address the sensitivity of traditional KNN to neighborhood size and outliers. WRKNN uses the representation coefficients of k-nearest neighbors to calculate class-specific distances, while WLMRKNN uses k-local mean vectors. Extensive experiments on multiple datasets demonstrate that these methods outperform traditional KNN and are less sensitive to neighborhood size, particularly with small sample sizes.

In addition to considering product and service characteristics, customers also evaluate the attributes of firms when making their choices. Challenges have emerged not only due to the high level of competition but also because of increasing consumer expectations for better service. A study conducted in the United States found that consumers are increasingly seeking products produced according to ethical standards (Bockhorst, Yu, Polania, & Fung, 2017). This study describes a system implemented at a large U.S. insurance company that predicts customer satisfaction after call center interactions using data derived from speech-to-text systems, call metadata, customer profiles, and insurance policy information. The proposed workflow involves training a ranking model on call data and applying a convolutional fitting function to map rankings to survey scores, producing more accurate predictions than standard methods. This approach can be generalized to other customer satisfaction prediction problems.

The study by Ouf (2023) addresses passenger satisfaction in the highly competitive aviation industry by applying deep neural networks with the Adam optimization algorithm to improve classification performance. Unlike previous research that overlooked dataset quality, this approach was validated using the airline passenger satisfaction dataset from Kaggle and compared with artificial neural networks (ANNs), random forests, and support vector machines. The proposed method achieved an accuracy of 99.3%, outperforming previous studies. Similarly, Park, Kim, Kim, and Park (2022) apply deep learning techniques to analyze survey data from Korean airline customers in order to identify factors influencing customer churn risk and satisfaction. Their study uniquely focuses on the social servicescape, including interactions between cabin crew and passengers. The results show that incorporating human service factors into predictive models improves accuracy by up to 10% for customer churn risk and 9% for satisfaction prediction.

For example, Krishnan, Robinson, and Chilamkurti (2020) provide an overview of technological advancements in speech recognition using supervised learning, focusing on how deep neural networks can recognize speech from large datasets. The study highlights the importance of supervised learning in inferring functions from labeled data for speech recognition, a trend that has become prominent in automation technologies over the decades. A more general study by Thakur and Han (2021) contributes to fall detection for elderly individuals in IoT-based environments such as smart homes. The study compares 19 machine learning methods and finds that the k-NN classifier provides the highest accuracy for fall detection. It also introduces a framework capable of detecting both falls and fall-like motions, overcoming the limitations of binary classifiers. Furthermore, the study enhances the k-NN classifier's accuracy using k-fold cross-validation and the AdaBoost algorithm, achieving accuracies of 99.87% and 99.66% on two datasets.

Several studies specifically investigate customer satisfaction in the airline industry. For example, Chow (2014) analyzes the relationship between customer satisfaction and service quality among twelve Chinese carriers using quarterly panel data. Fixed-effect Tobit analysis reveals that customer complaints increase with damaged baggage but decrease at a diminishing rate, while on-time performance has no significant effect. Non-state carriers receive more complaints than state-owned ones, with the highest complaint levels occurring in the third quarter during summer holidays. Similarly, Hussain (2016) examines how customer satisfaction mediates the effects of service quality, corporate image, and perceived value on brand loyalty in the UAE airline industry. Based on 253 questionnaires, the results confirm that customer satisfaction plays a crucial role in converting passengers into loyal customers. This research represents one of the first attempts to examine these relationships in the UAE airline context.

Another study by Park et al. (2019) investigates the determinants of customer satisfaction in the airline industry by analyzing feedback from more than 133,000 customers using sentiment analysis and structural equation modeling. The findings show that customers' affective values significantly influence satisfaction and highlight important differences between low-cost and full-service carriers. Similarly, Leong, Hew, Lee, and Ooi (2015) examine the impact of SERVPERF on customer satisfaction and loyalty in both low-cost and full-service airlines using a combined SEM-artificial neural network approach. Unlike previous studies that relied on the GAP-5 SERVQUAL model, this research demonstrates that SERVPERF dimensions significantly influence satisfaction and loyalty, explaining 63.1% and 55.6% of the variance, respectively. The findings provide valuable insights for airline managers seeking to improve customer satisfaction and loyalty.

Customer satisfaction analysis using social media data has become an important research area in recent literature. Social media platforms provide vast amounts of real-time feedback and opinions from customers, enabling researchers to analyze sentiment, trends, and preferences at scale. For example, Hwang, Kim, Park, and Kwon

(2020) estimate the probability of customers' return visits to airline services using machine learning applied to feedback comments and satisfaction ratings. By analyzing sentiment features with seven classifiers, the model achieves an accuracy of 83.42%, and longer feedback comments improve prediction accuracy. Similarly, Kumar and Zymbler (2019) analyze airline customer feedback from Twitter using machine learning techniques such as word embedding and n-gram models. Their results show that CNN models outperform SVM and ANN models in classifying tweets as positive or negative, while association rule mining reveals useful insights for improving customer experience.

Nourbakhsh and Chelkasari (2023) also use machine learning techniques to analyze tweets and improve aviation customer experience. Their approach employs deep learning to classify tweets by sentiment, achieving an accuracy of 99.97% in two-class analysis and 88.83% in three-class analysis. The method extracts word vectors and constructs polarity features using the WordNet dictionary, enabling effective identification of passenger sentiments. Similarly, Nurdina and Puspita (2023) compare the effectiveness of Naïve Bayes and k-Nearest Neighbor (k-NN) algorithms for classifying airline passenger satisfaction. Their results show that Naïve Bayes outperforms k-NN, achieving an accuracy of 84.48% compared to 65.38% for k-NN. Additionally, Naïve Bayes achieved a precision of 82.25% and a recall of 82.43%, while k-NN obtained a precision of 67.35% and a recall of 74.33%.

Some studies have also applied alternative analytical techniques to analyze customer satisfaction. For example, Surpato and Oetama (2023) analyze key factors influencing airline customer satisfaction using decision tree algorithms, identifying important variables such as online boarding, inflight entertainment, Wi-Fi services, class, and travel type. The Naïve Bayes algorithm, with an accuracy of 87%, effectively predicts passenger satisfaction. Similarly, Taliah and Zervopoulos (2023) analyze 83 airlines between 2011 and 2019 using a Bayesian meta-frontier framework. Their findings indicate that there is no trade-off between customer satisfaction and airline efficiency, and that larger airlines are more likely to achieve both simultaneously. The study also shows that airlines offering premium services such as premium economy cabins and inflight amenities at reasonable prices can enhance customer satisfaction regardless of external shocks.

### 3. Problem Statement

Turkish Airlines is recognized as one of the leading and most prestigious airlines globally, serving millions of passengers from diverse nationalities each year. Therefore, understanding customer satisfaction and how passengers evaluate the airline's services is of critical importance for managers and strategic decision-makers within the company. This study focuses on analyzing customer satisfaction for Turkish Airlines. Unlike traditional approaches to evaluating customer satisfaction, this research employs machine learning techniques to analyze airline passenger satisfaction data obtained from a publicly available dataset. By leveraging these modern analytical methods, the study aims to gain deeper insights into customer sentiments and perceptions of Turkish Airlines.

Recent advances in machine learning and deep learning have significantly improved the ability of airline companies to analyze passenger behavior and satisfaction. Real-time data collected from various digital platforms allows airlines to better understand customer expectations and improve service quality (Ouf, 2023). Traditional approaches to customer satisfaction analysis often rely on structured surveys, which require substantial time and financial resources to conduct (Magsi et al., 2021).

In recent years, machine learning and data mining techniques have been increasingly applied to analyze large volumes of customer feedback and identify patterns in passenger behavior. These techniques allow researchers to extract meaningful insights from large datasets and improve prediction accuracy in customer satisfaction analysis. Among these approaches, supervised learning methods such as Support Vector Machines (SVM), Decision Trees, Random Forest, and k-Nearest Neighbor (k-NN) are commonly used for classification tasks. Motivated by these developments, this study investigates the application of machine learning techniques to analyze airline customer satisfaction using a publicly available airline passenger satisfaction dataset. The objective of this study is to identify the key factors that influence passenger satisfaction and evaluate the performance of different machine learning algorithms in predicting customer satisfaction.

### 4. Materials and Methods

This section presents the dataset used in the study, the preprocessing procedures applied to the data, and the machine learning models used to predict customer satisfaction.

## 4.1. Dataset Description

The dataset used in this study was obtained from the publicly available Airline Passenger Satisfaction dataset on Kaggle (Kaggle, 2020), which provides precompiled datasets for machine learning research. This particular dataset consists of customer ratings of airport services on a scale ranging from 1 to 5, along with additional information such as customers' gender, age, flight distance, and flight delay time. For this study, data from 129,880 customers were analyzed. The dataset includes the information presented in Table 1, which represents the 18 selected features used in this study.

**Table 1.** The structure of the dataset

Variable	Explanation	Data Type
<b>Satisfaction</b>	Satisfaction of customers	Object
<b>Gender</b>	Male or female	Object
<b>Customer Type</b>	Regular or non-regular airline customer	Object
<b>Age</b>	The actual age of the passenger	Int64
<b>Type of Travel</b>	The purpose of the passenger's flight (personal or business)	Object
<b>Class</b>	Business, economy, economy plus	Object
<b>Flight Distance</b>	Flight distance	Int64
<b>Seat comfort</b>	Seat satisfaction level	Int64
<b>Departure/Arrival time convenient</b>	Departure/arrival time satisfaction level	Int64
<b>Food and drink</b>	Food and drink satisfaction level	Int64
<b>Gate location</b>	Level of satisfaction with the gate location	Int64
<b>Inflight wifi service</b>	Satisfaction level with Wi-Fi service on board	Int64
<b>Inflight entertainment</b>	Satisfaction with inflight entertainment	Int64
<b>Online support</b>	Online support	Int64
<b>Ease of Online booking</b>	Online booking satisfaction rate	Int64
<b>On-board service</b>	Level of satisfaction with on-board service	Int64
<b>Leg room service</b>	Level of satisfaction with leg room service	Int64
<b>Baggage handling</b>	Level of satisfaction with baggage handling	Int64
<b>Checkin service</b>	Level of satisfaction with checkin service	Int64
<b>Cleanliness</b>	Level of satisfaction with cleanliness	Int64
<b>Online boarding</b>	Satisfaction level with online boarding	Int64
<b>Departure Delay in Minutes</b>	Departure delay in minutes	Int64
<b>Arrival Delay in Minutes</b>	Arrival delay in minutes	Float64

## 4.2. Data Preprocessing

Data preprocessing is an essential step before implementing machine learning models, as it involves preparing the raw dataset for analysis and improving data quality. During this phase, two key preprocessing steps were performed: handling missing values and eliminating redundant variables. First, missing values in the dataset were identified and addressed to ensure data consistency. Records containing missing values were removed from the dataset to prevent potential bias in the machine learning models. Second, redundant variables were examined using correlation analysis. The variables *Departure Delay Minutes* and *Arrival Delay Minutes* were found to contain highly similar information. To avoid redundancy and multicollinearity in the dataset, the *Arrival Delay Minutes* variable was removed. After completing these preprocessing steps, the cleaned dataset was used for subsequent analysis and machine learning modeling.

## 4.3. Machine Learning Models

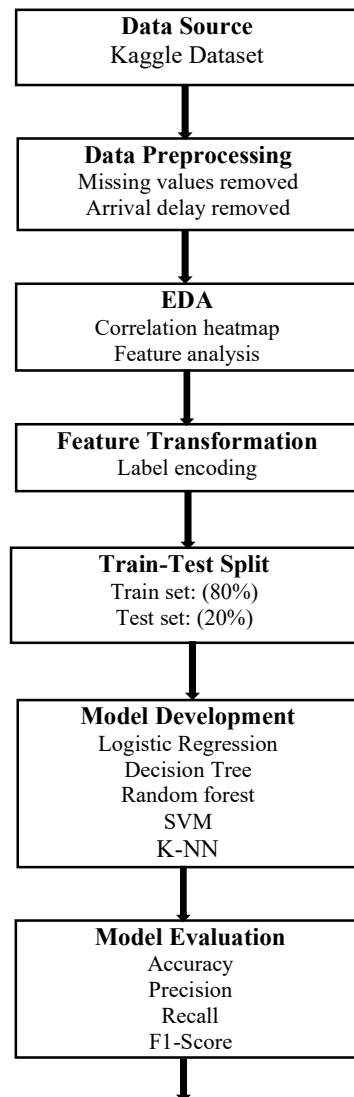
To predict customer satisfaction, several supervised machine learning algorithms were applied. These algorithms were selected due to their effectiveness in classification problems and their widespread use in customer analytics research. Logistic Regression is a statistical classification method that models the probability of a binary outcome.

Decision Tree classifiers divide the dataset into subsets based on feature values and construct a tree-like decision structure. Random Forest is an ensemble learning method that builds multiple decision trees and combines their predictions to improve classification accuracy and reduce overfitting. Support Vector Machine (SVM) identifies an optimal hyperplane that separates different classes in the feature space. The k-Nearest Neighbor (k-NN) algorithm classifies observations based on the majority class among the nearest neighbors. These machine learning models were applied to the dataset in order to compare their performance in predicting customer satisfaction.

#### 4.4. Model Training and Evaluation

The dataset was divided into training and testing subsets in order to evaluate the performance of the machine learning models. In this study, 80% of the data was used to train the models, while the remaining 20% was reserved for testing and validation. The models were trained using the training dataset and subsequently evaluated on the test dataset to assess their predictive performance.

Model performance was evaluated using several metrics, including accuracy, precision, recall, and F1-score. These metrics provide a comprehensive assessment of classification performance by measuring different aspects of model prediction quality. While accuracy measures the overall correctness of predictions, precision and recall evaluate the model's ability to correctly identify satisfied and dissatisfied customers. The F1-score provides a balanced measure of precision and recall. The evaluation results of the applied machine learning models are presented and discussed in the following section. To provide a clear and reproducible overview of the methodology, the overall machine learning workflow of the proposed approach is illustrated in Figure 1.



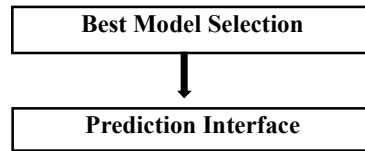


Figure 1. Machine learning pipeline of the proposed approach

### 5. Evaluation and Results

This section presents the results of the exploratory data analysis and the performance of the machine learning models used to predict customer satisfaction. First, a correlation analysis was conducted to examine the relationships among the variables in the dataset. A correlation matrix was generated and visualized using a heatmap, as shown in Figure 2.

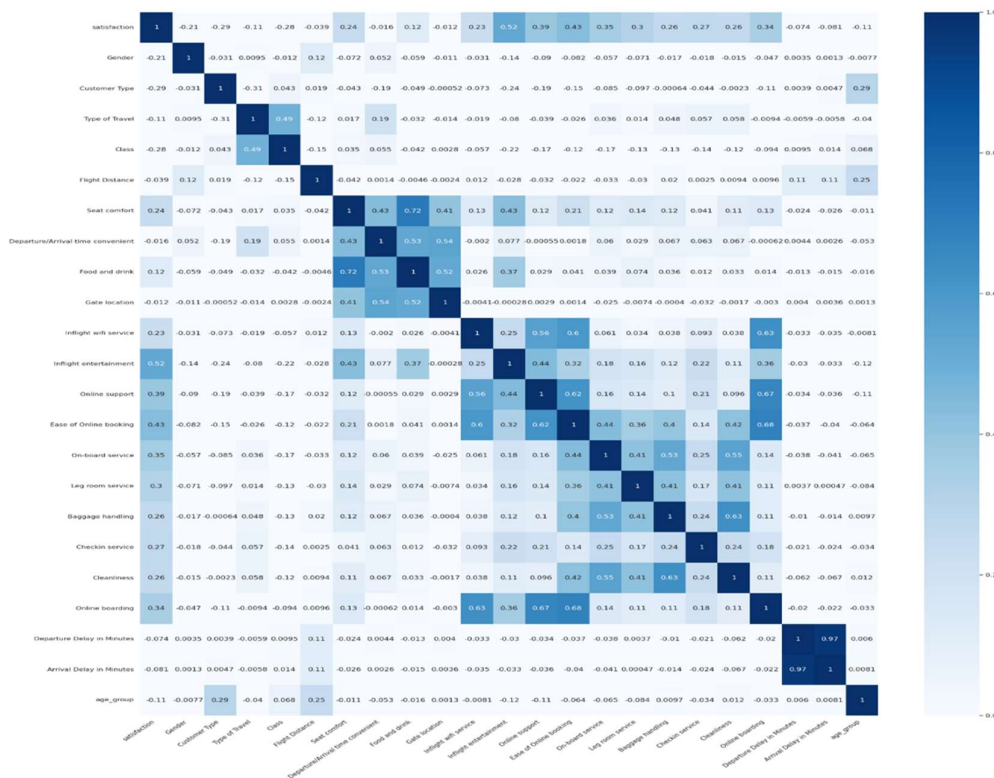


Figure 2. The correlation heatmap

According to the correlation matrix, as the correlation value approaches 1, the relationship between two variables becomes stronger. A negative value indicates an inverse relationship between the variables, meaning that as one variable increases, the other decreases. Based on this analysis, several data visualizations were generated to further explore the relationships between the variables and customer satisfaction levels. Some examples of these visualizations are presented below in Figures 3 and 4.

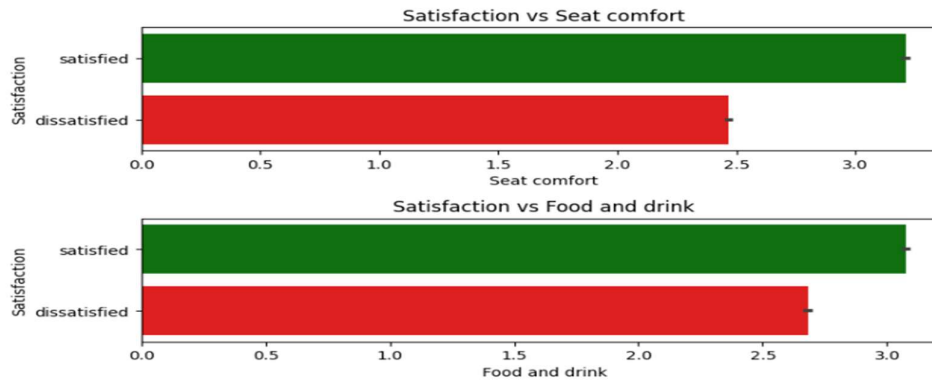


Figure 3. Relationships between customer satisfaction and other factors

An important observation from the correlation matrix is that *inflight entertainment* shows a correlation of approximately 52% with customer satisfaction. This indicates that inflight entertainment is one of the factors most strongly associated with passenger satisfaction. Therefore, a more detailed analysis of the inflight entertainment variable was conducted. This analysis helps identify which customer segments report higher satisfaction levels with inflight entertainment services. The distribution of inflight entertainment ratings by class and customer type is presented in the following figure.

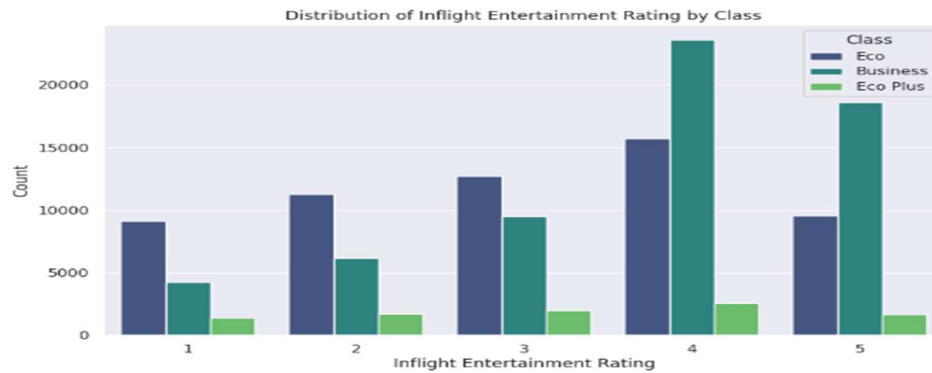


Figure 4. Distribution of inflight entertainment ratings

According to the data presented in Table 1, Business Class passengers report the highest ratings for inflight entertainment. In addition, the visualization in Figure 4 shows that loyal customers tend to give higher ratings for inflight entertainment compared to disloyal customers. This finding suggests that inflight entertainment may play an important role in shaping satisfaction among loyal passengers. Furthermore, an analysis of the satisfaction levels of both loyal and disloyal customers is presented in Figure 5.

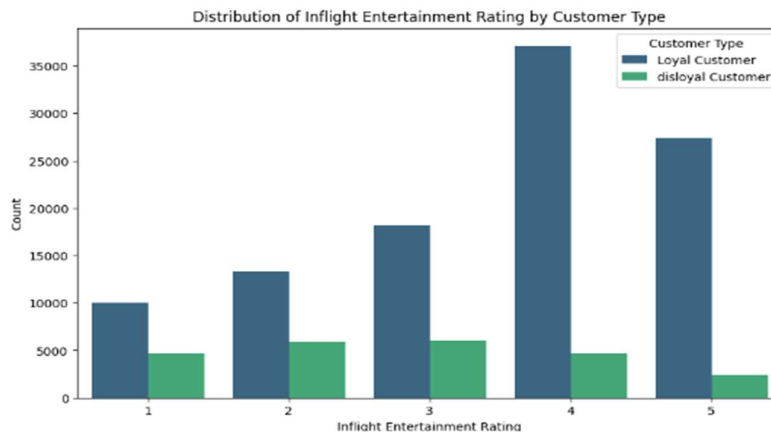


Figure 5. Distribution of customer satisfaction by loyalty status

According to this analysis, 61.6% of loyal customers are satisfied with airline services, whereas only 24% of disloyal customers report satisfaction. This finding supports the pattern illustrated in Figure 4 and indicates that loyal customers tend to report higher satisfaction levels. To further examine customer satisfaction patterns, passengers were categorized into different age groups, including children, teenagers, young adults, adults, and seniors. The results show that customers in the young adult age group exhibit higher satisfaction levels compared to other age groups. In this study, the young adult group includes individuals between 35 and 55 years old, as illustrated in Figure 6.

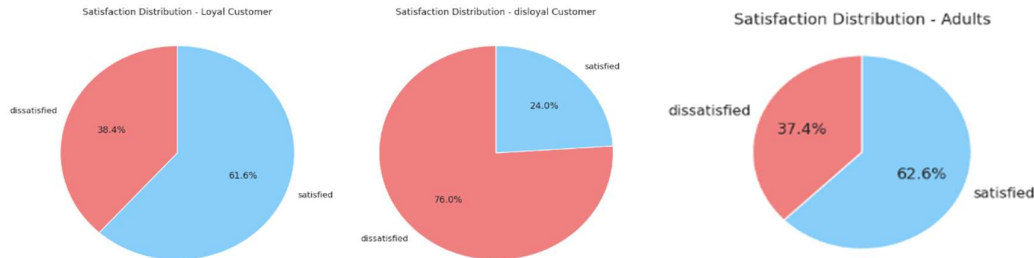


Figure 6. Distribution of customer satisfaction by age group

### 5.1 Machine Learning Results

Following the exploratory data analysis, the dataset was prepared for machine learning analysis. Since machine learning algorithms require numerical input, the categorical variables were transformed into numerical form to ensure compatibility with the models. To achieve this, categorical variables were encoded using a label encoding technique. For example, before encoding, the gender variable was represented as *male* or *female*. After applying the encoding process, these values were converted to 0 for male and 1 for female. The same encoding procedure was applied to other categorical variables, including customer type, travel class, and trip type.

Subsequently, several machine learning models were applied to the dataset, including Logistic Regression, Decision Tree Classification, Random Forest Classification, Support Vector Machine (SVM), and k-Nearest Neighbor (k-NN). The performance of these models was evaluated using accuracy, precision, recall, and F1-score metrics. The accuracy values obtained from the models are as follows: Logistic Regression (0.8396), Decision Tree (0.9220), Random Forest (0.9461), SVM (0.9178), and k-NN (0.9113). The detailed performance comparison of the models is presented in Table 2.

Table 2. Performance comparison of machine learning models

Model	Accuracy	Precision	Recall	F1-Score
Logistic Regression	0.84	0.84	0.83	0.83
Decision Tree	0.92	0.92	0.92	0.92
Random Forest	0.95	0.95	0.95	0.94
SVM	0.92	0.91	0.91	0.92
K-NN	0.91	0.90	0.90	0.91

The results indicate that the Random Forest classifier achieves the best overall performance across all evaluation metrics, confirming its suitability for predicting airline customer satisfaction. In addition, the ensemble nature of the Random Forest algorithm helps reduce overfitting and improves prediction stability compared to single classifiers such as Decision Trees.

### 6. The Prediction Approach

This study provides valuable insights for airline companies by identifying the key factors that influence customer satisfaction and demonstrating how machine learning models can be used to predict passenger satisfaction levels. Understanding these factors enables airlines to improve their services, strengthen customer loyalty, and enhance their competitive position in the market. Within the scope of this study, a dataset containing airline customer satisfaction ratings was analyzed using several machine learning algorithms. Among the evaluated models, the Random Forest classifier achieved the highest prediction accuracy and was therefore selected as the most effective

model for the prediction task. Based on this model, a simple web-based interface was developed that allows users to enter their travel-related information and obtain a prediction indicating whether they are likely to belong to the satisfied or dissatisfied customer group.

Passengers rate the services they receive during the flight on a scale from 1 to 5 and provide additional information such as age, flight distance, and departure delay time. To enable prediction modeling, categorical variables such as gender, travel type, and travel class were converted into numerical format. In the gender variable, female is represented by 1 and male by 0. For travel type, business travel is denoted by 0 and personal travel by 1. In addition, business class is represented by 0, economy by 1, and economy plus by 2. Based on these input variables, the Random Forest model predicts customer satisfaction levels, as illustrated in Figure 7.

Figure 7. User interface for customer satisfaction prediction

The prediction results further indicate that inflight entertainment is one of the most influential factors affecting customer satisfaction. The analysis also suggests that passengers who give higher ratings to inflight entertainment are typically between the ages of 35 and 55, tend to travel in business class, and are generally loyal customers. These findings provide useful insights for airlines seeking to improve service quality and enhance passenger satisfaction as presented in Figure 8.

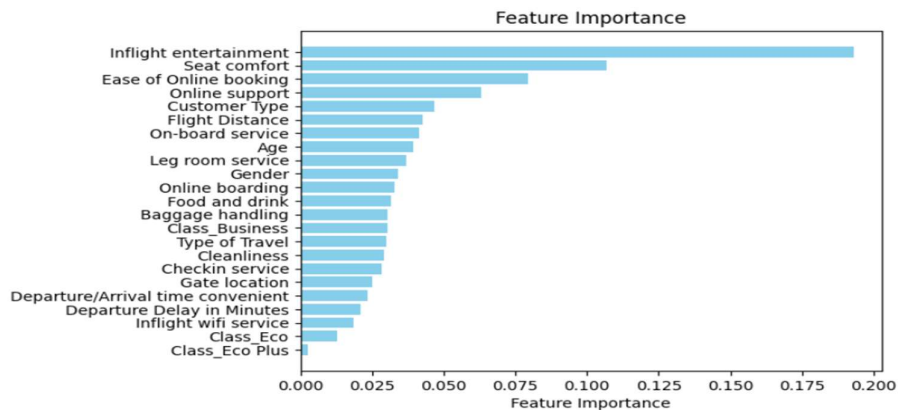


Figure 8. Prediction of customer satisfaction

## 7. Conclusion and Future Recommendations

This study is important for airline companies in identifying the factors that affect customer satisfaction and improving their services accordingly. Previous studies on this topic were also reviewed, highlighting the importance of customer satisfaction. Customer satisfaction is crucial for companies to enhance their success in the industry, strengthen their marketing strategies, and improve the services they provide. Within the scope of this study, a dataset containing airline customers' satisfaction levels with airline services was analyzed using various machine learning algorithms. Among the algorithms applied, the Random Forest model achieved the highest

accuracy and was therefore selected as the most effective model. Additionally, a website was developed that allows customers to view their own information and determine whether they belong to the satisfied or dissatisfied group. The results indicate that inflight entertainment is one of the most influential factors affecting customer satisfaction. Furthermore, it was observed that customers who give high ratings to inflight entertainment are generally between the ages of 35 and 55, tend to fly in business class, and are loyal customers. Accordingly, it can be concluded that loyal customers in the 35–55 age group who travel in business class are generally more satisfied with airline services. Despite the valuable findings of this study, several limitations should be acknowledged. First, the dataset used in this research was obtained from a publicly available Kaggle dataset rather than directly from airline companies, which may limit the generalizability of the results. Second, the analysis focuses primarily on structured survey data and does not fully incorporate unstructured textual data from social media platforms. Future research could extend this work by integrating real-time social media sentiment analysis, applying deep learning models, and exploring larger datasets from multiple airlines to improve prediction performance and generalizability.

## Conflict of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this study.

## Contribution of Authors

In this study, Sonya Javadi contributed to the definition of the research problem, study supervision, and writing of the article. Amine Hatun Engin contributed to data collection and methodology development. Özge Yüksel contributed to the literature review and data collection process.

## References

- Aktepe, A., Ersöz, S., & Toklu, B. (2015). Customer satisfaction and loyalty analysis with classification algorithms and Structural Equation Modeling. *Computers & industrial engineering*, 86, 95-106. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2014.09.031>
- Al-Mashraie, M., Chung, S. H., & Jeon, H. W. (2020). Customer switching behavior analysis in the telecommunication industry via push-pull-mooring framework: A machine learning approach. *Computers & Industrial Engineering*, 144, 106476. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106476>
- Bockhorst, J., Yu, S., Polania, L., & Fung, G. (2017). Predicting self-reported customer satisfaction of interactions with a corporate call center. In *Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases: European Conference, ECML PKDD 2017, Skopje, Macedonia*, 179-190. [10.1007/978-3-319-71273-4\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-319-71273-4_15)
- Chow, C. K. W. (2014). Customer satisfaction and service quality in the Chinese airline industry. *Journal of air transport management*, 35, 102-107. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2013.11.013>
- Gao, K., Yang, Y., & Qu, X. (2021). Examining nonlinear and interaction effects of multiple determinants on airline travel satisfaction. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 97, 102957. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102957>
- García, V., Florencia-Juárez, J. P., Sánchez-Solís, G. Rivera-Zarate., R. Contreras-Masse. (2019). Predicting airline customer satisfaction using k-nn ensemble regression models. *Instituto de Ingeniería y Tecnología*, 1870-4069. [:10.13053/rcs-148-6-15](https://doi.org/10.13053/rcs-148-6-15)
- Gou, J., Qiu, W., Yi, Z., Shen, X., Zhan, Y., & Ou, W. (2019). Locality constrained representation-based K-nearest neighbor classification. *Knowledge-Based Systems*, 167, 38-52. [10.1016/j.knosys.2019.01.016](https://doi.org/10.1016/j.knosys.2019.01.016)
- Gures, N., Arslan, S., & Tun, S. Y. (2014). Customer expectation, satisfaction and loyalty relationship in Turkish airline industry. *International Journal of Marketing Studies*, 6(1), 66. [10.5539/ijms.v6n1p66](https://doi.org/10.5539/ijms.v6n1p66)
- Hayadi, B. H., Kim, J. M., Hulliyah, K., & Sukmana, H. T. (2021). Predicting Airline Passenger Satisfaction with Classification Algorithms. *International Journal of Informatics and Information Systems*, 4(1), 82-94. <https://doi.org/10.47738/ijiis.v4i1.80>

- Hong, A. C. Y., Khaw, K. W., Chew, X., & Yeong, W. C. (2023). Prediction of US airline passenger satisfaction using machine learning algorithms. *Data Analytics and Applied Mathematics (DAAM)*, 7-22. <https://doi.org/10.15282/daam.v4i1.9071>
- Hussain, R., Al Nasser, A., & Hussain, Y. K. (2015). Service quality and customer satisfaction of a UAE-based airline: An empirical investigation. *Journal of Air Transport Management*, 42, 167-175. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2014.10.001>
- Hwang, S., Kim, J., Park, E., & Kwon, S. J. (2020). Who will be your next customer: A machine learning approach to customer return visits in airline services. *Journal of Business Research*, 121, 121-126.
- Kaggle.(2020). *Airline Passenger Satisfaction Dataset*. Available at: <https://www.kaggle.com/datasets/teejmahal20/airline-passenger-satisfaction>
- Krishnan, C. G., Robinson, Y. H., & Chilamkurti, N. (2020). Machine learning techniques for speech recognition using the magnitude. *Journal of Multimedia Information System*, 7(1), 33-40. <https://doi.org/10.33851/JMIS.2020.7.1.33>
- Kumar, S., & Zymbler, M. (2019). A machine learning approach to analyze customer satisfaction from airline tweets. *Journal of Big Data*, 6(1), 1-16. :[10.1186/s40537-019-0224-1](https://doi.org/10.1186/s40537-019-0224-1)
- Leong, L. Y., Hew, T. S., Lee, V. H., & Ooi, K. B. (2015). An SEM-artificial-neural-network analysis of the relationships between SERVPERF, customer satisfaction and loyalty among low-cost and full-service airline. *Expert systems with applications*, 42(19), 6620-6634. [10.1016/j.eswa.2015.04.043](https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.04.043)
- Magsi, H., Sodhro, A. H., Al-Rakhami, M. S., Zahid, N., Pirbhulal, S., & Wang, L. (2021). A novel adaptive battery-aware algorithm for data transmission in IoT-based healthcare applications. *Electronics*, 10(4), 367. <https://doi.org/10.3390/electronics10040367>
- Nourbakhsh, A., & Rezaei Chelkasari, M. (2023). Airline passenger's sentiment analysis for improving the quality of airline services by using a deep learning approach. *International Journal of Applied Operational Research-An Open Access Journal*, 11(2), 77-97. <https://doi.org/10.71885/ijorlu-2023-1-638>
- Nurdina, A., & Puslita, A. B. I. (2023). Naive Bayes and KNN for Airline Passenger Satisfaction Classification: Comparative Analysis. *Journal of Information System Exploration and Research*, 1(2). <https://doi.org/10.52465/joiser.v1i2.167>
- Park, E., Jang, Y., Kim, J., Jeong, N. J., Bae, K., & Del Pobil, A. P. (2019). Determinants of customer satisfaction with airline services: An analysis of customer feedback big data. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 51, 186-190. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2019.06.009>
- Park, S. H., Kim, M. Y., Kim, Y. J., & Park, Y. H. (2022). A deep learning approach to analyze airline customer propensities: the case of South Korea. *Applied Sciences*, 12(4), 1916. <https://doi.org/10.3390/app12041916>
- Suprpto, D. S., & Oetama, R. (2023). Analysis of Airline Passenger Satisfaction Using Decision Tree and Naive Bayes Algorithms. *Jurnal Informatika Ekonomi Bisnis*, 1493-1500. <https://doi.org/10.37034/infeb.v5i4.728>
- Taliah, A. R. B., & Zervopoulos, P. D. (2023). Using a Bayesian meta-frontier approach to evaluate airline performance: The nexus between airline efficiency and customer satisfaction. *Heliyon*, 9(10). [10.1016/j.heliyon.2023.e20391](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20391)
- Tayaba, M., Ayon, E. H., Mia, M. T., Sarkar, M., Ray, R. K., Chowdhury, M. S., ... & Puja, A. R. (2023). Transforming Customer Experience in the Airline Industry: A Comprehensive Analysis of Twitter Sentiments Using Machine Learning and Association Rule Mining. *Journal of Computer Science and Technology Studies*, 5(4), 194-202. <https://doi.org/10.32996/jcsts.2023.5.4.20>

Thakur, N., & Han, C. Y. (2021). A study of fall detection in assisted living: Identifying and improving the optimal machine learning method. *Journal of sensor and actuator networks*, 10(3), 39. <https://doi.org/10.3390/jsan10030039>

Ouf, S. (2023). An optimized deep learning approach for improving airline services. *Comput. Mater. Contin.*, 75(1), 1213-1233. <https://doi.org/10.32604/cmc.2023.034399>

Xu, Z., Zhu, G., Metawa, N., & Zhou, Q. (2022). Machine learning based customer meta-combination brand equity analysis for marketing behavior evaluation. *Information Processing & Management*, 59(1), 102800. [10.1016/j.ipm.2021.102800](https://doi.org/10.1016/j.ipm.2021.102800)



# Journal of Turkish Operations Management

## Girişimci desteğinde bağımsız kurul üyesi atanmasının çok kriterli karar verme yöntemleriyle değerlendirilmesi

Yeşim Kayabaş Alkan<sup>1\*</sup>, Mehmet Kabak<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi Merkez Kampüs Emniyet Mahallesi Teknoloji Fakültesi B Blok Ek Bina 2.Kat, 06500 Yenimahalle/Ankara, Türkiye,

yesim.kayabas@gazi.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0003-3370-4736>

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eti, Yükseliş Sk. No:5, 06570 Çankaya/Ankara, Türkiye,

mkabak@gazi.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-8576-5349>

\*Sorumlu Yazar

### Makale Bilgisi

#### Makale Geçmişi:

Geliş: 01.03.2025

Revize: 08.12.2025

Kabul: 17.12.2025

#### Anahtar Kelimeler:

Bağımsız Değerlendirici Atama,  
Kriter Ağırlıklandırma,  
Copeland Yöntemi

### Özet

Devlet otoriteleri ülkede ekonomik kalkınmayı ve istihdamı teşvik amacıyla işletmelere çeşitli alanlarda destek sağlamaktadır. Destek sağlama süreci belirli nitelikteki işletmelerin kamu kurumlarına başvurusu, ilgili kurumca ön inceleme, bağımsız üyelerinden oluşan bir kurul tarafından belirli kriterlere göre başvurunun değerlendirilmesi ve desteğin kullanımının takibinden oluşmaktadır. Değerlendirme sürecinin başarısı bağımsız kurul üyelerinin bilimsel yöntemlerle ve doğru şekilde seçilmesine önemli ölçüde bağlıdır. Bu çalışmada, girişimci desteğinin değerlendirilmesinde görev alacak bağımsız kurul üyelerinin atama süreci, çok kriterli karar verme yöntemleri çerçevesinde ele alınmaktadır. Objektif ve subjektif ağırlık belirleme yöntemleriyle uluslararası benzer kurumlarda ve akademik çalışmalarda yer alan bağımsız değerlendirici ve panelist atama kriterleri değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonuçları COPELAND yöntemi ile birleştirilerek bağımsız değerlendirici atanmasında dikkate alınacak nihai bir kriter sıralaması elde edilmiştir. 15 kriter içerisinde en önemli üç kriter sırasıyla “Uzmanlık”, “Akademik Bilgiler” ve “Tecrübe” olarak tespit edilmiştir. Tespit edilen kriter ve önem ağırlıkları kullanılarak 85 akademisyen objektif ve subjektif verilere göre değerlendirilmiştir. Bu kapsamlı çalışma, bağımsız değerlendirici atama konusuna analitik bir perspektiften bakmayı amaçlamaktadır.

## Evaluation of the appointment of independent board members in entrepreneur support with multi-criteria decision making methods

### Article Info

#### Article History:

Received: 01.03.2025

Revised: 08.12.2025

Accepted: 17.12.2025

#### Keywords:

Independent Assessor Appointment,  
Criteria Weighting,  
Copeland Method

### Abstract

State authorities provide support to enterprises in various fields in order to promote economic development and employment in the country. The process of providing support consists of the application of enterprises with certain qualifications to public institutions, preliminary examination by the relevant institution, evaluation of the application by a board of independent members according to certain criteria and monitoring the use of the support. The success of the evaluation process significantly depends on the selection of independent board members using scientific methods and the right way. In this study, the appointment process of independent board members who will take part in the evaluation of entrepreneurial support is discussed within the framework of multi-criteria decision-making methods. By using objective and subjective weighting methods, the criteria for appointing independent evaluators and panelists in similar international institutions and academic studies are evaluated. The evaluation results were combined with the Copeland method to obtain a final ranking of criteria to be considered in appointing independent evaluators. Among the 15 criteria, the three most important criteria were determined as “Expertise”, “Academic Knowledge” and “Experience” respectively. Using the determined criteria and importance weights, 85 academicians were evaluated according to objective and subjective data. This comprehensive study aims to look at the appointment of independent evaluators from an analytical perspective.

## 1. Giriş

Ülke ekonomilerinde lokomotif görevi gören küçük ve orta ölçekli işletmeler (kobi) milli sermaye kullanımı ve istihdam arttırımının teşvik edilmesi sebebiyle yatırım ve tasarruf seviyeleri artarak ülke ekonomisine önemli düzeyde katkı sağlamaktadırlar (Alural, 2019; Güler, 2017). Bu bağlamda, devlet tarafından desteklenen programlar ve kurumlar girişimcilik çerçevesinin gelişmesine öncülük eder. Ülke ekonomilerinde büyük bir katkı sağlayan kobilere yönelik olarak ülkemizde KOSGEB (Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeleri Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı) bu desteğin sağlanmasında kilit unsurlarından biri olarak öncelikli bir konumda yer almaktadır.

Kobiler ticaret ve sanayileşme kavramlarının tetikleyicisi konumundadır. Bu sebeple girişim ve girişimcilerin desteklenmesi, araştırma – geliştirme çalışmalarının teşvik edilmesi alanlarında destek programlarına ihtiyaç duyulmuştur. KOSGEB bu alanlara yönelik olarak kobilere destek ve hizmet sağlamaktadır (Aykan, Aksoylu ve Sönmez, 2013). Pandemi döneminin de etkisiyle son yıllarda KOSGEB'in kobilere yönelik olarak geliştirmiş olduğu araştırma ve geliştirme, yatırım, girişim, teçhizat, donanım vb. destek ve hizmetlere girişimcilerin ilgisi artmıştır.

KOSGEB girişimci desteği başvuru, inceleme, değerlendirme ve itiraz gibi aşamalardan geçerek desteğin kabul durumu başvuru yapan tarafa bildirilmektedir. Başvuruların incelenmesi sonucunda destek için uygun bulunan projelerin değerlendirilmesi amacıyla kurul oluşturulur. Kurul tarafından, projelerin değerlendirilmesi toplantı usulü ile yapılmaktadır. Kurul üyeleri genel olarak KOSGEB bünyesinde çalışan personel ve bağımsız değerlendiricilerden oluşmaktadır. Girişimci Desteği kapsamında, bağımsız değerlendiricilerin bir kısmının KOSGEB tarafından belirlenen minimum sayıda öğretim üyesinden oluşması gerekmektedir (KOSGEB, 2024).

KOSGEB destek başvuru değerlendirmelerinde bağımsız değerlendirici seçim sürecinin, ilgili desteğin faaliyet alanına uygun bir şekilde, tüm kriterleri dikkate alan çok aşamalı bir yapıya sahip olması gerekmektedir. Bu süreç içerisinde destek başvuru değerlendirmelerinin doğru kişilerce yapılabilmesi için gerekli alanlardaki ilgili aday bağımsız değerlendirici niteliklerinin tespit edilmesine ve değerlendirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Çeşitli bilimsel yöntemlerin kullanıldığı benzer kuruluşlardaki değerlendirici seçim süreçlerinde, ÇKKV yöntemlerinin kullanımına başvurulmaktadır (Koçak, İç, Atalay, Sert ve Dengiz, 2021; Latypova, 2023b; Nguyen, Sánchez-Hernández, Agell, Rovira ve Angulo, 2018).

Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) karmaşık hayattaki seçim süreçlerinde çoklu kriterleri baz alarak alternatifler arasında en ideal seçeneği bulmayı amaçlayan temel karar alma konularından biridir. Finanstan mühendislik tasarımına kadar geniş bir uygulama alanına sahip olan ÇKKV farklı disiplinlerde kullanılabilen büyük bir araç seti ve yöntem yelpazesine sahiptir (Soygüder ve Geçer, 2023; Taherdoost ve Madanchian, 2023). KOSGEB desteklerinin değerlendirilmesi sürecinde oluşturulan kurullarda her kurul üyesi destek programının türüne göre kurum içi ve kurum dışından seçilmektedir. Seçilen her kurul üyesi destek türüne bağlı olarak farklı niteliklere ve önem düzeyine sahiptir. Bu bağlamda akademik bağımsız kurul üyeleri atama kriter ağırlıkları ÇKKV yöntemleriyle tespit edilebilir. Hem nesnel hem de KOSGEB uzmanlarının öznel değerlendirmelerini içeren ağırlık belirleme yöntemlerinin etkili bir çözüm sağlayacağı değerlendirilmektedir. Araştırmanın literatüre yönelik katkıları aşağıda özetlenmiştir:

- KOSGEB'in bağımsız değerlendirici seçim sürecine özgün bir yaklaşım getirmeyi amaçlayan bu çalışma, araştırmalarımıza göre girişimcilik desteğinde akademik bağımsız değerlendirici seçim kriterlerini ele alan ilk çalışmadır.
- FUCOM (Tam Tutarlılık Yöntemi), LBWA (Seviyeye Dayalı Ağırlık Değerlendirme), PIPRECIA-E (Pivot İkili Görelî Kriter Önem Değerlendirmesi), CENTROIDOUS (Ağırlık Merkezi), SPC (Kriterin Simetri Noktası), CEBM (Küçük Etki Tabanlı Ölçüm), COPELAND yöntemlerinin akademik bağımsız değerlendirici seçim süreçlerinde bütünlük olarak kullanıldığı ilk çalışma olması nedeniyle katkı yapacağı düşünülmektedir.
- FUCOM, LBWA ve PIPRECIA-E yöntemleri için KOSGEB Ankara Sincan Müdürlüğü ve KOSGEB Tokat Müdürlüklerinden 3 uzman aracılığıyla literatürde belirlenen kriterler değerlendirilerek kurumun bağımsız değerlendirici atamaya yönelik ihtiyaçları göz önüne alınmıştır.

- Araştırmada kullanılan CEBM ve CENTROIDOUS yöntemleri literatürde yeni sayılabilecek ve henüz yaygın olarak incelenmemiş yöntemlerdir. Bu kapsamda yenilikçi metod kullanımı ve bu metodların kullanım alanının genişletilmesini desteklemesi sebebiyle literatüre katkı sağlaması beklenmektedir.
- CEBM, CENTROIDOUS ve SPC yöntemleri daha önce personel seçimi problemlerinde kullanılmamıştır. Bu güncel yöntemlerin personel seçimi problemlerinde kullanılması yöntemlerin karar verme prosedürlerinde uygulama alanının genişletilmesi sebebiyle literatüre katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.
- Objektif metodlarda kullanılan veri seti, gerçek bir akademik veri setidir. Literatürde yer alan fakat akademik özgeçmişlerde direkt sayısal karşılığı olmayan kavramsal ölçütler, kural tabanlı ve yapay zekâ destekli bir metin işleme yöntemiyle adayların mevcut akademik özgeçmişlerinden elde edilmiş ve sayısallaştırılmıştır. Metinsel bilgilerin bu şekilde sayısal olarak ifade edilebilir bir yapıya dönüştürülmesinin literatüre yöntemsel açıdan katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Çalışmanın bir sonraki bölümünde değerlendirici seçimi ile ilgili literatür incelenmiş, değerlendirme kriterleri tespit edilmiş ve uygulanan yöntemler tartışılmıştır. Üçüncü bölümde çalışmada kullanılan subjektif ve objektif kriter ağırlıklandırma yöntemleri açıklanmış, sonuçları bütünleştirme tekniği ifade edilmiştir. Dördüncü bölümde ise KOSGEB desteği için üç uzmanın girdileri ile subjektif yöntemler, 85 akademisyene ait verilerle objektif yöntemler uygulanarak kriter ağırlıkları tespit edilmiş ve COPELAND yöntemi ile sonuçlar bütünleştirilmiştir. Son bölümde sonuçlar tartışılmış ve değerlendirmeler yapılmıştır.

## 2. Literatür Taraması

Değerlendiricilerin uygun kurula atanması çok kapsamlı bir konudur. Ele alınan projenin doğru bir şekilde değerlendirilebilmesi için uygun değerlendiricilerin seçilerek ilgili projeye atanması gerekmektedir. Bu nedenle belirli kriterler ve şartları sağlayan kişilerin ilgili destek programlarına atanması gerekmektedir.

Yurt içinde ve yurt dışında küçük ve orta ölçekli firma projelerine destek sağlayan kurumlarda bağımsız değerlendirici seçimi önemli bir konudur. Afrika'da Afrika Kalkınma Bankası, Avusturalya'da Avustralya Araştırma Konseyi, Asya ve Pasifik bölgelerindeki ülkelere hizmet veren Asya Kalkınma Bankası, Kanada'da Uluslararası Kalkınma Araştırma Merkezi, İngiltere'de bulunan İngiltere Araştırma ve İnovasyon Kurumu, Avrupa Birliğine bağlı Avrupa Komisyonu, İrlanda'da İrlanda Araştırma Konseyi gibi kurumların değerlendirme süreçlerinde bağımsız değerlendirici, uzman ve panelistler etkin bir rol üstlenmektedirler.

Literatürde, bağımsız değerlendirici, uzman, panelist ve hakem seçim süreçlerine ilişkin çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Koçak ve diğ. (2021), Ar-Ge projelerinin değerlendirilmesi amacıyla geniş kapsamlı bir hakem seçim yaklaşımı sunmuşlardır. Seçim sürecinin tasarlanmasında ÇKKV yöntemlerinden olan Tereddütlü Bulanık VIKOR ve TOPSIS tekniklerinin bir kombinasyonu önermişlerdir. Kat (2021), panelist – proje çalışmaları eşleşmelerinin optimizasyonu için algoritma tasarlamış ve tasarlanan algoritmaya dayalı bir karar destek sistemi geliştirerek TÜBİTAK'ın kapsamlı panel verileri ile test etmiştir. Hoang, Nguyen, Collins ve Hwang (2021), akademik çalışma inceleme - değerlendirme süreçlerinde uygun uzmanların seçilebilmesi için veri biriktirme - kaydetme, uzman belirleme ve uzman kadrosu tespiti bölümlerini kapsayan bir karar destek sistemi geliştirilmişlerdir. Latypova (2023a), bilimsel konferanslara hakem seçilmesi amacıyla süreç uzmanlık ve deneyim gibi özellikleri dikkate alan çok kriterli bir yaklaşımla optimizasyon problemi olarak ele alarak, önerdiği yöntemi 2 farklı veri seti üzerinde test etmiştir. Pradhan, Sahoo, Singh ve Pal (2021), akademik makalelerin değerlendirilmesinde uygun hakemin atanmasını ele alarak, seçim süreci için hakem, konu ve atıf ağlarını içerisinde barındıran çok düzeyli bir öneri mekanizması tasarlamış ve önerilen metodolojiyi çeşitli veri setlerinde deneyerek yöntemin etkinliğini sunmuşlardır. Duan ve diğ. (2019), bilimsel makalelerin incelenmesi ve değerlendirmesi kapsamında 4 farklı makine öğrenimi tekniğini ve dil işleme yöntemlerini birleştirerek hakem – makale eşleşmesi için yeni bir yöntem sunmuşlardır. Çalışmalardaki özet – başlık bilgilerinden elde edilen cümle çiftleri sayesinde hakem – makale eşleşme performansı artırılmışlardır. Ishag, Park, Lee ve Ryu (2019), akademik dergi editörlerinin hakem arayış sürecine kolaylık getirilmesi amacıyla yeni bir sistem önerisi sunmuşlardır. Önerilen sistem hakemlere ait atıf ve H- İndeks bilgilerini dikkate alarak, uzmanlık alanları ve anahtar kelime bilgilerini içeren desenleri çıkararak bir yapıya sahiptir. Jin, Niu, Ji ve Geng (2020), hakem seçim sürecinde hakem – çalışma eşleşmesinin doğruluğunu ele alarak bir matematiksel model geliştirmiş ve önerilen metodolojinin performansını büyük veri kümelerinde kıyaslamalı olarak incelemişlerdir. Bouanane, Medakene, Benbelghit ve Belhaouari, (2024), adalet - yük dengesi kısıtları altında dengeli ve adil hakem atama problemini ele alarak FairColor algoritmasını sunmuşlardır. Bagheri, Buscaldi ve Reforgiato Recupero (2025), içerik tabanlı hakem atama problemine odaklanarak büyük dil modelleri ve bilgi grafiklerini birleştirerek yeni bir değerlendirici seçim yöntemi önermişlerdir.

Literatür taramasından görüldüğü üzere uzman, panelist, hakem ve değerlendirici seçim süreçleri zamanla daha karmaşık bir yapıya bürünmüştür. Seçim süreçlerinde dikkate alınan kriterlerin artışı süreci vakit alıcı ve hata riski yüksek bir hale getirirken, mevcut yöntemler genel olarak birkaç kriter üzerinde yoğunlaşmıştır. Klasik uygulamaların büyük kısmı sınırlı sayıda kriteri ele alırken, çok kriteri eş zamanlı olarak değerlendiren bütüncül yaklaşımlar zamanla önem kazanmaktadır. Literatürde ÇKKV yöntemleri, optimizasyon tabanlı teknikler, makine öğrenimi ve dil işleme tekniklerinin kullanıldığı dikkat çekmektedir. Bu bağlamda, çalışmamızda bağımsız değerlendirici seçim problemi ele alınmış, 3 objektif ve 3 subjektif ÇKKV yöntemiyle ağırlıklar belirlenerek sonuçlar COPELAND yöntemiyle birleştirilmiştir.

### 3. Metodoloji

Bu çalışmada KOSGEB girişimcilik desteği bağımsız değerlendirici atama kriterlerinin değerlendirilmesi amacıyla kriterlerin ağırlıklandırılmasında kullanılan FUCOM, LBWA, PIPRECIA-E subjektif yöntemleri, CENTROIDOUS, SPC, CEBM objektif yöntemleri ve COPELAND toplulaştırma tekniği kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan subjektif yöntemler; grup karar verme çalışmalarında küçük uzman gruplarıyla uygulanabilmeleri, ikili karşılaştırmalara görece az ihtiyaç duymaları ve matematiksel açıdan rasyonel ve karmaşıklığından uzak yaklaşım sunmaları nedeniyle tercih edilmiştir (Pamuçar, Stević ve Sremac, 2018; Stanujkic, Zavadskas, Karabasevic, Smarandache ve Turskis, 2017; Žižović ve Pamucar, 2019). Çalışmada kullanılan objektif yöntemler, literatürde görece yeni sayılabilecek kriter ağırlıkları belirleme metotlarıdır. CENTROIDOUS yöntemi, kriterlerin buldukları grubun ağırlık merkezini temel alarak, merkeziet derecesi yüksek olan kriterlerin grubu diğer kriterlere kıyasla temsil gücünün yüksek olduğu varsayımına dayanmaktadır. Dolayısıyla bu kriterleri yüksek öneme sahip kriterler olarak değerlendirmektedir. Ayrıca yöntemin farklı uzaklık ölçütleri (Chebyshev, Euclidean ve Manhattan uzaklıkları) altında kararlılığının değerlendirildiği ve MEREK (Kriterlerin Kaldırılma Etkilerine Dayalı Yöntem), CRITIC (Kriterler arası Korelasyon Yoluyla Kriterlerin Önem Tespiti), Entropi gibi bazı yaygın olarak kullanılan nesnel ağırlıklandırma metotlarına göre kararlı ve ayırt edici ağırlıklar verdiği literatürde ifade edilmektedir (Vinogradova-Zinkevič, 2024). SPC yöntemi, her bir kriterin ait olduğu grubun alt ve üst değerleri arasında tanımlanan simetri noktasına olan uzaklıkları esas alarak tutarlı bir ağırlıklandırma yapısı sağlamaktadır. Ayrıca Standart Sapma, CRITIC ve Entropi gibi yöntemlerle karşılaştırıldığında, uygulama kolaylığı ve güvenilirliği yüksek bir objektif ağırlık belirleme metodudur (Gligorić, Gligorić, Miljanović, Lutovac ve Milutinović, 2023; Van Dua, 2023). CEBM yöntemi ise kriterler arası karşılıklı etkileşimi kübik fonksiyonlar aracılığıyla modelleyerek doğrusal olmayan yapısal özellikleri ağırlıklara aktarmaktadır. Simülasyon, duyarlılık ve karşılaştırma analizlerinde kriter ağırlıklarını hesaplamada yüksek ayırt edicilik özelliği göstermekte; senaryo değişikliklerinde tutarlı sonuçlar üreten, objektif ve güvenilir bir yöntem olarak literatürde belirtilmektedir (Altıntaş, 2023; Altıntaş, 2024). Dolayısıyla CENTROIDOUS, SPC ve CEBM yöntemlerinin birlikte uygulanması; kriter değerlerinin simetrik yapısını, kriterlerin bağlı olduğu grup merkezlerine olan mesafelerini ve doğrusal olmayan karşılıklı etkileşimlerini gözetken ve MEREK, CRITIC, Entropi ve standart sapma gibi başlıca kullanılan nesnel ağırlıklandırma metotlarıyla kıyaslandığında farklı bir matematiksel perspektif sunan objektif ağırlık değerlerinin belirlenmesine olanak tanımaktadır. Yöntemlerin matematiksel notasyonları ilgili yöntem başlıkları altında ifade edilmiştir.

#### 3.1. FUCOM Yöntemi

FUCOM 2018 yılında kriter ağırlıklarının subjektif olarak hesaplanması için Pamučar, Stević ve Sremac tarafından geliştirilmiştir. Yöntem temelinde Kriterlerin çift bazlı karşılaştırılmasına ve maksimum tutarlılıktan sapma miktarının ölçülmesine dayalı bir prosedüre sahiptir (Feizi, Karbalaei-Ramezani ve Farhadi, 2021). Yöntemin personel seçimi için kullanımı mevcuttur (Mercan ve Can, 2023; Stević ve Brković, 2020; Tešić ve diğ., 2023). Yöntem uygulama basamakları aşağıda verilmiştir (Arman ve Kundakcı, 2023; Atçı ve Atalay, 2022; Demir ve Bircan, 2020; Pamučar, Stević ve Sremac, 2018; Uslu ve Erdebili, 2024):

- 1) Kriter kümesi  $C = \{C_1, \dots, C_n\}$  içerisinde yer alan tüm kriterlerin kendi içerisinde Denklem 1’de belirtildiği gibi önem derecesine göre sıralanmaktadır.

$$C_{j(1)} > C_{j(2)} > \dots > C_{j(k)} \quad (1)$$

- 2) Kriterlerin karşılaştırmalı öncelik değerlerine ait vektörler  $(\varphi_{k/(k+1)})$  Denklem 2’de gösterildiği gibi uygulanmaktadır.  $k$  değeri 1’den  $n$ ’e kadar olmak üzere kriter sırasını ve belirtmektedir.

$$\Phi = (\varphi_{1/2}, \varphi_{2/3}, \dots, \varphi_{k/(k+1)}) \quad (2)$$

- 3) Kriterlerin ağırlık değerlerinin  $(w_1, w_2, w_3, \dots, w_n)^T$  hesaplaması aşağıda verilen Denklem 3 ve Denklem 4'te verilen işlemlerin sağlanması gerekmektedir.

$$(w^k / w_{k+1}) = \varphi_{k/(k+1)} \quad (3)$$

$$(\varphi_{k/(k+1)} \times \varphi_{(k+1)/(k+2)}) = \varphi_{k/(k+2)} \quad (4)$$

- 4) Bu koşullar sağlandığında Denklem 5'te belirtilen matematiksel modelin çözülmesiyle kriter ağırlıkları  $(w_1, w_2, w_3, \dots, w_n)^T$  ve DMC değeri elde edilir.

$$\begin{aligned} \text{Min } X \\ |w_{j(k)} / w_{j(k+1)} - \varphi_{k/(k+1)}| &\leq X, \forall j \\ |w_{j(k)} / w_{j(k+1)} - \varphi_{k/(k+1)} \times \varphi_{(k+1)/(k+2)}| &\leq X, \forall j \\ \sum_1^n w_j &= 1, \forall j \\ w_j &\geq 0, \forall j \end{aligned} \quad (5)$$

### 3.2. LBWA Yöntemi

LBWA yöntemi Žižović ve Pamučar öncülüğünde 2019 yılında kriter ağırlıklarının subjektif olarak hesaplanması için oluşturulmuştur. Matematiksel açıdan yöntem göreceli olarak kolay bir yapıya sahiptir (Božanić, Jurišić ve Erkić, 2020). Literatürde Yöntemin personel seçimi için kullanımı mevcuttur (Jakovljević, Zizovic, Pamucar, Stević ve Albijanic, 2021; Özekenci, 2024). Yöntem için izlenmesi gereken adımlar aşağıda verilmiştir (Božanić, Pamucar, Badi ve Tešić, 2023; Jokić, Božanić ve Pamučar, 2021; Žižović ve Pamucar, 2019):

- 1) Başlangıçta uzman görüşüne göre  $n$  kriter sayısı,  $C$  kriterler ve  $S = \{C_1, \dots, C_n\}$  kriterler kümesi olmak üzere en önemli kriter seçilmelidir ve kriterler Denklem 6'da verildiği üzere kendi aralarında önem düzeylerine göre sınıflandırılmaktadır.

$$S_i = \{C_{i_1}, \dots, C_{i_s}\} = \{C_j \in S : i \leq s(C_j) < i + 1\} \quad (6)$$

- 2) Her seviyedeki en önemli görülen kritere uzman tarafından "0" ve diğer kriterlere ise 1'den başlayarak tamsayı değerler verilir. En yüksek belirlenen tam sayı değerleri ( $r$ ) Denklem 7'de verildiği gibi tanımlanmaktadır.

$$r = \max\{|S_1|, \dots, |S_k|\} \quad (7)$$

- 3) Esneklik katsayısının değerinin belirlenebilmesi için  $r$  değerinin kullanılmalıdır.  $r_0 = r + 1$  ve katsayı  $r_0 > r$  olacak biçimde tanımlanmaktadır. Denklem 8'de ifade edildiği üzere, her bir kriterin etki fonksiyonu değeri ayrı ayrı hesaplanmaktadır.  $i$  düzey sırası olmak üzere;

$$f(C_{ip}) = \frac{r_0}{i \cdot r_0 + I_{ip}} \quad (8)$$

- 4) Kriterlerin ağırlık değerleri hesaplanmaktadır. Bu aşama 2 adımda gerçekleştirilmektedir. İlk kısımda en yüksek önem düzeyine sahip kriterin ağırlığı Denklem 9'a göre hesaplanır. Son olarak kalan kriterlerin ağırlıkları Denklem 10'da verilen formülle belirlenir.

$$w_1 = (1/1 + f(C_2) + \dots + f(C_n)) \quad (9)$$

$$w_j = f(C_j) \cdot w_1 \quad (10)$$

### 3.3. PIPRECIA-E Yöntemi

PIPRECIA yöntemi Stanujkić, Zavadskas, Karabasević, Smarandache ve Turskis tarafından 2017 yılında kriterlerin kalitatif ve kantitatif olduğu problemlerde ağırlıklarının hesaplanması için literatüre kazandırılmıştır. Kriterlerin önem derecelerinin ikili kıyaslanmasını esas alır. Yöntem, PIPRECIA ve Ters PIPRECIA

metotlarının adımlarını içeren iki aşamalı bir süreçten oluşmaktadır. Uygulama adımları aşağıda gösterilmiştir (Özdağoğlu ve Keleş, 2021; Popovic ve diğ., 2021; Sintaro ve Aldino, 2023; Stanujkic, Zavadskas, Karabasevic, Smarandache ve Turskis, 2017).

1. İlk olarak kriterler tahmin edilen önem derecelerine göre büyükten küçüğe sıralanmalıdır.  $C_j$  kritere ait ilk değer ve  $S_j$  nispi önem derecesi olmak üzere uzmanlar tarafından kriterlerin nispi önem dereceleri Denklem 11’de belirtilen kurala uygun olarak belirlenmektedir.

$$S_{jd} = \begin{cases} \text{Eğer } C_j > C_{j-1} & > 1 \\ \text{Eğer } C_j = C_{j-1} & = 1 \\ \text{Eğer } C_j < C_{j-1} & < 1 \end{cases} \quad (11)$$

2. Kriterler uzman görüşlerinin ortalaması kullanılarak Denklem 12’ye göre birleştirilir. D karar vericilerin toplam sayısını ve  $S_{jd}$  d. uzmanın nispi önem derecesini ifade etmektedir.

$$S_j = \sum_{d=1}^D \frac{S_{jd}}{D} \quad (12)$$

3. Her bir kriterin  $K_j$  bağıl katsayı değeri Denklem 13 ile hesaplanmaktadır.

$$K_j = \begin{cases} j > 1 & 2 - S_j \\ j = 1 & 1 \end{cases} \quad (13)$$

4. Kriterlerin  $Q_j$  normalizasyon işlemine tabi tutulmamış ağırlık değerleri Denklem 14 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$Q_j = \begin{cases} j > 1 & Q_{j-1} / K_j \\ j = 1 & 1 \end{cases} \quad (14)$$

5. PIPRECIA yönteminin son adımında  $Q_j$  değerleri Denklem 15 ile normalize edilerek nihai ağırlık değerleri elde edilir.

$$W_j = \frac{Q_j}{\sum_{j=1}^n Q_j} \quad (15)$$

6. PIPRECIA yönteminden sonra Ters PIPRECIA yönteminin uygulama adımlarına geçilir. Yöntemde PIPRECIA yönteminden farklı olarak  $S'_j$  ters nispi önem derecesi hesaplanırken kriter listesi sondan başa doğru takip edilmektedir. Ayrıca  $K'_j$  ters bağıl katsayı değeri ve  $Q'_j$  ters ağırlık değerleri hesaplanma aşamalarında  $j'$  nin toplam kriter sayısından küçük ya da eşit olma durumu ele alınmaktadır. Yöntemin son adımında, PIPRECIA ve Ters PIPRECIA metodlarından hesaplanan ağırlıkların ortalaması alınır ve Denklem 16 ile birleştirilir.

$$W_j'' = \frac{(W_j + W'_j)}{2} \quad (16)$$

### 3.4. CENTROIDOUS Yöntemi

CENTROIDOUS yöntemi 2024 yılında Vinogradova - Zinkevič tarafından kriterlerin objektif olarak belirlenmesi amacıyla literatüre kazandırılmıştır. Yöntem kümeleme yaklaşımını baz almaktadır. Yöntem uygulama adımları aşağıda verilmiştir (Vinogradova-Zinkevič, 2024):

1.  $i$  kriterleri,  $j$  alternatifleri temsil etmek üzere normalizasyon işlemi Denklem 17’ye göre gerçekleştirilir. Normalizasyon işlemi yapılmış olan veri kümesi üzerinden ağırlık merkezi Denklem 18’e göre hesaplanır.

$$\tilde{a}_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^m a_{ij}} \quad (17)$$

$$c_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tilde{a}_{ij} \quad (18)$$

2. Her kriter ile grup merkezi arasındaki Öklid uzaklığını hesaplamak için Denklem 19 kullanılır.

$$d_i = \sqrt{\sum_{j=1}^m (\tilde{a}_{ij} - c_j)^2} \quad (19)$$

3. Yöntemin temel anlayışı, kriterlerin merkeze yaklaştıkça gruba ait ana nitelikleri daha iyi ifade etme özelliğinin artmasıdır. Bu durum matematiksel biçimde Denklem 20 ile gösterilir. Kriter ağırlıklarının hesaplanması için Denklem 21 uygulanır.

$$\tilde{d}_i = \frac{\min(d_i)}{d_i}, i = 1, \dots, n, \tilde{d}_i \in [0,1] \quad (20)$$

$$w_i = \frac{\tilde{d}_i}{\sum_{i=1}^n \tilde{d}_i} \quad (21)$$

### 3.5. SPC Yöntemi

SPC yöntemi kriterlerin objektif olarak belirlenmesi amacıyla literatüre 2023'te Gligorić, Gligorić, Miljanović, Lutovac ve Milutinović tarafından kazandırılmıştır. Yöntemde kriter ağırlıklarının hesaplanması için simetri noktasından faydalanılmaktadır. Yöntem uygulama adımları aşağıda verilmiştir (Gligorić, Gligorić, Miljanović, Lutovac ve Milutinović, 2023):

1.  $m$  alternatif sayısını,  $n$  kriter sayısını,  $C$  kriterleri ve  $A$  alternatifleri temsil etmek üzere Denklem 22'de verildiği gibi karar matrisi oluşturulmaktadır. Kriterlerin simetri noktaları Denklem 23 kullanılmaktadır.

$$DM = |x_{ij}|_{m \times n} = \begin{bmatrix} A/C & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ A_1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ A_2 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_m & x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (22)$$

$$SPC_j = \frac{\min\{x_{ij}\} + \max\{x_{ij}\}}{2}; i = 1, 2, \dots, m; \forall j \in [1, n] \quad (23)$$

2. Simetri noktaları bulunan kriterlerin mutlak mesafe matrisi oluşturulur.  $X_{i1}$  vektörünün içerisine simetri noktası eklendiğinde oluşan mutlak mesafe matrisi Denklem 24'te gösterildiği gibidir.

$$D = \|d_{ij}\|_{m \times n} = \begin{bmatrix} |x_{11} - SPC_1| & |x_{12} - SPC_2| & \dots & |x_{1n} - SPC_n| \\ |x_{21} - SPC_1| & |x_{22} - SPC_2| & \dots & |x_{2n} - SPC_n| \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ |x_{m1} - SPC_1| & |x_{m2} - SPC_2| & \dots & |x_{mn} - SPC_n| \end{bmatrix} \quad (24)$$

3.  $C_1$  kriterine yönelik mutlak mesafelerin  $D_{i1} = \{d_{11}, d_{21}, \dots, d_{i1}\}^T, \forall i \in [1, m]$  olmak üzere bir sütun vektörü olarak temsil edildiği varsayalım. Simetri modül matrisi ( $R$ ) Denklem 25'te gösterilmektedir.

$$R = |r_{ij}|_{m \times n} = \begin{bmatrix} \frac{\sum_{i=1}^m d_{i1}}{m/x_{11}} & \frac{\sum_{i=1}^m d_{i2}}{m/x_{12}} & \dots & \frac{\sum_{i=1}^m d_{in}}{m/x_{1n}} \\ \frac{\sum_{i=1}^m d_{i1}}{m/x_{21}} & \frac{\sum_{i=1}^m d_{i2}}{m/x_{22}} & \dots & \frac{\sum_{i=1}^m d_{in}}{m/x_{2n}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\sum_{i=1}^m d_{i1}}{m/x_{m1}} & \frac{\sum_{i=1}^m d_{i2}}{m/x_{m2}} & \dots & \frac{\sum_{i=1}^m d_{in}}{m/x_{mn}} \end{bmatrix} \quad (25)$$

4. Simetri modül matrisinin sütun ortalamaları alınarak satır vektörü ( $Q$ ) Denklem 26'dan objektif ağırlıkların bulunmasında ise Denklem 27'den faydalanılmaktadır.

$$Q = |q_{1j}|_{1 \times n} = \left[ \frac{\sum_{i=1}^m r_{i1}}{m} \quad \frac{\sum_{i=1}^m r_{i2}}{m} \quad \dots \quad \frac{\sum_{i=1}^m r_{in}}{m} \right]; \forall j \in [1, n] \quad (26)$$

$$W = |w_{1j}|_{1 \times n} = \left| \frac{q_1}{\sum_{j=1}^n q_j} \quad \frac{q_2}{\sum_{j=1}^n q_j} \quad \cdots \quad \frac{q_j}{\sum_{j=1}^n q_j} \right| \quad (27)$$

### 3.6. CEBM Yöntemi

CEBM yöntemi kriterlerin objektif olarak belirlenmesi amacıyla literatüre 2023 yılında Altıntaş tarafından kazandırılmıştır. Yöntem birçok alandaki problemlere çözüm üretme başarısına sahip kübik fonksiyonlardan faydalanmaktadır. Yöntem uygulama adımları aşağıda verilmiştir (Altıntaş, 2023):

1. Karar matrisi ( $D$ ) Denklem 28'e göre oluşturulmaktadır.  $d_{ij}$  terimi  $i$ . alternatifin  $j$ . kriter açısından değerini ifade eder. Normalize değerler  $d_{ij}^*$  ile ifade edilir. Fayda kriterleri için Denklem 29 ile ve maliyet kriterleri için Denklem 30 aracılığıyla hesaplanır.

$$D = [d_{ij}]_{n \times m} = \begin{bmatrix} C_1 & C_2 & \cdots & C_m \\ x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (28)$$

$$d_{ij}^+ = \frac{x_{ij} - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \quad (29)$$

$$d_{ij}^- = \frac{x_j^{\max} - x_{ij}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \quad (30)$$

2. Kriterler arası kübik fonksiyonlar ( $y = ax^3 + bx^2 + cx + d$ ) kriter sayısı  $m$  ile ilişkili olarak  $\left\{ 2 \cdot C(m, 2) = 2 \cdot \frac{m!}{2!(m-2)!} \right\}$  adet fonksiyon oluşturulmaktadır. Örnek fonksiyon Denklem 31'de gösterilmektedir.

$$(m) f(C_m) = C_1, f(C_m) = C_2, \dots \dots f(C_m) = C_{m-1} \quad (31)$$

3. Kriterler arası kübik etkileşim değerleri Denklem 32'de verilen belirli integral işlemiyle ölçülmektedir. Kriterin başka bir kriterde yarattığı kübik etki  $k$  ile ifade edilmektedir.

$$\left( \frac{m!}{(m-2)!} \right) f(C_m) = C_{m-1}, \int_{C_m^{\min}}^{C_m^{\max}} (f'(C_1)) dx = |k_{c_m \rightarrow c_{m-1}}| \quad (32)$$

4. Bir kriterin diğer kriterler üzerindeki toplam etkisini hesaplamak için kriter etkileri Denklem 33'te ve kriter ağırlıkları Denklem 34'te verildiği üzere hesaplanmaktadır.

$$(m) C_m |k_{c_m \rightarrow c_1}| + |k_{c_m \rightarrow c_2}| + |k_{c_m \rightarrow c_3}| \dots + |k_{c_m \rightarrow c_{m-1}}| = \left( \sum_{j=1}^{m-1} |k_{c_m \rightarrow c_j}| \right) = T_{C_m} \quad (33)$$

$$w_j = \frac{T_{c_j}}{\sum_{j=1}^m T_{c_j}} \quad (34)$$

### 3.7. COPELAND Yöntemi

Literatüre Saari ve Merlin tarafından 1996 yılında kazandırılan ve ÇKKV'de ki toplulaştırma yöntemlerinden biri olan COPELAND yöntemi farklı metotlardan elde edilen sıralama sonuçlarını birleştirerek nihai kriter sırası elde etmeyi hedefleyen bir toplulaştırma yöntemidir (Arslan ve Bircan, 2020; Biswas, Bandyopadhyay ve Mukhopadhyaya, 2022). Yöntemin literatürde insan kaynakları problemlerinde uygulaması mevcuttur (Amin ve Dwitayanti, 2023). Yöntem adımları aşağıda verilmiştir (Çakır, 2017; Geyik, Satman ve Kalyoncu, 2022; Kılıçarslan, 2023; Saari ve Merlin, 1996; Yarılkış ve Arslaner, 2019):

1. Alternatiflerin ikili olarak karşılaştırılması  $f_k(i, j)$  Denklem 35 kullanılarak yapılır.

$$f_k(i, j) = \begin{cases} 1 & r_k(A_i) < r_k(A_j) \quad \text{ve } i \neq j \\ 0 & r_k(A_i) > r_k(A_j) \quad \text{ve } i \neq j \\ -1 & r_k(A_i) = r_k(A_j) \quad \text{veya } i = j \end{cases} \quad (35)$$

2. Satırlardaki seçenекlerin sütunlardaki seçeneğe yönelik aldığı  $S(i, j)$  oylarının toplamı Denklem 36'da ve  $G(i, j)$  galibiyet değerleri ise Denklem 37'de hesaplanmaktadır.

$$S(i, j) = \sum_{k=1}^m f_k(i, j) \quad \text{ve } i \neq j \quad (36)$$

$$G(i, j) = \begin{cases} 1 & S(i, j) > (m - S(i, j)) \quad i \neq j \\ \frac{1}{2} & S(i, j) = (m - S(i, j)) \quad i \neq j \\ -1 & S(i, j) < (m - S(i, j)) \quad i \neq j \end{cases} \quad (37)$$

3. Hesaplanan  $G(i, j)$  değerinin grup bazlı toplamı sonucunda pozitif değerlerin toplamı Denklem 38'de verilen galibiyet skorunu ( $GP_i$ ) ve Denklem 39'da verilen negatif değerlerin toplamı Yenilgi skorunu ( $YP_i$ ) verir. Galibiyet ve yenilgi skorları toplanarak Denklem 40'da verildiği üzere Copeland puanı ( $CP_i$ ) hesaplanır.

$$GP_i = \sum_{i=1}^n G(i, j) \quad G(i, j) > 0 \quad (38)$$

$$YP_i = \sum_{i=1}^n G(i, j) \quad G(i, j) < 0 \quad (39)$$

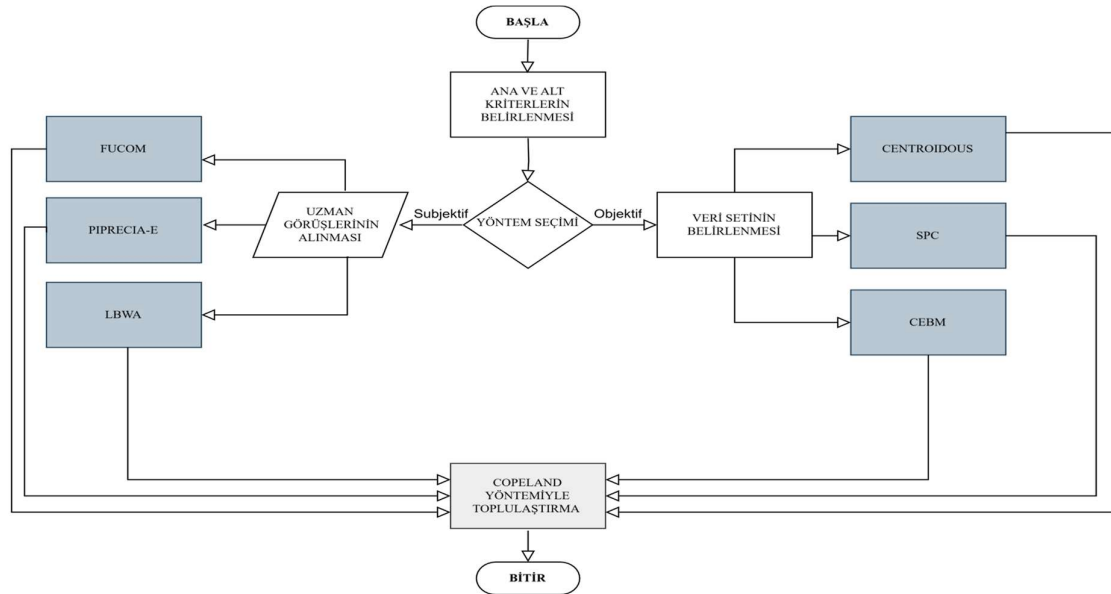
$$CP_i = GP_i + YP_i \quad (40)$$

#### 4. Uygulama

Bağımsız değerlendirici atama kriterlerini belirlemek amacıyla yurt dışında bulunan KOSGEB benzeri kurumlardaki değerlendirici kriterleri, profile göre atama yapılması halinde dikkate alınan kriterler, literatürde bulunan bağımsız değerlendirici, uzman ve panelist atama kriterleri incelenmiştir. İnceleme sonucunda yayın, üyelik, ödül, uzmanlık, tecrübe, çıkar çatışması, panellere yönelik bilgiler, kuruma yönelik bilgiler, akademik bilgiler, kişilik özellikleri, demografik özellikler, çalışma yoğunluğu, yabancı dil, kariyer – iş hayatı bilgisi, profesyonel ağ ve sosyal etkileşim olmak üzere 15 kriter belirlenmiştir. Bağımsız değerlendirici seçim süreci için belirlenen kriterler adayların niteliklerini farklı yönlerden yansıtmayı amaçlamaktadır.

Uzmanlık kriteri; literatürde kişinin hakemlik ve makale değerlendirme süreçlerindeki geri dönüş ve yetkinliği (Latypova, 2023b) ve kişinin kendi uzmanlık alanında teknik bilgi sağlaması (Asya Kalkınma Bankası, 2024; İngiltere Araştırma ve İnovasyon Kurumu, 2024), kişinin hazırladığı uzmanlık metinlerinin olması (Leyton-Brown ve diğ., 2024; İngiltere Araştırma ve İnovasyon Kurumu, 2024), uzmanlık bilgi düzeyi (Guillén-Mena, Quesada-Molina, Astudillo-Cordero, Lema ve Ortiz-Fernández, 2023; Leyton-Brown ve diğ., 2024; Patil ve Mahalle, 2021; İngiltere Araştırma ve İnovasyon Kurumu, 2024) ve hakemlikte yetkinlik (İngiltere Araştırma ve İnovasyon Kurumu, 2024) ile ilişkilidir. Bu kriter kişinin yayın bilgileri ve tecrübe geçmişinden bağımsız olarak adayın yetkinliğini ifade etmektedir. Bu çalışmada uzmanlık kriteri adayın uzmanlık / disiplin alanı bilgisi, anahtar kelime bilgisi, anahtar kelimelerin girişimcilik kavramıyla uyuma skoru ve uzmanlık metninin olması gibi bilgiler üzerinden ifade edilmiştir. Akademik Bilgiler; adayların bilimsel çalışmalara olan katkıları ve yayınlarının aldığı atıflar (Ishag ve diğ., 2019), eğitim düzeyi (Asya Kalkınma Bankası, 2024; Guillén-Mena ve diğ., 2023) ve h indeks değeri (Nguyen ve diğ., 2018; Yue, Tian ve Ma, 2017) konularını kapsamaktadır. Tecrübe kriteri; adayın farklı ülkelerde edindiği mesleki deneyimleri (Asya Kalkınma Bankası, 2024), başvuru kuruma ait son 2 yıldaki panel katılım geçmişi (İngiltere Araştırma ve İnovasyon Kurumu, 2024), geçmiş iş tecrübeleri (Leyton-Brown ve diğ., 2024; İngiltere Araştırma ve İnovasyon Kurumu, 2024; İrlanda Araştırma Konseyi, 2024) ve kıdem bilgisi (Janprasert, Lawthong ve Ngudgratoke, 2020) faktörlerine dayanmaktadır. Yayın kriteri; kişinin bilimsel yayını olması (Liu, Wang ve Zhu, 2022), yayınlanan kitap / kitap bölümleri, bildiri sayıları, makale sayıları, yapılan poster sunumları (Koçak ve diğ., 2021; Latypova, 2023b) gibi akademik verimliliği ölçen bilgileri içermektedir. Kişilik Özellikleri etik normları göz önünde bulundurma, organizasyon becerisine sahip olma, güncel konular hakkında bilgi sahibi olmak, projenin katkılarını analiz edebilme (Esmer ve Özdaşlı, 2023; İngiltere Araştırma ve İnovasyon Kurumu, 2024), etkin iletişim ve nitel-nicel analiz yeteneği (İngiltere Araştırma ve İnovasyon Kurumu, 2024) gibi nitelikleri kapsamaktadır. Demografik Özellikler yaş, cinsiyet (Djekic, Lorenzo, Munekata, Gagoua ve Tomasevic, 2021; Patil ve Mahalle, 2021) ve kültürel denge (İngiltere Araştırma ve İnovasyon Kurumu, 2024;

Leyton-Brown ve diğ., 2024) faktörlerini kapsamaktadır. Yabancı Dil kriteri kişilerin dil bilgisi düzeyi ve yeterliliğini (Asya Kalkınma Bankası, 2024; İngiltere Araştırma ve İnovasyon Kurumu, 2024) ifade etmektedir. Çalışma yoğunluğu ve kariyer / iş hayatı bilgisi kriterleri kişinin mesleki pozisyonu (Guillén-Mena ve diğ., 2023) ve iş yükü (Leyton-Brown ve diğ., 2024) ile ilişkilidir. Kuruma yönelik bilgiler kriteri kişinin ilgili kurumun işleyişi ve kurum politikalarına hakim olmayı ifade ederken, panellere yönelik bilgiler kişinin konuya yönelik farkındalığı ve destek programının ilkelerine hassasiyet gösterilmesini (İngiltere Araştırma ve İnovasyon Kurumu, 2024) ifade etmektedir. Çıkar Çatışması kriteri; desteğe başvuru yapan taraf ile destek başvurusunu değerlendirecek kişi arasında daha önce ortak yazarlı bir akademik çalışma olmaması (Cagliero, Garza, Pasini ve Baralis, 2018; Leyton-Brown ve diğ., 2024) ve tarafların arasında daha önce yapılmış bir akademik ya da mesleki girişim ve ortaklıkların olmaması unsurlarına dayanmaktadır [47,48,52,56] (Asya Kalkınma Bankası, 2024; Esmer ve Özdaşlı, 2023; İngiltere Araştırma ve İnovasyon Kurumu, 2024; İrlanda Araştırma Konseyi, 2024). Ödül kriteri kişinin yetkinliğinin bir göstergesi olarak bilimsel alanda alınan ödülleri (Koçak ve diğ., 2021) ifade etmektedir. Üyelik ve Profesyonel Ağ ve Sosyal Etkileşim gibi sosyal kriterler kişinin mesleki dernek ve organizasyonlara ait üyelikleri (Asya Kalkınma Bankası, 2024; İngiltere Araştırma ve İnovasyon Kurumu, 2024) ve profesyonel çevredeki etkileşim düzeyi (Yue ve diğ., 2017) ifade etmektedir. Belirlenen kriterler öncelikle uzman değerlendirmelerini temel alarak subjektif yöntemlerle daha sonra objektif yöntemler aracılığıyla ağırlıklandırılmış ve subjektif - objektif sonuçlar COPELAND yöntemiyle birleştirilerek nihai sıralama sonuçları elde edilmiştir. Çalışmaya ait akış diyagramı Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Çalışma adımları (Yazarlar tarafından oluşturulmuştur.)

#### 4.1. Veri Toplama Süreci

Subjektif yöntemler için KOSGEB Ankara Sincan Müdürlüğü'nde görev yapan 1 kobi uzmanı ve KOSGEB Tokat Müdürlüğü'nde görev yapan 2 kobi uzmanı ile görüşmeler gerçekleştirilmiş ve gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Tokat'ta görev yapan uzmanların kurumdaki deneyimleri 5-8 yıl aralığındayken, Ankara'da görev yapan uzman 25 yıldır kurumda çalışmaktadır. Subjektif yöntemlerle çözüm adımı kobi uzmanlarına ait tecrübe sürelerindeki farklılık ve kobi uzman sayısının nispeten kısıtlı olması belirli ölçüde nesnellikten sapma potansiyeli taşısa da, görüşülen kobi uzmanlarının kurumda aynı unvanla çalışmaları, görev ve yetki çerçevelerinin aynı olması, kuruma ait girişimcilik destek programlarında aktif rol almaları ve sürece vakıf olmalarından dolayı bu çalışmada tüm kobi uzmanlarının geri bildirimleri eşit önem düzeyinde ele alınmıştır. Subjektif ağırlıkların belirlenmesi uzmanların gönüllü katılımıyla gerçekleştirilmiş, kişisel verilerin korunmasına uygun olarak görüşlerini bildirmişlerdir. Bu çalışmanın amacı, ÇKKV yöntemlerini kullanarak KOSGEB girişimcilik desteğinde bağımsız değerlendirici atama kriterlerinin belirlenmesidir. Çalışma kapsamında objektif yöntemler için kullanılan veriler 6.09.2024 tarihli Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi UNIS sisteminde bulunan 85 Mühendislik dalları akademisyenlerine ait kamuya açık verilerden elde edilmiştir. Elde edilen kayıtlarda bulunan anabilim dalı ve bölüm bilgisi, anahtar kelime bilgileri, mezuniyet ve unvan dereceleri, kitap-kitap bölümü-makale-bildiri-poster vb. yayın bilgileri, faydalı model ve patent bilgileri, akademik ve idari görev bilgileri, atf sayısı, H-index skoru ve hakemlik bilgileri gibi akademik özgeçmiş verileri doğrudan değerlendirmeye alınmıştır. Bu bilgilerin

yanı sıra, mevcut akademik özgeçmiş verilerde bulunan ödül, proje, akademi ve idari görevler vb. bilgilerde kullanılarak kural tabanlı ve yapay zekâ destekli bir metin işleme yaklaşımı benimsenmiştir. Başlangıçta girişimcilik konusuna karşılık gelen konu etiketleri ve anahtar kelimeler tespit edilmiştir. Daha sonra bu kurallar adayların akademik bilgilerine uygulanarak girişimcilik kavramını konu edinen farklı metin tabanlı kavramsal ölçütler sayısal olarak ifade edilmiştir. Bu ölçütler arasında, kişilerin girişimcilik konusuyla ilişkili yayın sayıları, anahtar kelimelerin girişimcilik kavramıyla uyuşma skoru ve kişinin yayın başlık ve özet bilgilerinin girişimcilik konusu ile benzerliği gibi göstergeler bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında faydalanılan metin tabanlı kavramsal ölçütler, çalışmada ele alınan 15 kriterin değerlerinin tutarlı ve objektif biçimde oluşturulmasında destekleyici olarak görev almış, objektif ağırlık belirleme yöntemlerinde ayrı kriterler olarak eklenmemiştir. Bu süreçte, gerçek dışı veri üretimi yapılmamış, veri setindeki adayların akademik özgeçmişlerinde yer alan bilgilerin sayısal olarak ifade edilmesi hedeflenmiştir.

Veri seti, belirli bir üniversite ve fakültede akademisyen olarak görev yapan kişilerden oluşması nedeniyle sınırlı bir örneklem niteliğindedir ve ülkemizdeki potansiyel bağımsız değerlendirici havuzunun tamamını yansıtmamaktadır. Objektif yöntemlerde, veri setinde bazı kriterlere ait bilgilere ulaşılamaması, tüm adayların aynı kurumdan olması ve değerlendirmelerin yalnızca akademisyenler üzerinden yapılması gibi nedenlerle “Çıkar Çatışması”, “Kurumlara Yönelik Bilgiler” ve “Demografik Özellikler” kriterlerinin objektif ağırlık bulma sürecine dahil edilmesinin kriter ağırlıklarının ve sıralama sonuçlarının yanlı olarak etkileyeceği öngörülmüştür. Bu kriterlerin değerlerinin “0” olarak kabul edilmesinin sonuç üzerinde yanlı bir etki yaratmasını engellemek amacıyla, bu kriterler analiz dışında bırakılmıştır. Bu sebeple, hem objektif yöntemlerle çözüm, hem de COPELAND yöntemiyle sonuç birleştirme adımlarında söz konusu kriterler dahil edilmeden toplulaştırma işlemi yapılmıştır. Kriterlerde geçen “kurum” terimi “KOSGEB” ve çalışmanın KOSGEB Girişimcilik Destekleri temel alınması nedeniyle konu, proje veya panel konusu ifadeleri “Girişimcilik” olarak değerlendirilmiştir. Objektif yöntemlerde kullanılmış olan karar matrisi Ek 1’de verilmiştir.

## 4.2. Subjektif Yöntemlerle Çözüm

Uzmanlar FUCOM yönteminde kriterleri öncelikle kendi içlerinde önem derecelerine göre sıralamış, daha sonra karşılaştırmalı öncelik değerlerini belirlemişlerdir. Sıralama sonuçları ve karşılaştırmalı öncelik değerleri Tablo 1’de verilmiştir. İşlemler sonucunda oluşan matematiksel modeller Excel Solver aracılığıyla çözülmüştür.

**Tablo 1.** Uzmanlara ait sıralama ve öncelik değerleri

1. UZMAN		2. UZMAN		3. UZMAN	
<i>Kriter Sıralaması ve Öncelik Değerleri</i>		<i>Kriter Sıralaması ve Öncelik Değerleri</i>		<i>Kriter Sıralaması ve Öncelik Değerleri</i>	
Uzmanlık	1	Akademik Bilgiler	1	Panellere Yönelik Bilgiler	1
Tecrübe	1	Uzmanlık	1	Kurumlara Yönelik Bilgiler	5
Çıkar Çatışması	2	Kariyer – İş Hayatı Bilgisi	1,5	Akademik Bilgiler	2
Akademik Bilgiler	2	Çalışma Yoğunluğu	2,5	Çalışma Yoğunluğu	1
Kurumlara Yönelik Bilgiler	3	Tecrübe	2,5	Uzmanlık	2
Panellere Yönelik Bilgiler	4	Kurumlara Yönelik Bilgiler	2,5	Kişilik Özellikleri	3
Kariyer – İş Hayatı Bilgisi	4	Çıkar Çatışması	2	Tecrübe	2
Çalışma Yoğunluğu	5	Panellere Yönelik Bilgiler	3	Kariyer - İş Hayatı Bilgisi	4
Profesyonel Ağ ve Sosyal Etkileşim	5	Yayın	3	Çıkar Çatışması	1
Yayın	7	Profesyonel Ağ ve Sosyal Etkileşim	3	Yayın	5
Ödül	7	Ödül	4	Üyelik	5
Yabancı Dil	7	Üyelik	4,5	Ödül	5
Üyelik	9	Yabancı Dil	4,5	Profesyonel Ağ ve Sosyal Etkileşim	5
Demografik Özellikler	9	Kişilik Özellikleri	2,5	Demografik Özellikler	8
Kişilik Özellikleri	9	Demografik Özellikler	4,5	Yabancı Dil	9

Her uzman için çözülmüş olan matematiksel model sonuçlarında ilgili uzmana ait ağırlık değerleri belirlenmiştir. Elde edilen ağırlık değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak, uzman görüşlerinin birleşik bir değerlendirmesi sonucunda ortak ağırlık değerleri elde edilir. Uzmanlara ait ağırlık değerleri ve nihai ağırlık sonuçları Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2.** FUCOM yöntemi uzmanlara ait ağırlıklar ve nihai ağırlık değerleri

Kriter İsimleri	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>T</sub>
Yayın	0,03	0,05	0,03	0,04
Üyelik	0,02	0,03	0,03	0,03
Ödül	0,03	0,04	0,03	0,03
Uzmanlık	0,20	0,15	0,08	0,14
Tecrübe	0,20	0,06	0,08	0,11
Çıkar Çatışması	0,10	0,07	0,16	0,11
Panellere Yönelik Bilgiler	0,05	0,05	0,16	0,09
Kurumlara Yönelik Bilgiler	0,07	0,06	0,03	0,05
Akademik Bilgiler	0,10	0,15	0,08	0,11
Kişilik Özellikleri	0,02	0,06	0,05	0,04
Demografik Özellikler	0,02	0,03	0,02	0,03
Çalışma Yoğunluğu	0,04	0,06	0,16	0,09
Yabancı Dil	0,03	0,03	0,02	0,03
Kariyer - İş Hayatı Bilgisi	0,05	0,10	0,04	0,06
Profesyonel Ağ ve Sosyal Etkileşim	0,04	0,05	0,03	0,04

FUCOM yöntemi ile yapılan kriter ağırlıklandırması sonucunda, “Uzmanlık” kriterinin en yüksek ağırlığa sahip olduğu belirlenmiştir. Bunu sırasıyla “Tecrübe” ve “Çıkar Çatışması” kriterleri takip etmektedir. Bu sonuçlar, bağımsız değerlendirici atama sürecinde uzmanlık ve tecrübenin uzmanlara göre öncelikli kriterler olduğunu göstermektedir. LBWA yönteminde ise uzmanlar, öncelikle kriterleri önem derecelerine göre gruplandırmış ve en önemli kriter ya da kriterleri birinci grup olarak belirlemişlerdir. Daha sonra, her grup kendi içinde önem derecesine göre sıralanmıştır. Yapılan bu gruplandırma ve sıralamalar sonucunda her kriter için ayrı ayrı etki fonksiyonu değerleri hesaplanmıştır. Etki değerlerine bağlı olarak önce en önemli kriterin, ardından diğer kriterlerin ağırlıkları belirlenmiştir. Elde edilen ağırlık değerleri Tablo 3’te sunulmaktadır.

**Tablo 3.** LBWA yöntemi uzmanlara ait ağırlıklar ve nihai ağırlık değerleri

Kriter İsimleri	1. UZMAN				2. UZMAN				3. UZMAN				W <sub>T</sub>
	Seviye	Grup içi Değer	f (C)	W <sub>1</sub>	Seviye	Grup içi Değer	f (C)	W <sub>2</sub>	Seviye	Grup içi Değer	f (C)	W <sub>3</sub>	
Yayın	4	0	0,25	0,04	4	0	0,25	0,04	3	1	0,32	0,05	0,04
Üyelik	4	2	0,23	0,03	4	2	0,23	0,04	3	2	0,31	0,04	0,04
Ödül	4	1	0,24	0,04	4	1	0,24	0,04	3	3	0,30	0,04	0,04
Uzmanlık	1	0	1,00	0,15	1	0	1,00	0,15	1	2	0,80	0,12	0,14
Tecrübe	1	2	0,75	0,11	2	1	0,45	0,07	2	1	0,47	0,07	0,08
Çıkar Çatışması	1	1	0,86	0,13	1	2	0,71	0,11	3	5	0,28	0,04	0,09
Panellere Yönelik Bilgiler	3	1	0,32	0,05	2	2	0,42	0,06	1	0	1,00	0,15	0,09
Kurumlara Yönelik Bilgiler	1	4	0,60	0,09	2	3	0,38	0,06	2	2	0,44	0,06	0,07
Akademik Bilgiler	1	3	0,67	0,10	1	1	0,83	0,13	1	1	0,89	0,13	0,12
Kişilik Özellikleri	5	2	0,19	0,03	3	1	0,31	0,05	2	3	0,42	0,06	0,05
Demografik Özellikler	5	1	0,19	0,03	3	2	0,29	0,05	3	4	0,29	0,04	0,04
Çalışma Yoğunluğu	3	0	0,33	0,05	2	0	0,50	0,08	2	0	0,50	0,07	0,07
Yabancı Dil	5	0	0,20	0,03	4	3	0,22	0,03	4	0	0,25	0,04	0,03
Kariyer - İş Hayatı Bilgisi	2	0	0,50	0,07	3	0	0,33	0,05	3	0	0,33	0,05	0,06
Profesyonel Ağ ve Sosyal Etkileşim	2	1	0,46	0,07	3	3	0,28	0,04	3	6	0,27	0,04	0,05

LBWA yöntemi ile yapılan kriter ağırlıklandırması sürecinde, en yüksek ağırlık değerine sahip kriter “Uzmanlık” kriteridir. Bunu sırasıyla “Akademik Bilgiler” ve “Çıkar Çatışması” kriterleri takip etmektedir. Bu sonuçlar, bağımsız değerlendirici atama sürecinde uzmanlık ve akademik bilgilerin uzmanlara göre belirleyici faktörler olduğunu ortaya koymaktadır. PIPRECIA – E yönteminde ise kriter ağırlıklarını belirlerken iki yönlü bir değerlendirme sürecinden faydalanmaktadır. Uzmanlar öncelikle PIPRECIA metodu için daha sonra Ters PIPRECIA metodu için kriter önemlerinin ikili olarak karşılaştırılmasını yapmışlardır. Uzmanlara ait ikili değerlendirmeler her iki yöntem için de Tablo 4’te sunulmuştur.

**Tablo 4.** PIPRECIA - E yöntemi uzmanlara ait göreceli ve ters göreceli önem değerleri

Kriter İsimleri	1. UZMAN		2. UZMAN		3. UZMAN	
	Göreceli Değerler	Ters Göreceli Değerler	Göreceli Değerler	Ters Göreceli Değerler	Göreceli Değerler	Ters Göreceli Değerler
Panellere Yönelik Bilgiler		1,00		1,00		1,00
Çalışma Yoğunluğu	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Kurumlara Yönelik Bilgiler	1,00	0,10	1,00	0,10	1,00	0,70
Akademik Bilgiler	1,90	1,50	1,90	1,20	0,70	1,20
Tecrübe	0,10	1,00	0,20	0,10	0,90	1,30
Çıkar Çatışması	0,20	1,90	1,50	1,80	1,60	0,70
Kariyer – İş Hayatı Bilgisi	0,10	1,00	0,10	1,00	0,70	1,40
Üyelik	1,80	1,90	1,00	0,50	0,80	1,40
Profesyonel Ağ ve Sosyal Etkileşim	0,90	1,90	1,80	1,80	1,60	1,40
Kişilik Özellikleri	0,10	1,00	0,50	1,00	0,90	1,60
Demografik Özellikler	1,00	0,10	0,80	0,30	0,60	0,10
Ödül	1,70	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90
Yabancı Dil	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,60
Yayın	1,90	0,90	1,90	1,10	1,80	1,20
Uzmanlık	1,90		1,20		1,50	

PIPRECIA ve Ters PIPRECIA yöntemleri için yapılan uzman değerlendirmelerinin ortalamaları alınarak sonuçlar birleştirilmiştir. Ortalaması alınan göreceli önem ve ters göreceli önem değerleri sırasıyla PIPRECIA ve Ters PIPRECIA yöntemlerinin girdilerini oluşturmaktadır. Yöntemin uygulanması kapsamında, her kriter için bağıl katsayı değerleri, normalizasyon işlemi yapılmamış ağırlık değerleri hesaplanmış ve normalizasyon işlemi yapılarak kriterlerin PIPRECIA yöntemi için nihai ağırlık değerleri ( $W_j$ ) bulunmuştur. Ters PIPRECIA yöntemi için her kriterin ters bağıl katsayı değerleri, normalizasyon işlemi yapılmamış ters ağırlık değerleri hesaplanmış ve normalizasyon işlemi yapılarak kriterlerin için nihai ters ağırlık değerleri ( $W_j$ ) bulunmuştur. PIPRECIA ve Ters PIPRECIA metodlarının sonuçlarının ortalaması alınarak ağırlık değerleri birleştirilmiş ve PIPRECIA – E yöntemi için ağırlıklar ( $W_j$ ) hesaplanmıştır. PIPRECIA – E yöntemi için ağırlıklar Tablo 5’te verilmiştir.

**Tablo 5.** PIPRECIA - E yöntemi hesaplamaları ve kriter ağırlık değerleri

Kriter İsimleri	j	$K_j$	$Q_j$	$W_j$	$K_j'$	$Q_j'$	$W_j'$	$W_j''$
Panellere Yönelik Bilgiler	1,00	1,00	1,00	0,01	1,00	29,02	0,10	0,06
Çalışma Yoğunluğu	2,00	1,00	1,00	0,01	1,00	29,02	0,10	0,06
Kurumlara Yönelik Bilgiler	3,00	1,00	1,00	0,01	1,7	29,02	0,10	0,06
Akademik Bilgiler	4,00	0,50	2,00	0,02	0,7	49,34	0,17	0,10
Tecrübe	5,00	1,60	1,25	0,01	1,2	34,54	0,12	0,07
Çıkar Çatışması	6,00	0,90	1,39	0,01	0,53	41,45	0,15	0,08
Kariyer - İş Hayatı Bilgisi	7,00	1,70	0,82	0,01	0,87	22,10	0,08	0,04
Üyelik	8,00	0,80	1,02	0,01	0,73	19,16	0,07	0,04
Profesyonel Ağ ve Sosyal Etkileşim	9,00	0,57	1,80	0,02	0,30	14,05	0,05	0,03
Kişilik Özellikleri	10,00	1,50	1,20	0,01	0,80	4,21	0,01	0,01
Demografik Özellikler	11,00	1,20	1,00	0,01	1,83	3,37	0,01	0,01
Ödül	12,00	0,17	6,01	0,06	0,10	6,18	0,02	0,04
Yabancı Dil	13,00	1,90	3,16	0,03	1,73	0,62	0,00	0,02
Yayın	14,00	0,13	23,71	0,24	0,93	1,07	0,00	0,12
Uzmanlık	15,00	0,47	50,81	0,52	1,00	1,00	0,00	0,26

PIPRECIA - E yöntemi ile yapılan kriter ağırlıklarının belirlenmesi sonucunda en yüksek ağırlık değerine sahip kriter “Uzmanlık” olup, sonuçlar bu kriterin bağımsız değerlendirici atama sürecinde en belirleyici faktörlerden biri olduğunu ortaya koymaktadır. Bunu sırasıyla “Yayın” ve “Akademik Bilgiler” kriterleri takip etmektedir. Bu sonuçlar, bağımsız değerlendiricilerin seçiminde kişinin yetkinliği ve yayın bilgilerinin kritik öneme sahip olduğunu göstermektedir.

Subjektif yöntemlerden ulaşılan kriter sıralama sonuçları incelendiğinde, “Uzmanlık” kriterinin tüm yöntemlerde ilk sırada yer aldığı ve tüm kobi uzmanları tarafından öncelikli olarak ele alındığı tespit edilmiştir. Diğer kriterlerin sıralamaları incelendiğinde yöntemlere bağlı hesaplamalardan kaynaklanan kısmi farklılıklar gözlenmiş, subjektif yöntemlerle çözüm sonuçları ayrı ayrı değerlendirilmiş ve tüm kobi uzmanlarına eşit ağırlık verilmiştir.

### 4.3. Objektif Yöntemlerle Çözüm

CENTROIDOUS yöntemi kullanılarak karar matrisinde bulunan verilerin normalizasyon işlemi yapılmıştır ve kriter gruplarının merkez vektörleri ( $c_j$ ) belirlenmiştir. Elde edilen normalize ve  $c_j$  değerleri Ek 2’de verilmiştir. Kriterlerin merkeze yakınlık derecesinin ana nitelikleri ifade etme göstergesi olması nedeniyle her bir kriter ile ilgili grup merkezlerine olan mesafe değerleri ölçülmüştür. Mesafeler baz alınarak ağırlıklar hesaplanmıştır. Hesaplama sonuçları Tablo 6’da verilmiştir.

**Tablo 6.** CENTROIDOUS yöntemi hesaplamaları ve kriter ağırlık değerleri

Kriter İsimleri	$d_i$ Uzaklığı	$\bar{d}_i$	$W_i$
Yayın	0,05	0,95	0,11
Üyelik	0,30	0,17	0,02
Ödül	0,27	0,18	0,02
Uzmanlık	0,05	0,94	0,11
Tecrübe	0,05	1,00	0,12
Panellere Yönelik Bilgiler	0,06	0,89	0,11
Akademik Bilgiler	0,07	0,74	0,09
Kişilik Özellikleri	0,05	0,95	0,11
Çalışma Yoğunluğu	0,05	0,98	0,12
Yabancı Dil	0,09	0,54	0,06
Kariyer - İş Hayatı Bilgisi	0,12	0,41	0,05
Profesyonel Ağ ve Sosyal Etkileşim	0,08	0,61	0,07

CENTROIDOUS yöntemi ile yapılan kriter ağırlıklarının belirlenmesi sonucunda en yüksek ağırlık değerine sahip kriter “Tecrübe” olup, sonuçlar bu kriterin bağımsız değerlendirici atama sürecinde en belirleyici faktörlerden biri olduğunu ortaya koymaktadır. Bunu sırasıyla “Çalışma Yoğunluğu” ve “Yayın” kriterleri takip etmektedir. Bu sonuçlar, bağımsız değerlendiricilerin iş yükü ve deneyim bilgilerinin kritik öneme sahip olduğunu göstermektedir. SPC yöntemi kapsamında kriterlerin karar matrisindeki değerlerinden simetri noktaları hesaplanır. Simetri noktaları kullanılarak hesaplanan mutlak mesafe matrisi Ek 3’te verilmiştir. Bu matrisin elde edilen değerler aracılığıyla simetri modül matrisi hesaplanmış ve Ek 4’te verilmiştir. Elde edilen simetri modül matrisi esas alınarak kriter ağırlıkları hesaplanmış olup, değerler Tablo 7 de verilmiştir.

**Tablo 7.** SPC yöntemi kriter ağırlık değerleri

Kriter İsimleri	$W_i$	Kriter İsimleri	$W_i$
Yayın	0,12	Akademik Bilgiler	0,19
Üyelik	0,01	Kişilik Özellikleri	0,09
Ödül	0,01	Çalışma Yoğunluğu	0,05
Uzmanlık	0,29	Yabancı Dil	0,00
Tecrübe	0,04	Kariyer - İş Hayatı Bilgisi	0,04
Panellere Yönelik Bilgiler	0,05	Profesyonel Ağ ve Sosyal Etkileşim	0,10

SPC yöntemi ile gerçekleştirilen kriter ağırlıklarının belirlenmesi sürecinde en yüksek ağırlık değerine sahip kriter “Uzmanlık” olup, sonuçlar bu kriterin bağımsız değerlendirici atama sürecinde en belirleyici faktörlerden biri

olduğunu ortaya koymaktadır. Bunu sırasıyla “Akademik Bilgiler” ve “Yayın” kriterleri takip etmektedir. Bu sonuçlar, bağımsız değerlendiricilerin seçiminde akademik geçmiş ve kişi yetkinliğinin kritik öneme sahip olduğunu göstermektedir. CEBM yöntemi için karar matrisinde yer alan kriterlerin hepsi fayda temellidir. Bu doğrultuda Normalizasyon işlemi yapılmış olup, normalize değerler Ek 5’te verilmiştir. Kriterler arasındaki ilişkileri inceleyebilmek amacıyla  $2 \cdot \frac{12!}{2!(12-2)!}$  adet kübik fonksiyon oluşturulmuştur. Kübik fonksiyonlar SPSS paket programı içerisinde bulunan “Eğri Tahmini” modülü aracılığıyla oluşturulmuştur. Oluşturulan kübik fonksiyonların türevleri alınarak 1 ile 0 arasında integral hesaplamaları yapılmıştır. İntegral sonucunun mutlak değeri alınarak mutlak etki değerleri belirlenmiştir. Kriterlerin birbirleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi için hesaplama adımları ve sonuçlar Ek 6’da verilmiştir. Hesaplanan etkileşim değerleri doğrultusunda kriter ağırlıkları belirlenmiş olup, Tablo 8’de verilmiştir.

**Tablo 8.** CEBM yöntemi kriter ağırlık değerleri

Kriter İsimleri	W <sub>i</sub>
Yayın	0,11
Üyelik	0,01
Ödül	0,04
Uzmanlık	0,11
Tecrübe	0,11
Panellere Yönelik Bilgiler	0,10
Akademik Bilgiler	0,11
Kişilik Özellikleri	0,11
Çalışma Yoğunluğu	0,10
Yabancı Dil	0,03
Kariyer - İş Hayatı Bilgisi	0,05
Profesyonel Ağ ve Sosyal Etkileşim	0,11

CEBM yöntemi ile gerçekleştirilen kriter ağırlıklarının belirlenmesi sürecinde “Akademik Bilgiler”, “Uzmanlık”, “Profesyonel Ağ ve Sosyal Etkileşim”, “Kişilik Özellikleri”, “Yayın” ve “Tecrübe” kriterlerinin diğer kriterlere kıyasla daha belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır. Bu sonuçlar, bağımsız değerlendiricilerin seçiminde akademik bilgilerin, yetkinliğin, mesleki bağlantıların, etik normlara bağlılık gibi kişilik özelliklerinin, deneyimin ve yayın bilgilerinin kritik öneme sahip olduğunu göstermektedir.

Objektif yöntemlerden ulaşılan kriter sıralama sonuçları incelendiğinde, CENTROIDOUS yöntemi ile “Tecrübe”, SPC yöntemi ile “Uzmanlık” ve CEBM yöntemi ile “Akademik Bilgiler”, “Uzmanlık”, “Profesyonel Ağ ve Sosyal Etkileşim”, “Kişilik Özellikleri”, “Yayın” ve “Tecrübe” kriterlerinin öne çıktığı tespit edilmiştir. Diğer kriterlerin sıralamaları incelendiğinde yöntemlere bağlı hesaplamalardan kaynaklanan kısmi farklılıklar gözlenmiş ve çözüm sonuçları ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

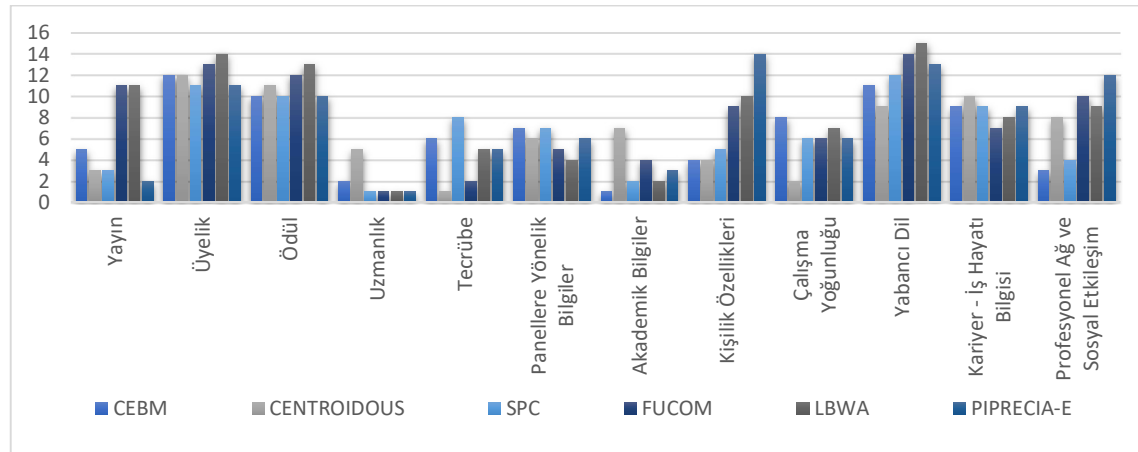
#### 4.4. Topulaştırma Tekniğinin Uygulanması

COPELAND yöntemi için çalışma kapsamında farklı metotlardan elde edilen ağırlık değerlerinin birleştirilmesi amacıyla öncelikle objektif ve subjektif yöntemlerle belirlenen kriter ağırlıklarının yöntem içerisindeki sıraları belirlenmiştir. Bütün yöntemlerden elde edilen kriterlere ait ağırlık değerleri yöntemlerin kendi içerisinde sıralanmıştır. Yöntem ağırlık sıralamaları arasında ikili olarak karşılaştırma yapılmıştır. Alternatiflerin birbirleri üzerindeki üstünlük değerleri Ek 7’de verilmiştir. Kriterlerin üstünlük değerleri üzerinden hesaplanan, her kriterin diğer kriterlere göre yöntemler bazındaki oylarının toplamı Ek 8’de verilmiştir. Kriterlerin oy toplamı aracılığıyla hesaplanan galibiyet dereceleri Ek 9’da verilmiştir. Kriterlerin galibiyet dereceleri sonucunda pozitif ve negatif değerler ayrı ayrı toplanarak kriterlerin yenilgi skorları, galibiyet skorları ve COPELAND puanları hesaplanmıştır. Hesaplanan COPELAND puanları üzerinden kriterler büyüken küçüğe sıralanarak kriter sıraları belirlenmektedir. Skorlar ve COPELAND puanları Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9. COPELAND puanları ve sıralar

Kriter İsimleri	$Gp_i$	$Yp_i$	$Cp_i$	SIRA
Yayın	7,00	-2,00	5,00	4
Üyelik	1,00	-10,00	-9,00	11
Ödül	2,00	-9,00	-7,00	10
Uzmanlık	11,00	0,00	11,00	1
Tecrübe	8,50	-2,00	6,50	3
Panellere Yönelik Bilgiler	6,00	-4,00	2,00	6
Akademik Bilgiler	10,00	-1,00	9,00	2
Kişilik Özellikleri	4,50	-5,00	-0,50	8
Çalışma Yoğunluğu	6,50	-4,00	2,50	5
Yabancı Dil	0,00	-11,00	-11,00	12
Kariyer - İş Hayatı Bilgisi	4,00	-6,00	-2,00	9
Profesyonel Ağ ve Sosyal Etkileşim	5,00	-5,00	0,00	7

COPELAND yöntemi ile oluşturulan nihai kriter sıralamasında en yüksek puanı alan kriter “Uzmanlık” olmuştur. Bunu sırasıyla “Akademik Bilgiler” ve “Tecrübe” kriterleri takip etmektedir. Bu sonuçlar, bağımsız değerlendiricilerin seçiminde yetkinlik, akademik performans ve deneyimin kritik öneme sahip olduğunu göstermektedir. Şekil 2’de Çalışma kapsamında uygulanan objektif ve subjektif ağırlıklandırma metotlarına göre kriter sıralamaları sunulmaktadır.



Şekil 2. Ağırlıklandırma tekniklerine göre kriter sıraları (Yazarlar tarafından oluşturulmuştur.)

Farklı yöntemlerle hesaplanan kriter sıralamaları, yöntemlerin kriter değerlendirme sürecinde nesnel ve öznel teknikler arasındaki sıralama benzerliğini göstermektedir. Sonuçlar bağımsız değerlendirici seçim sürecinde belirleyici kriterlerin tespit edilmesi açısından kritik bir göstergedir.

## 5. Sonuç ve Değerlendirme

Günümüzde girişimcilik konusunun ekonomik büyüme ve ilerlemeye olan katkısı belirgin bir hal almıştır ve bütün alanlara yönelik girişimcilik destekleri giderek değer kazanmaktadır. Kobilerin sürekli gelişimi ve büyümeleri açısından ülkemizde girişimcilik faaliyetlerinin geliştirilmesi ve desteklenmesi amacıyla sağlanan destek programları ve politikalar, girişimcilik ekosisteminde sürdürülebilirliğin sağlanmasına önemli bir katkıda bulunmaktadır. Bu kapsamda KOSGEB bünyesinde bulunan girişimci desteği modern ve inovatif projelerin destek arayan girişimciler için büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, KOSGEB girişimci desteklerinin değerlendirilmesi aşamasında akademik bağımsız değerlendirici seçim süreçleri için var olan süreçlere yenilikçi bir bakış açısı getirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, literatürde

bulunan bağımsız değerlendirici ve panelist seçim kriterleri ÇKKV metotları çerçevesinde ele alınmıştır. Kriterler subjektif olarak FUCOM, LBWA ve PIPRECIA-E yöntemleri ile değerlendirilmiş, yöntemler için kurumda çalışan 3 uzmanın görüş ve değerlendirmeleri alınmıştır. Kriterler objektif olarak CENTROIDOUS, SPC ve CEBM yöntemleri ile değerlendirilmiş, yöntemlerde halka açık ve gerçek veriler üzerinden değerlendirme yapılmıştır.

Literatürde bulunan kriterlerin ağırlık sonuçları COPELAND toplulaştırma tekniğiyle birleştirilerek nihai kriter sıraları elde edilmiştir. Yöntem kriterlerin önem düzeylerini sıralama sonucu vererek ortaya koymuştur. Çalışma kapsamında literatürde yer alan 15 kriter başlangıç aşamasında ele alınmış; ancak “Çıkar Çatışması”, “Kurumlara Yönelik Bilgiler” ve “Demografik Özellikler” kriterleri eksik veri nedeniyle yalnızca subjektif yöntemlerle çözüm adımı analiz edilmiş, objektif yöntemlerle çözüm ve toplulaştırma tekniğinin uygulanması adımlarında analiz dışı bırakılmıştır. Kriterler içerisinde “Uzmanlık” kriterinin büyük öneme sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Bu çalışma KOSGEB’in girişimcilik desteklerinde mevcut bağımsız değerlendirici seçim sürecine yönelik bilimsel yöntemlere dayalı alternatif bir yaklaşım önermektedir. Literatürde bulunan kriterlerin değerlendirilmesi ve yeni sayılabilecek objektif yöntemlerle subjektif yöntemlerin entegrasyonu sürece daha geniş bir bakış açısı getirmeyi amaçlamıştır. Yöntemlere ait ağırlık sonuçlarının COPELAND yöntemiyle birleştirilmesi, kriter önem sıralarının belirlenmesinde olanak tanımıştır. Kural tabanlı ve yapay zekâ destekli metin işleme yöntemiyle adayların bilimsel özgeçmişlerinde yer alan metin tabanlı bilgilerin sayısal olarak ifade edilmesi, önerilen yöntem katkısı sağlamıştır. Çalışma kapsamında KOSGEB girişimcilik desteklerine yönelik bağımsız değerlendirici seçimi için esnek bir model önerilmektedir. Önerilen model, farklı sayıda bağımsız değerlendirici kullanılması ve güncel koşullara göre gerekli görülebilecek yeni kriterlerin eklenmesi durumunda da kolaylıkla revize edilebilecek bir yapıya sahiptir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda geliştirilen metot önerisinin diğer kamu kurum ve kuruluşlarının bağımsız değerlendirici / panelist seçimlerinde uygunluğu incelenebilir. Çalışma kapsamında ele alınan veri seti, belirli bir üniversite ve fakültede görev yapan akademisyenlerden oluşması nedeniyle, ileride yapılacak çalışmalarda farklı üniversitelerden akademisyenler dahil edilerek daha geniş veri setleri ve daha fazla sayıda uzmanla değerlendirme yapılarak yöntem çerçevesi genişletilebilir. Subjektif yöntemlerle çözüm aşamasında çalışmaya katılan kobi uzmanlarının aynı unvan ve iş tanımı çerçevesinde görev yapmaları yanlılık eğilimini kısmen kontrol altına alsa da, kobi uzman sayısının kısıtlı olması ve deneyim düzeylerinin değişkenlik göstermesi belirli ölçüde yanlılık ihtimali taşımaktadır. Literatüre kazandırılacak yeni araştırmalarda, farklı tecrübe sürelerine sahip daha geniş bir KOBİ uzmanı örnekleminin subjektif kriter ağırlığı belirlenmesi sürecinde değerlendirme kapsamına alınması ve uygun görülen durumlarda kobi uzmanlarının deneyim süresine bağlı olarak farklı ağırlık değerleri verilmesiyle bu risk seviyesi minimize edilebilir. İlk defa personel seçiminde kullanılan objektif yöntemler insan kaynakları alanındaki farklı konularda çalışılabilir. Kriterler farklı ÇKKV yöntemleriyle değerlendirilebilir, farklı metotların entegrasyonu yapılabilir. Gelecekte KOSGEB’in bağımsız değerlendirici atama süreçlerinde kurumun oluşacak ihtiyaçları temel alınarak kriterlerde güncelleme yapılarak yöntemin uygunluğu tekrar değerlendirilebilir. Araştırma bulgularının uluslararası düzeydeki kurumların bağımsız değerlendirici ve panelist seçim süreçleriyle kıyaslanabilir ve yöntemin evrensel olarak geçerliliği ve performansı test edilebilir.

### **Araştırmacıların Katkısı**

Bu çalışmada; Yeşim Kayabaş Alkan problemin tanımlanması, literatür taraması, kriterlerin belirlenmesi, veri setinin oluşturulması, yöntemlerin seçilmesi, uygulanması ve analizlerin gerçekleştirilmesi, bulguların yorumlanması, makalenin yazımı aşamalarında katkı sağlamıştır. Mehmet Kabak çalışmanın kavramsal çerçevesinin olgunlaştırılması, yönetsel uygunluğun değerlendirilmesi, analiz sonuçlarının kontrolü, bulguların bilimsel açıdan değerlendirilmesi ve yorumlanması aşamalarında katkı sağlamıştır.

### **Çıkar Çatışması**

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

\*Bu makale, sorumlu yazarın Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Doktora Programı bünyesinde yürütmekte olduğu Doktora tez çalışmasından üretilmiştir.

## Kaynaklar

ALTINTAŞ, F. F. (2023). A Novel Approach To Measuring Criterion Weights In Multiple Criteria Decision Making: Cubic Effect-Based Measurement (CEBM). *Nicel Bilimler Dergisi*, 5(2), 151-195. doi: <https://doi.org/10.51541/nicel.1349382>

Altıntaş, F. F. (2024). Analysis of the ocean and marine health performances of 18 countries in the G20 countries: An application using the CEBM-based TOPSIS method. *Ege Journal of Fisheries & Aquatic Sciences (EgeJFAS)/Su Ürünleri Dergisi*, 41(3). doi: <https://doi.org/10.12714/egejfas.41.3.01>

Alural, B. (2019). *KOSGEB kobigel – kobi gelişim destek programı: Bursa ili özelinde bir değerlendirme*. (Yüksek Lisans Tezi), Erişim adresi: <https://www.proquest.com/docview/2606864469?pq-origsite=gscholar&fromopenview=true&sourcetype=Dissertations%20&%20Theses>

Amin, M. M. ve Dwitayanti, Y. (2023). Evaluation based on Distance from Average Solution and Copeland Score for The Selection of Practical Lecturers. In *2023 International Conference on Informatics, Multimedia, Cyber and Informations System (ICIMCIS)*, 102-107, Jakarta Selatan, Endonezya. doi: <https://doi.org/10.1109/ICIMCIS60089.2023.10349074>

Arman, K. ve Kundakcı, N. (2023). YENİ BÜTÜNLEŞİK FUCOM-WEDBA YAKLAŞIMI İLE BİR İŞLETME İÇİN BULUT HİZMET SAĞLAYICISI SEÇİMİ. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (56), 281-295. doi: <https://doi.org/10.30794/pausbed.1212975>

Arslan, R. ve Bircan, H. (2020). Çok kriterli karar verme teknikleriyle elde edilen sonuçların Copeland yöntemiyle birleştirilmesi ve karşılaştırılması. *Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, 27(1), 109-127.

Asian Development Bank, Guidelines on The Use of Consultants by Asian Development Bank and Its Borrowers. Erişim adresi: [Guidelines on the Use of Consultants by Asian Development Bank and Its Borrowers](#). (Erişim Tarihi: 26.05.2024).

Atçı, S. H. ve Atalay, K. D. (2022). Web sitesi tasarım aşamasındaki kriterlerin önem derecelerinin GB-FUCOM ile belirlenmesi. *Journal of Turkish Operations Management (JTOM)*, 6(1). Erişim adresi: <https://research.ebsco.com/c/zocrj4/viewer/pdf/smnfrcha6n>

Aykan, E., Aksoyly, S. ve Sönmez, E. (2013). Effects of support programs on corporate strategies of small and medium-sized enterprises. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 99, 938-946. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.10.567>

Bagheri, F., Buscaldi, D., & Reforgiato Recupero, D. (2025). Leveraging knowledge graphs and LLMs for content-based reviewer assignment. *Journal of Intelligent Information Systems*, 1-29. doi: <https://doi.org/10.1007/s10844-025-01004-9>

Biswas, S., Bandyopadhyay, G. ve Mukhopadhyaya, J. N. (2022). A multi-criteria based analytic framework for exploring the impact of Covid-19 on firm performance in emerging market. *Decision Analytics Journal*, 5, 100143. doi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772662222000741>

Bouanane, K., Medakene, A. N., Benbelghit, A., & Belhaouari, S. B. (2024). FairColor: An efficient algorithm for the balanced and fair reviewer assignment problem. *Information Processing & Management*, 61(6), 103865. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2024.103865>

Božanić, D., Jurišić, D. ve Erkić, D. (2020). LBWA–Z-MAIRCA model supporting decision making in the army. *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 3(2), 87-110. doi: <https://doi.org/10.31181/oresta2003087b>

Božanić, D., Pamucar, D., Badi, I. ve Tešić, D. (2023). A decision support tool for oil spill response strategy selection: application of LBWA and Z MABAC methods. *Opsearch*, 60(1), 24-58. doi: <https://doi.org/10.1007/s12597-022-00605-0>

- Cagliero, L., Garza, P., Pasini, A. ve Baralis, E. (2018). Additional reviewer assignment by means of weighted association rules. *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing*, 9(1), 329-341. doi: <https://doi.org/10.1109/TETC.2018.2861214>
- Çakır, E. (2017). Kriter ağırlıklarının SWARA–Copeland yöntemi ile belirlenmesi: Bir üretim işletmesinde uygulama. *Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 4(1), 42-56. doi: <https://doi.org/10.30803/adusobed.309069>
- Demir, G. ve Bircan, H. (2020). Kriter ağırlıklandırma yöntemlerinden bwm ve fucom yöntemlerinin karşılaştırılması ve bir uygulama. *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 21(2), 170-185. doi: <https://doi.org/10.37880/cumuiibf.616766>
- Djekic, I., Lorenzo, J. M., Munekata, P. E., Gagaoua, M. ve Tomasevic, I. (2021). Review on characteristics of trained sensory panels in food science. *Journal of Texture Studies*, 52(4), 501-509. doi: <https://doi.org/10.1111/jtxs.12616>
- Duan, Z., Tan, S., Zhao, S., Wang, Q., Chen, J. ve Zhang, Y. (2019). Reviewer assignment based on sentence pair modeling. *Neurocomputing*, 366, 97-108. doi: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2019.06.074>
- Esmer, Y. ve Özdaşlı, K. (2023). Bilimsel araştırmalarda etik: Kavramlar ve ilkeler. *Yükseköğretim ve Bilim Dergisi*, 13(3), 397 – 409. doi: <https://doi.org/10.5961/higheredusci.1291201>
- Feizi, F., Karbalaee-Ramezani, A. A. ve Farhadi, S. (2021). FUCOM-MOORA and FUCOM-MOOSRA: new MCDM-based knowledge-driven procedures for mineral potential mapping in greenfields. *SN Applied Sciences*, 3, 1-19. doi: <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04342-9>
- Geyik, S. K., Satman, M. H. ve Kalyoncu, G. (2022). G20 Ülkelerinin Covid-19 Pandemisi ile Mücadele Performanslarının Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Değerlendirilmesi. *EKOIST Journal of Econometrics and Statistics*, (37), 27-52. doi: <https://doi.org/10.26650/ekoist.2022.37.1161945>
- Gligorić, Z., Gligorić, M., Miljanović, I., Lutovac, S. ve Milutinović, A. (2023). Assessing Criteria Weights by the Symmetry Point of Criterion (Novel SPC Method)--Application in the Efficiency Evaluation of the Mineral Deposit Multi-Criteria Partitioning Algorithm. *CMES-Computer Modeling in Engineering & Sciences*, 136(1). doi: <https://doi.org/10.32604/cmescs.2023.025021>
- Guillén-Mena, V., Quesada-Molina, F., Astudillo-Cordero, S., Lema, M. ve Ortiz-Fernández, J. (2023). Lessons learned from a study based on the AHP method for the assessment of sustainability in neighborhoods. *MethodsX*, 11, 102440. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mex.2023.102440>
- Güler, P. (2017). *Türkiye'de kobi' lere sağlanan finansal destek programları ve KOSGEB destekleri*. (Yüksek Lisans Tezi), Erişim adresi: <https://acikerisim.ticaret.edu.tr/server/api/core/bitstreams/e1fccd81-4a65-4c18-b6ee-d47a651e7e8f/content>
- Hoang, D. T., Nguyen, N. T., Collins, B. ve Hwang, D. (2021). Decision support system for solving reviewer assignment problem. *Cybernetics and Systems*, 52 (5): 379 - 397.
- International Development Research Centre. Erişim adresi: <https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/server/api/%20core/bitstreams/3587fa9e-cb59-4b37-aae2-69cbd0101294/content>. (Erişim Tarihi:21.05.2024).
- Irish Research Council. Guide For Assessors 2024. Erişim adresi: [https://research.ie/assets/uploads/2024/01/Guide-for-Assessors\\_COALESCE\\_2024-2.pdf](https://research.ie/assets/uploads/2024/01/Guide-for-Assessors_COALESCE_2024-2.pdf). (Erişim Tarihi:26.05.2024).
- Ishag, M. I. M., Park, K. H., Lee, J. Y. ve Ryu, K. H. (2019). A pattern-based academic reviewer recommendation combining author-paper and diversity metrics. *IEEE Access*, 7, 16460-16475. doi: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2894680>
- Jakovljevic, V., Zizovic, M., Pamucar, D., Stević, Ž. ve Albijanic, M. (2021). Evaluation of human resources in transportation companies using multi-criteria model for ranking alternatives by defining relations between ideal and anti-ideal alternative (RADERIA). *Mathematics*, 9(9), 976. doi: <https://doi.org/10.3390/math9090976>

- Janprasert, B., Lawthong, N. ve Ngudgratoke, S. (2020). Examining and controlling rater severity and leniency effects on alignment evaluation between science items and science learning indicators using many-facets Rasch modeling. *Kasetsart Journal of Social Sciences*, 41(3), 592-597. Erişim adresi: <https://so04.tci-thaijo.org/index.php/kjss/article/view/247652/168156>
- Jin, J., Niu, B., Ji, P. ve Geng, Q. (2020). An integer linear programming model of reviewer assignment with research interest considerations. *Annals of Operations Research*, 291, 409-433. doi: <https://doi.org/10.1007/s10479-018-2919-7>
- Jokić, Ź., Božanić, D. ve Pamučar, D. (2021). Selection of fire position of mortar units using LBWA and Fuzzy MABAC model. *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 4(1), 115-135. doi: <https://doi.org/10.31181/oresta20401156j>
- Kat, B. (2021). An algorithm and a decision support system for the panelist assignment problem: The case of TUBITAK. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 36(1), 69-87. doi: <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.631071>
- Kılıçarslan, A. (2023). Yenilenebilir enerji sektörü şirketlerinin finansal performans analizi: Borsa İstanbul'da bir uygulama. *Kastamonu üniversitesi iktisadi ve idari bilimler fakültesi dergisi*, 25(1), 232-253. doi: 10.21180/iibfdkastamonu.1191441
- Koçak, S., İç, Y. T., Atalay, K. D., Sert, M. ve Dengiz, B. (2021). The development of a reviewer selection method: a multi-level hesitant fuzzy VIKOR and TOPSIS approaches. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 1-28. doi: <https://doi.org/10.1007/s12652-021-03466-5>
- Kosgeb, Erişim adresi: <https://www.kosgeb.gov.tr/site/tr/genel/destekler/3/destekler>. (Erişim Tarihi: 08.12.2023).
- Latypova, V. (2023a). Decision-Making Support in Optimal Multicriteria Peer Reviewer Selection in Scientific Conference Organization. In *2023 5th International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA)*, 383-386, Lipetsk, Rusya Federasyonu. doi: <https://doi.org/10.1109/SUMMA60232.2023.10349642>
- Latypova, V. (2023b). Reviewer assignment decision support in an academic journal based on multicriteria assessment and text mining. In *2023 IX International Conference on Information Technology and Nanotechnology (ITNT)*, 1-4, Samara, Rusya Federasyonu. doi: <https://doi.org/10.1109/ITNT57377.2023.10139187>
- Leyton-Brown, K., Nandwani, Y., Zarkoob, H., Cameron, C., Newman, N. ve Raghu, D. (2024). Matching papers and reviewers at large conferences. *Artificial Intelligence*, 331, 104119. doi: <https://doi.org/10.1016/j.artint.2024.104119>
- Liu, X., Wang, X. ve Zhu, D. (2022). Reviewer recommendation method for scientific research proposals: a case for NSFC. *Scientometrics*, 127(6), 3343-3366. doi: <https://doi.org/10.1007/s11192-022-04389-4>
- Mercan, T. ve Can, A. (2023). İşgören Seçiminde Etkili Olan Faktörlerin FUCOM Yöntemi ile Değerlendirilmesi: Bir Havayolu İşletmesinde Uygulama. *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi*, 14(40), 1311-1329. doi: <https://doi.org/10.21076/vizyoner.1271318>
- Nguyen, J., Sánchez-Hernández, G., Agell, N., Rovira, X. ve Angulo, C. (2018). A decision support tool using Order Weighted Averaging for conference review assignment. *Pattern Recognition Letters*, 105, 114-120. doi: <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2017.09.020>
- Özdağoğlu, A. ve Keleş, M. K. (2021). Dünyanın En İşlek Havalimanlarının Pırcia-E, Smart Ve Marcos Yöntemleri İle Değerlendirilmesi. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, (58), 333-352. doi: <https://doi.org/10.18070/erciyesiibd.856842>
- Özekenci, E. K. (2024). Personnel Selection Based on the LBWA, TOPSIS and GRA Methods: A Case Study on Foreign Trade Company. *Fiscaoeconomia*, 8(2), 646-665. doi: <https://doi.org/10.25295/fsecon.1411468>
- Pamućar, D., Stević, Ź. ve Sremac, S. (2018). A new model for determining weight coefficients of criteria in mcdm models: Full consistency method (fucom). *Symmetry*, 10(9), 393. doi: <https://doi.org/10.3390/sym10090393>

- Patil, A. H. ve Mahalle, P. N. (2021). Multi-label reviewer profile building and ranking based on expertise, recency, authority and h-index: vital module of reviewer paper assignment. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT)*, 12(6), 3026-3035. Erişim adresi: <https://www.proquest.com/docview/2623922785?pq-origsite=gscholar&fromopenview=true&source=Scholarly%20Journals>
- Popovic, G., Stanujkic, D., Mimović, P., Milovanovic, G., Karabasevic, D., Brzakovic, P. ve Brzakovic, A. (2021). An integrated SWOT–extended PIPRECIA model for identifying key determinants of tourism development: The case of Serbia. doi: <https://doi.org/10.3986/AGS.9271>
- Pradhan, T., Sahoo, S., Singh, U. ve Pal, S. (2021). A proactive decision support system for reviewer recommendation in academia. *Expert Systems with Applications*, 169, 114331. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.114331>
- Saari, D. G. ve Merlin, V. R. (1996). The copeland method: I.: Relationships and the dictionary. *Economic theory*, 8, 51-76. doi: <https://doi.org/10.1007/BF01212012>
- Sintaro, S. ve Aldino, A. A. (2023). MCDM Using Multi-Attribute Utility Theory and PIPRECIA in Customer Loan Eligibility Recommendations. *Journal of Informatics, Electrical and Electronics Engineering*, 3(2), 212-220. doi: <https://doi.org/10.47065/jieec.v3i2.1628>
- Soygüder, S. ve Geçer, E. (2023). Application of multi-criteria decision-making methods in supplier selection. *Journal of Optimization and Decision Making*, 2(2), 349-356. <https://izlik.org/JA77AM53KN>
- Stanujkic, D., Zavadskas, E. K., Karabasevic, D., Smarandache, F. ve Turskis, Z. (2017). *The use of the pivot pairwise relative criteria importance assessment method for determining the weights of criteria*. Infinite Study. Erişim adresi: [https://ipe.ro/rjef/rjef4\\_17/rjef4\\_2017p116-133.pdf](https://ipe.ro/rjef/rjef4_17/rjef4_2017p116-133.pdf)
- Stević, Ž. ve Brković, N. (2020). A novel integrated FUCOM-MARCOS model for evaluation of human resources in a transport company. *Logistics*, 4(1), 4. doi: <https://doi.org/10.3390/logistics4010004>
- Taherdoost, H. ve Madanchian, M. (2023). Multi-criteria decision making (MCDM) methods and concepts. *Encyclopedia*, 3(1), 77-87. doi: <https://doi.org/10.3390/encyclopedia3010006>
- Tešić, D., Delibašić, B., Božanić, D., Lojić, R., Pamučar, D. ve Balassa, B. E. (2023). Application of the FUCOM-FUZZY MAIRCA Model in Human Resource Management. *Acta Polytechnica Hungarica*, 20(3). doi: <https://doi.org/10.12700/APH.20.3.2023.3.14>
- UK Research and Innovation, Erişim adresi: <https://www.ukri.org/councils/epsrc/guidance-for-reviewers/%20peer-review-panels/panel-member-selection-and-participant-roles/>. (Erişim Tarihi: 31.01. 2024).
- Uslu, G. ve Erdebilli, B. (2024). FUZZY FUCOM yöntemi kullanarak itfaiye istasyonu yer seçiminin incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 39(4), 2373-2382. doi: <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.1273322>
- Van Dua, T. (2023). Combination of symmetry point of criterion, compromise ranking of alternatives from distance to ideal solution and collaborative unbiased rank list integration methods for woodworking machinery selection for small business in Vietnam. *EUREKA: Physics and Engineering*, (2), 83-96. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2023.002763>
- Vinogradova-Zinkevič, I. (2024). Centroidous Method for Determining Objective Weights. *Mathematics*, 12(14), 2269. doi: <https://doi.org/10.3390/math12142269>
- Yarlıkaş, S. ve Arslaner, C. (2019). SWARA ve COPELAND Yöntemleri ile Global Tedarik Zinciri Yönetimini Etkileyen Faktörlerin Önem Düzeylerinin Değerlendirilmesi. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 19(4), 83-104. doi: <https://doi.org/10.18037/ausbd.668624>
- Yue, M., Tian, K. ve Ma, T. (2017). An accurate and impartial expert assignment method for scientific project review. *Journal of Data and Information Science*, 2(4), 65-80. doi: <https://doi.org/10.1515/jdis-2017-0020>

Žižović, M. ve Pamucar, D. (2019). New model for determining criteria weights: Level Based Weight Assessment (LBWA) model. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 2(2), 126-137. doi: <https://doi.org/10.31181/dmame1902102z>

## Ekler

Ek 1. Objektif yöntemler için karar matrisi

A/K	Yaşın	Üyelik	Ödül	Uzmanlık	Tecrübe	Panelere Yönelik Bilgiler	Akademik Bilgiler	Kişilik Özellikleri	Çalışma Yoğunluğu	Yabancı Dil	Kariyer-İş Hayatı Bilgisi	Profesyonel Ağ ve Sosyal Etkileşim
Aday 1	13,5	0	0	133	27	7	45	53	23	0	2	3
Aday 2	257,5	0	0	1055	150	55	301	283	65	68	18	24
Aday 3	446,5	2	0	1669	264	114	473	414	98	70	12	57
Aday 4	157,5	0	1	593	169	56	144	194	65	72	6	25
Aday 5	81,5	0	1	294	95	31	69	81	35	79	3	13
Aday 6	136,5	0	2	412	121	42	89	100	40	87	4	16
Aday 7	47,5	0	0	267	63	16	57	39	27	66	14	10
Aday 8	126,5	0	0	344	126	47	61	88	26	86	3	28
Aday 9	39	0	0	72	37	13	17	23	9	0	1	3
Aday 10	46	0	0	85	28	8	16	24	4	70	1	8
Aday 11	57	0	0	119	38	16	16	30	8	82	1	7
Aday 12	34	0	0	84	30	13	11	16	3	0	1	4
Aday 13	1	0	0	9	3	2	4	0	0	0	0	0
Aday 14	585	0	0	2375	332	119	760	564	97	82	6	33
Aday 15	333	0	6	1280	259	98	356	369	99	67	5	40
Aday 16	189,5	0	2	874	182	54	267	252	82	67	4	13
Aday 17	390,5	0	0	1421	231	89	410	347	107	70	3	44
Aday 18	294,5	0	2	819	266	111	178	338	109	0	4	34
Aday 19	197,5	1	0	713	176	60	174	211	73	66	7	28
Aday 20	175,5	4	0	617	117	47	144	144	45	70	3	8
Aday 21	196,5	2	0	641	204	74	135	204	86	80	5	30
Aday 22	41,5	0	0	121	45	12	23	25	11	0	15	3
Aday 23	33	0	0	108	43	14	17	17	5	66	6	1
Aday 24	89	0	0	237	86	32	52	66	26	73	1	13
Aday 25	14	0	0	51	18	8	6	4	2	83	1	1
Aday 26	44,5	0	0	98	37	12	16	28	8	82	1	5
Aday 27	46,5	0	0	105	37	16	10	25	3	85	1	4
Aday 28	22	0	0	32	11	4	7	8	2	86	1	2
Aday 29	43,5	0	0	160	69	29	33	45	16	0	2	4
Aday 30	22,5	0	0	88	34	12	14	13	4	80	2	1
Aday 31	85,5	0	0	324	85	26	78	66	30	93	22	9
Aday 32	140,5	0	0	484	102	43	114	95	46	72	3	16
Aday 33	0	0	0	18	6	4	2	0	0	0	0	0
Aday 34	653,5	1	0	2148	573	232	485	621	161	65	8	63
Aday 35	1187,5	0	1	3984	617	248	1197	1026	180	65	6	184
Aday 36	1081,5	1	1	3557	569	236	1040	884	127	92	5	162
Aday 37	570,5	1	0	1863	519	223	379	554	171	80	5	96
Aday 38	577,5	0	0	2118	438	181	536	595	134	68	4	75
Aday 39	565,5	0	7	1977	306	128	561	484	93	86	4	32
Aday 40	796,5	1	1	2677	448	189	744	706	135	71	6	118
Aday 41	335,5	0	1	896	218	93	161	232	47	68	4	51
Aday 42	109,5	11	0	291	101	28	64	68	38	76	7	30
Aday 43	376,5	0	0	891	220	94	176	228	44	72	2	81
Aday 44	455,5	2	1	1873	265	104	557	422	92	73	4	50
Aday 45	128,5	1	1	415	102	37	111	104	22	78	2	22
Aday 46	62	0	0	160	48	18	31	62	18	86	1	3
Aday 47	225,5	0	0	672	141	60	156	180	36	91	1	9
Aday 48	20	0	0	59	27	8	13	18	5	87	2	3

Ek 1 – Devamı. Objektif yöntemler için karar matrisi

A/K	Yayın	Üyelik	Ödül	Uzmanlık	Tecrübe	Panelere Yönelik Bilgiler	Akademik Bilgiler	Kişilik Özellikleri	Çalışma Yoğunluğu	Yabancı Dil	Kariyer-İş Hayatı Bilgisi	Profesyonel Ağ ve Sosyal Etkileşim
Aday 49	276,5	0	0	738	165	70	166	205	38	68	3	50
Aday 50	357,5	1	0	1260	205	78	355	311	79	73	14	25
Aday 51	261,5	0	0	727	233	79	151	202	70	77	28	63
Aday 52	471,5	0	1	1456	190	80	435	358	71	87	5	77
Aday 53	158,5	0	1	148	59	33	39	74	21	0	2	47
Aday 54	120,5	1	0	408	145	41	86	107	50	72	15	16
Aday 55	109,5	0	0	252	81	31	49	64	17	85	1	22
Aday 56	153,5	0	1	402	118	47	81	101	22	0	2	34
Aday 57	64,5	0	0	191	57	21	40	36	13	78	2	8
Aday 58	142,5	1	0	533	163	56	117	171	69	91	7	15
Aday 59	190,5	0	0	664	174	60	153	200	75	71	3	28
Aday 60	450,5	1	0	1522	184	83	429	369	58	91	3	47
Aday 61	164,5	0	0	636	146	41	168	161	59	80	14	15
Aday 62	56,5	0	0	189	55	16	40	35	26	62	4	7
Aday 63	96,5	1	0	274	69	27	58	64	16	82	4	6
Aday 64	43,5	0	4	133	52	17	29	33	9	95	2	4
Aday 65	40,5	1	0	215	58	9	52	43	32	67	4	5
Aday 66	191,5	0	0	633	102	34	194	150	28	60	3	20
Aday 67	160,5	4	2	392	73	28	108	91	15	75	3	38
Aday 68	70,5	0	0	143	48	17	23	29	3	0	1	14
Aday 69	149,5	0	0	383	71	29	95	102	21	70	1	18
Aday 70	17,5	1	1	67	16	6	16	16	8	90	2	7
Aday 71	350	0	4	1446	195	78	445	363	97	73	10	13
Aday 72	481	2	14	1998	203	71	696	480	90	96	8	32
Aday 73	82	0	1	275	89	34	61	73	38	63	1	4
Aday 74	245	0	0	740	157	56	179	187	56	81	6	49
Aday 75	42,5	0	0	164	39	12	34	37	18	81	4	2
Aday 76	91,5	0	1	253	91	33	44	71	18	76	3	12
Aday 77	131,5	0	0	550	170	60	112	131	77	67	2	10
Aday 78	115,5	0	0	383	136	42	78	100	56	85	9	25
Aday 79	287,5	0	0	921	225	94	179	219	43	56	9	31
Aday 80	16,5	0	0	71	16	9	17	6	1	0	0	0
Aday 81	71	0	0	176	68	28	27	48	13	86	1	8
Aday 82	88	0	0	270	71	28	64	70	29	81	7	6
Aday 83	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0
Aday 84	17	0	0	43	28	12	11	23	4	0	0	0
Aday 85	24,5	0	0	84	20	5	25	21	6	81	1	2

Ek 2. CENTROIDOUS yöntemi normalize ve grup merkezi değerleri

A/K	Yayın	Üyelik	Ödül	Uzmanlık	Tecrübe	Panelere Yönelik Bilgiler	Akademik Bilgiler	Kişilik Özellikleri	Çalışma Yoğunluğu	Yabancı Dil	Kariyer-İş Hayatı Bilgisi	Profesyonel Ağ ve Sosyal Etkileşim	$c_j$
Aday 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Aday 2	0,01	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,04	0,01	0,02
Aday 3	0,03	0,05	0,00	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,01	0,03	0,03	0,03
Aday 4	0,01	0,00	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
Aday 5	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Aday 6	0,01	0,00	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
Aday 7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,03	0,00	0,01
Aday 8	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
Aday 9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Aday 10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Aday 11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
Aday 12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Aday 13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Aday 14	0,03	0,00	0,00	0,04	0,03	0,03	0,05	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02
Aday 15	0,02	0,00	0,11	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01	0,01	0,02	0,03
Aday 16	0,01	0,00	0,04	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
Aday 17	0,02	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,01	0,01	0,02	0,02
Aday 18	0,02	0,00	0,04	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,03	0,00	0,01	0,02	0,02
Aday 19	0,01	0,03	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01
Aday 20	0,01	0,10	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02
Aday 21	0,01	0,05	0,00	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02
Aday 22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00
Aday 23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00
Aday 24	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00
Aday 25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
Aday 26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
Aday 27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
Aday 28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
Aday 29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Aday 30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Aday 31	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,05	0,00	0,01
Aday 32	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Aday 33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Aday 34	0,04	0,03	0,00	0,04	0,05	0,05	0,03	0,04	0,04	0,01	0,02	0,03	0,03
Aday 35	0,07	0,00	0,02	0,07	0,05	0,05	0,08	0,07	0,05	0,01	0,01	0,08	0,05
Aday 36	0,06	0,03	0,02	0,06	0,05	0,05	0,07	0,06	0,03	0,02	0,01	0,07	0,04
Aday 37	0,03	0,03	0,00	0,03	0,04	0,05	0,02	0,04	0,04	0,01	0,01	0,04	0,03
Aday 38	0,03	0,00	0,00	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,01	0,01	0,03	0,03
Aday 39	0,03	0,00	0,12	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,03
Aday 40	0,05	0,03	0,02	0,05	0,04	0,04	0,05	0,05	0,03	0,01	0,01	0,05	0,04
Aday 41	0,02	0,00	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
Aday 42	0,01	0,28	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,01	0,03
Aday 43	0,02	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	0,04	0,01
Aday 44	0,03	0,05	0,02	0,03	0,02	0,02	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,02	0,03
Aday 45	0,01	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01
Aday 46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
Aday 47	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,01
Aday 48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00

Ek 2– Devamı. CENTROIDOUS yöntemi normalize ve grup merkezi değerleri

A/K	Yayın	Üyelik	Ödül	Uzmanlık	Tecrübe	Panelere Yönelik Bilgiler	Akademik Bilgiler	Kişilik Özellikleri	Çalışma Yoğunluğu	Yabancı Dil	Kariyer-İş Hayatı Bilgisi	Profesyonel Ağ ve Sosyal Etkileşim	$c_j$
Aday 49	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
Aday 50	0,02	0,03	0,00	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,03	0,01	0,02
Aday 51	0,02	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,07	0,03	0,02
Aday 52	0,03	0,00	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,03	0,02
Aday 53	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,01
Aday 54	0,01	0,03	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,04	0,01	0,01
Aday 55	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,01
Aday 56	0,01	0,00	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,02	0,01
Aday 57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Aday 58	0,01	0,03	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01
Aday 59	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
Aday 60	0,03	0,03	0,00	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02
Aday 61	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,03	0,01	0,01
Aday 62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
Aday 63	0,01	0,03	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,01
Aday 64	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01
Aday 65	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01
Aday 66	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Aday 67	0,01	0,10	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02
Aday 68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Aday 69	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01
Aday 70	0,00	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01
Aday 71	0,02	0,00	0,07	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02
Aday 72	0,03	0,05	0,25	0,03	0,02	0,02	0,05	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,05
Aday 73	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01
Aday 74	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
Aday 75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00
Aday 76	0,01	0,00	0,02	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
Aday 77	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01
Aday 78	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01
Aday 79	0,02	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
Aday 80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Aday 81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
Aday 82	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,00	0,01
Aday 83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Aday 84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Aday 85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00

Ek 3. SPC yöntemi mutlak mesafe matrisi

D	Yayın	Üyelik	Ödül	Uzmanlık	Tecrübe	Panelere Yönelik Bilgiler	Akademik Bilgiler	Kişilik Özellikleri	Çalışma Yoğunluğu	Yabancı Dil	Kariyer-İş Hayatı Bilgisi	Profesyonel Ağ ve Sosyal Etkileşim
Aday 1	580,25	5,50	7,00	1859,50	281,50	117,00	554,50	460,00	67,00	48,00	12,00	89,00
Aday 2	336,25	5,50	7,00	937,50	158,50	69,00	298,50	230,00	25,00	20,00	4,00	68,00
Aday 3	147,25	3,50	7,00	323,50	44,50	10,00	126,50	99,00	8,00	22,00	2,00	35,00
Aday 4	436,25	5,50	6,00	1399,50	139,50	68,00	455,50	319,00	25,00	24,00	8,00	67,00
Aday 5	512,25	5,50	6,00	1698,50	213,50	93,00	530,50	432,00	55,00	31,00	11,00	79,00
Aday 6	457,25	5,50	5,00	1580,50	187,50	82,00	510,50	413,00	50,00	39,00	10,00	76,00
Aday 7	546,25	5,50	7,00	1725,50	245,50	108,00	542,50	474,00	63,00	18,00	0,00	82,00
Aday 8	467,25	5,50	7,00	1648,50	182,50	77,00	538,50	425,00	64,00	38,00	11,00	64,00
Aday 9	554,75	5,50	7,00	1920,50	271,50	111,00	582,50	490,00	81,00	48,00	13,00	89,00
Aday 10	547,75	5,50	7,00	1907,50	280,50	116,00	583,50	489,00	86,00	22,00	13,00	84,00
Aday 11	536,75	5,50	7,00	1873,50	270,50	108,00	583,50	483,00	82,00	34,00	13,00	85,00
Aday 12	559,75	5,50	7,00	1908,50	278,50	111,00	588,50	497,00	87,00	48,00	13,00	88,00
Aday 13	592,75	5,50	7,00	1983,50	305,50	122,00	595,50	513,00	90,00	48,00	14,00	92,00
Aday 14	8,75	5,50	7,00	382,50	23,50	5,00	160,50	51,00	7,00	34,00	8,00	59,00
Aday 15	260,75	5,50	1,00	712,50	49,50	26,00	243,50	144,00	9,00	19,00	9,00	52,00
Aday 16	404,25	5,50	5,00	1118,50	126,50	70,00	332,50	261,00	8,00	19,00	10,00	79,00
Aday 17	203,25	5,50	7,00	571,50	77,50	35,00	189,50	166,00	17,00	22,00	11,00	48,00
Aday 18	299,25	5,50	5,00	1173,50	42,50	13,00	421,50	175,00	19,00	48,00	10,00	58,00
Aday 19	396,25	4,50	7,00	1279,50	132,50	64,00	425,50	302,00	17,00	18,00	7,00	64,00
Aday 20	418,25	1,50	7,00	1375,50	191,50	77,00	455,50	369,00	45,00	22,00	11,00	84,00
Aday 21	397,25	3,50	7,00	1351,50	104,50	50,00	464,50	309,00	4,00	32,00	9,00	62,00
Aday 22	552,25	5,50	7,00	1871,50	263,50	112,00	576,50	488,00	79,00	48,00	1,00	89,00
Aday 23	560,75	5,50	7,00	1884,50	265,50	110,00	582,50	496,00	85,00	18,00	8,00	91,00
Aday 24	504,75	5,50	7,00	1755,50	222,50	92,00	547,50	447,00	64,00	25,00	13,00	79,00
Aday 25	579,75	5,50	7,00	1941,50	290,50	116,00	593,50	509,00	88,00	35,00	13,00	91,00
Aday 26	549,25	5,50	7,00	1894,50	271,50	112,00	583,50	485,00	82,00	34,00	13,00	87,00
Aday 27	547,25	5,50	7,00	1887,50	271,50	108,00	589,50	488,00	87,00	37,00	13,00	88,00
Aday 28	571,75	5,50	7,00	1960,50	297,50	120,00	592,50	505,00	88,00	38,00	13,00	90,00
Aday 29	550,25	5,50	7,00	1832,50	239,50	95,00	566,50	468,00	74,00	48,00	12,00	88,00
Aday 30	571,25	5,50	7,00	1904,50	274,50	112,00	585,50	500,00	86,00	32,00	12,00	91,00
Aday 31	508,25	5,50	7,00	1668,50	223,50	98,00	521,50	447,00	60,00	45,00	8,00	83,00
Aday 32	453,25	5,50	7,00	1508,50	206,50	81,00	485,50	418,00	44,00	24,00	11,00	76,00
Aday 33	593,75	5,50	7,00	1974,50	302,50	120,00	597,50	513,00	90,00	48,00	14,00	92,00
Aday 34	59,75	4,50	7,00	155,50	264,50	108,00	114,50	108,00	71,00	17,00	6,00	29,00
Aday 35	593,75	5,50	6,00	1991,50	308,50	124,00	597,50	513,00	90,00	17,00	8,00	92,00
Aday 36	487,75	4,50	6,00	1564,50	260,50	112,00	440,50	371,00	37,00	44,00	9,00	70,00
Aday 37	23,25	4,50	7,00	129,50	210,50	99,00	220,50	41,00	81,00	32,00	9,00	4,00
Aday 38	16,25	5,50	7,00	125,50	129,50	57,00	63,50	82,00	44,00	20,00	10,00	17,00
Aday 39	28,25	5,50	0,00	15,50	2,50	4,00	38,50	29,00	3,00	38,00	10,00	60,00
Aday 40	202,75	4,50	6,00	684,50	139,50	65,00	144,50	193,00	45,00	23,00	8,00	26,00
Aday 41	258,25	5,50	6,00	1096,50	90,50	31,00	438,50	281,00	43,00	20,00	10,00	41,00
Aday 42	484,25	5,50	7,00	1701,50	207,50	96,00	535,50	445,00	52,00	28,00	7,00	62,00
Aday 43	217,25	5,50	7,00	1101,50	88,50	30,00	423,50	285,00	46,00	24,00	12,00	11,00
Aday 44	138,25	3,50	6,00	119,50	43,50	20,00	42,50	91,00	2,00	25,00	10,00	42,00
Aday 45	465,25	4,50	6,00	1577,50	206,50	87,00	488,50	409,00	68,00	30,00	12,00	70,00
Aday 46	531,75	5,50	7,00	1832,50	260,50	106,00	568,50	451,00	72,00	38,00	13,00	89,00
Aday 47	368,25	5,50	7,00	1320,50	167,50	64,00	443,50	333,00	54,00	43,00	13,00	83,00
Aday 48	573,75	5,50	7,00	1933,50	281,50	116,00	586,50	495,00	85,00	39,00	12,00	89,00

Ek 3 – Devamı. SPC yöntemi mutlak mesafe matrisi

D	Yayın	Üyelik	Ödül	Uzmanlık	Tecrübe	Panelere Yönelik Bilgiler	Akademik Bilgiler	Kişilik Özellikleri	Çalışma Yoğunluğu	Yabancı Dil	Kariyer-İş Hayatı Bilgisi	Profesyonel Ağ ve Sosyal Etkileşim
Aday 49	317,25	5,50	7,00	1254,50	143,50	54,00	433,50	308,00	52,00	20,00	11,00	42,00
Aday 50	236,25	4,50	7,00	732,50	103,50	46,00	244,50	202,00	11,00	25,00	0,00	67,00
Aday 51	332,25	5,50	7,00	1265,50	75,50	45,00	448,50	311,00	20,00	29,00	14,00	29,00
Aday 52	122,25	5,50	6,00	536,50	118,50	44,00	164,50	155,00	19,00	39,00	9,00	15,00
Aday 53	435,25	5,50	6,00	1844,50	249,50	91,00	560,50	439,00	69,00	48,00	12,00	45,00
Aday 54	473,25	4,50	7,00	1584,50	163,50	83,00	513,50	406,00	40,00	24,00	1,00	76,00
Aday 55	484,25	5,50	7,00	1740,50	227,50	93,00	550,50	449,00	73,00	37,00	13,00	70,00
Aday 56	440,25	5,50	6,00	1590,50	190,50	77,00	518,50	412,00	68,00	48,00	12,00	58,00
Aday 57	529,25	5,50	7,00	1801,50	251,50	103,00	559,50	477,00	77,00	30,00	12,00	84,00
Aday 58	451,25	4,50	7,00	1459,50	145,50	68,00	482,50	342,00	21,00	43,00	7,00	77,00
Aday 59	403,25	5,50	7,00	1328,50	134,50	64,00	446,50	313,00	15,00	23,00	11,00	64,00
Aday 60	143,25	4,50	7,00	470,50	124,50	41,00	170,50	144,00	32,00	43,00	11,00	45,00
Aday 61	429,25	5,50	7,00	1356,50	162,50	83,00	431,50	352,00	31,00	32,00	0,00	77,00
Aday 62	537,25	5,50	7,00	1803,50	253,50	108,00	559,50	478,00	64,00	14,00	10,00	85,00
Aday 63	497,25	4,50	7,00	1718,50	239,50	97,00	541,50	449,00	74,00	34,00	10,00	86,00
Aday 64	550,25	5,50	3,00	1859,50	256,50	107,00	570,50	480,00	81,00	47,00	12,00	88,00
Aday 65	553,25	4,50	7,00	1777,50	250,50	115,00	547,50	470,00	58,00	19,00	10,00	87,00
Aday 66	402,25	5,50	7,00	1359,50	206,50	90,00	405,50	363,00	62,00	12,00	11,00	72,00
Aday 67	433,25	1,50	5,00	1600,50	235,50	96,00	491,50	422,00	75,00	27,00	11,00	54,00
Aday 68	523,25	5,50	7,00	1849,50	260,50	107,00	576,50	484,00	87,00	48,00	13,00	78,00
Aday 69	444,25	5,50	7,00	1609,50	237,50	95,00	504,50	411,00	69,00	22,00	13,00	74,00
Aday 70	576,25	4,50	6,00	1925,50	292,50	118,00	583,50	497,00	82,00	42,00	12,00	85,00
Aday 71	243,75	5,50	3,00	546,50	113,50	46,00	154,50	150,00	7,00	25,00	4,00	79,00
Aday 72	112,75	3,50	7,00	5,50	105,50	53,00	96,50	33,00	0,00	48,00	6,00	60,00
Aday 73	511,75	5,50	6,00	1717,50	219,50	90,00	538,50	440,00	52,00	15,00	13,00	88,00
Aday 74	348,75	5,50	7,00	1252,50	151,50	68,00	420,50	326,00	34,00	33,00	8,00	43,00
Aday 75	551,25	5,50	7,00	1828,50	269,50	112,00	565,50	476,00	72,00	33,00	10,00	90,00
Aday 76	502,25	5,50	6,00	1739,50	217,50	91,00	555,50	442,00	72,00	28,00	11,00	80,00
Aday 77	462,25	5,50	7,00	1442,50	138,50	64,00	487,50	382,00	13,00	19,00	12,00	82,00
Aday 78	478,25	5,50	7,00	1609,50	172,50	82,00	521,50	413,00	34,00	37,00	5,00	67,00
Aday 79	306,25	5,50	7,00	1071,50	83,50	30,00	420,50	294,00	47,00	8,00	5,00	61,00
Aday 80	577,25	5,50	7,00	1921,50	292,50	115,00	582,50	507,00	89,00	48,00	14,00	92,00
Aday 81	522,75	5,50	7,00	1816,50	240,50	96,00	572,50	465,00	77,00	38,00	13,00	84,00
Aday 82	505,75	5,50	7,00	1722,50	237,50	96,00	535,50	443,00	61,00	33,00	7,00	86,00
Aday 83	593,75	5,50	7,00	1991,50	308,50	124,00	597,50	513,00	90,00	48,00	14,00	92,00
Aday 84	576,75	5,50	7,00	1949,50	280,50	112,00	588,50	490,00	86,00	48,00	14,00	92,00
Aday 85	569,25	5,50	7,00	1908,50	288,50	119,00	574,50	492,00	84,00	33,00	13,00	90,00

Ek 4. SPC yöntemi simetri modül matrisi

R	Yayın	Üyelik	Ödül	Uzmanlık	Tecrübe	Panellere Yönelik Bilgiler	Akademik Bilgiler	Kişilik Özellikleri	Çalışma Yoğunluğu	Yabancı Dil	Kariyer-İş Hayatı Bilgisi	Profesyonel Ağ ve Sosyal Etkileşim
Aday 1	31,23	0,00	0,00	10,72	7,34	11,85	10,11	6,93	2,37	0,00	4,96	23,44
Aday 2	1,64	0,00	0,00	1,35	1,32	1,51	1,51	1,30	0,84	0,47	0,55	2,93
Aday 3	0,94	2,58	0,00	0,85	0,75	0,73	0,96	0,89	0,56	0,46	0,83	1,23
Aday 4	2,68	0,00	6,49	2,40	1,17	1,48	3,16	1,89	0,84	0,45	1,65	2,81
Aday 5	5,17	0,00	6,49	4,85	2,09	2,68	6,59	4,53	1,56	0,41	3,31	5,41
Aday 6	3,09	0,00	3,25	3,46	1,64	1,97	5,11	3,67	1,36	0,37	2,48	4,40
Aday 7	8,87	0,00	0,00	5,34	3,14	5,18	7,98	9,42	2,02	0,49	0,71	7,03
Aday 8	3,33	0,00	0,00	4,14	1,57	1,76	7,46	4,17	2,09	0,37	3,31	2,51
Aday 9	10,81	0,00	0,00	19,80	5,35	6,38	26,76	15,97	6,05	0,00	9,92	23,44
Aday 10	9,16	0,00	0,00	16,77	7,08	10,37	28,43	15,30	13,61	0,46	9,92	8,79
Aday 11	7,40	0,00	0,00	11,98	5,21	5,18	28,43	12,24	6,80	0,39	9,92	10,05
Aday 12	12,40	0,00	0,00	16,97	6,60	6,38	41,36	22,96	18,15	0,00	9,92	17,58
Aday 13	421,54	0,00	0,00	158,38	66,04	41,47	113,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Aday 14	0,72	0,00	0,00	0,60	0,60	0,70	0,60	0,65	0,56	0,39	1,65	2,13
Aday 15	1,27	0,00	1,08	1,11	0,76	0,85	1,28	1,00	0,55	0,48	1,98	1,76
Aday 16	2,22	0,00	3,25	1,63	1,09	1,54	1,70	1,46	0,66	0,48	2,48	5,41
Aday 17	1,08	0,00	0,00	1,00	0,86	0,93	1,11	1,06	0,51	0,46	3,31	1,60
Aday 18	1,43	0,00	3,25	1,74	0,74	0,75	2,56	1,09	0,50	0,00	2,48	2,07
Aday 19	2,13	5,16	0,00	2,00	1,13	1,38	2,61	1,74	0,75	0,49	1,42	2,51
Aday 20	2,40	1,29	0,00	2,31	1,69	1,76	3,16	2,55	1,21	0,46	3,31	8,79
Aday 21	2,15	2,58	0,00	2,22	0,97	1,12	3,37	1,80	0,63	0,40	1,98	2,34
Aday 22	10,16	0,00	0,00	11,78	4,40	6,91	19,78	14,69	4,95	0,00	0,66	23,44
Aday 23	12,77	0,00	0,00	13,20	4,61	5,92	26,76	21,61	10,89	0,49	1,65	70,33
Aday 24	4,74	0,00	0,00	6,01	2,30	2,59	8,75	5,57	2,09	0,44	9,92	5,41
Aday 25	30,11	0,00	0,00	27,95	11,01	10,37	75,82	91,83	27,22	0,39	9,92	70,33
Aday 26	9,47	0,00	0,00	14,54	5,35	6,91	28,43	13,12	6,80	0,39	9,92	14,07
Aday 27	9,07	0,00	0,00	13,58	5,35	5,18	45,49	14,69	18,15	0,38	9,92	17,58
Aday 28	19,16	0,00	0,00	44,54	18,01	20,74	64,99	45,91	27,22	0,37	9,92	35,16
Aday 29	9,69	0,00	0,00	8,91	2,87	2,86	13,79	8,16	3,40	0,00	4,96	17,58
Aday 30	18,74	0,00	0,00	16,20	5,83	6,91	32,49	28,26	13,61	0,40	4,96	70,33
Aday 31	4,93	0,00	0,00	4,40	2,33	3,19	5,83	5,57	1,81	0,34	0,45	7,81
Aday 32	3,00	0,00	0,00	2,95	1,94	1,93	3,99	3,87	1,18	0,45	3,31	4,40
Aday 33	0,00	0,00	0,00	79,19	33,02	20,74	227,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Aday 34	0,65	5,16	0,00	0,66	0,35	0,36	0,94	0,59	0,34	0,49	1,24	1,12
Aday 35	0,35	0,00	6,49	0,36	0,32	0,33	0,38	0,36	0,30	0,49	1,65	0,38
Aday 36	0,39	5,16	6,49	0,40	0,35	0,35	0,44	0,42	0,43	0,35	1,98	0,43
Aday 37	0,74	5,16	0,00	0,77	0,38	0,37	1,20	0,66	0,32	0,40	1,98	0,73
Aday 38	0,73	0,00	0,00	0,67	0,45	0,46	0,85	0,62	0,41	0,47	2,48	0,94
Aday 39	0,75	0,00	0,93	0,72	0,65	0,65	0,81	0,76	0,59	0,37	2,48	2,20
Aday 40	0,53	5,16	6,49	0,53	0,44	0,44	0,61	0,52	0,40	0,45	1,65	0,60
Aday 41	1,26	0,00	6,49	1,59	0,91	0,89	2,83	1,58	1,16	0,47	2,48	1,38
Aday 42	3,85	0,47	0,00	4,90	1,96	2,96	7,11	5,40	1,43	0,42	1,42	2,34
Aday 43	1,12	0,00	0,00	1,60	0,90	0,88	2,58	1,61	1,24	0,45	4,96	0,87
Aday 44	0,93	2,58	6,49	0,76	0,75	0,80	0,82	0,87	0,59	0,44	2,48	1,41
Aday 45	3,28	5,16	6,49	3,43	1,94	2,24	4,10	3,53	2,47	0,41	4,96	3,20
Aday 46	6,80	0,00	0,00	8,91	4,13	4,61	14,67	5,92	3,02	0,37	9,92	23,44
Aday 47	1,87	0,00	0,00	2,12	1,41	1,38	2,92	2,04	1,51	0,35	9,92	7,81
Aday 48	21,08	0,00	0,00	24,16	7,34	10,37	34,99	20,41	10,89	0,37	4,96	23,44

Ek 4 – Devamı. SPC yöntemi simetri modül matrisi

R	Yayın	Üyelik	Ödül	Uzmanlık	Tecrübe	Panellere Yönelik Bilgiler	Akademik Bilgiler	Kişilik Özellikleri	Çalışma Yoğunluğu	Yabancı Dil	Kariyer-İş Hayatı Bilgisi	Profesyonel Ağ ve Sosyal Etkileşim
Aday 49	1,52	0,00	0,00	1,93	1,20	1,18	2,74	1,79	1,43	0,47	3,31	1,41
Aday 50	1,18	5,16	0,00	1,13	0,97	1,06	1,28	1,18	0,69	0,44	0,71	2,81
Aday 51	1,61	0,00	0,00	1,96	0,85	1,05	3,01	1,82	0,78	0,42	0,35	1,12
Aday 52	0,89	0,00	6,49	0,98	1,04	1,04	1,05	1,03	0,77	0,37	1,98	0,91
Aday 53	2,66	0,00	6,49	9,63	3,36	2,51	11,66	4,96	2,59	0,00	4,96	1,50
Aday 54	3,50	5,16	0,00	3,49	1,37	2,02	5,29	3,43	1,09	0,45	0,66	4,40
Aday 55	3,85	0,00	0,00	5,66	2,45	2,68	9,28	5,74	3,20	0,38	9,92	3,20
Aday 56	2,75	0,00	6,49	3,55	1,68	1,76	5,62	3,64	2,47	0,00	4,96	2,07
Aday 57	6,54	0,00	0,00	7,46	3,48	3,95	11,37	10,20	4,19	0,41	4,96	8,79
Aday 58	2,96	5,16	0,00	2,67	1,22	1,48	3,89	2,15	0,79	0,35	1,42	4,69
Aday 59	2,21	0,00	0,00	2,15	1,14	1,38	2,97	1,84	0,73	0,45	3,31	2,51
Aday 60	0,94	5,16	0,00	0,94	1,08	1,00	1,06	1,00	0,94	0,35	3,31	1,50
Aday 61	2,56	0,00	0,00	2,24	1,36	2,02	2,71	2,28	0,92	0,40	0,71	4,69
Aday 62	7,46	0,00	0,00	7,54	3,60	5,18	11,37	10,49	2,09	0,52	2,48	10,05
Aday 63	4,37	5,16	0,00	5,20	2,87	3,07	7,84	5,74	3,40	0,39	2,48	11,72
Aday 64	9,69	0,00	1,62	10,72	3,81	4,88	15,69	11,13	6,05	0,34	4,96	17,58
Aday 65	10,41	5,16	0,00	6,63	3,42	9,22	8,75	8,54	1,70	0,48	2,48	14,07
Aday 66	2,20	0,00	0,00	2,25	1,94	2,44	2,34	2,45	1,94	0,53	3,31	3,52
Aday 67	2,63	1,29	3,25	3,64	2,71	2,96	4,21	4,04	3,63	0,43	3,31	1,85
Aday 68	5,98	0,00	0,00	9,97	4,13	4,88	19,78	12,67	18,15	0,00	9,92	5,02
Aday 69	2,82	0,00	0,00	3,72	2,79	2,86	4,79	3,60	2,59	0,46	9,92	3,91
Aday 70	24,09	5,16	6,49	21,27	12,38	13,82	28,43	22,96	6,80	0,36	4,96	10,05
Aday 71	1,20	0,00	1,62	0,99	1,02	1,06	1,02	1,01	0,56	0,44	0,99	5,41
Aday 72	0,88	2,58	0,46	0,71	0,98	1,17	0,65	0,77	0,60	0,33	1,24	2,20
Aday 73	5,14	0,00	6,49	5,18	2,23	2,44	7,46	5,03	1,43	0,51	9,92	17,58
Aday 74	1,72	0,00	0,00	1,93	1,26	1,48	2,54	1,96	0,97	0,40	1,65	1,44
Aday 75	9,92	0,00	0,00	8,69	5,08	6,91	13,38	9,93	3,02	0,40	2,48	35,16
Aday 76	4,61	0,00	6,49	5,63	2,18	2,51	10,34	5,17	3,02	0,42	3,31	5,86
Aday 77	3,21	0,00	0,00	2,59	1,17	1,38	4,06	2,80	0,71	0,48	4,96	7,03
Aday 78	3,65	0,00	0,00	3,72	1,46	1,97	5,83	3,67	0,97	0,38	1,10	2,81
Aday 79	1,47	0,00	0,00	1,55	0,88	0,88	2,54	1,68	1,27	0,57	1,10	2,27
Aday 80	25,55	0,00	0,00	20,08	12,38	9,22	26,76	61,22	54,44	0,00	0,00	0,00
Aday 81	5,94	0,00	0,00	8,10	2,91	2,96	16,85	7,65	4,19	0,37	9,92	8,79
Aday 82	4,79	0,00	0,00	5,28	2,79	2,96	7,11	5,25	1,88	0,40	1,42	11,72
Aday 83	0,00	0,00	0,00	1425,38	0,00	0,00	227,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Aday 84	24,80	0,00	0,00	33,15	7,08	6,91	41,36	15,97	13,61	0,00	0,00	0,00
Aday 85	17,21	0,00	0,00	16,97	9,91	16,59	18,20	17,49	9,07	0,40	9,92	35,16

Ek 5. CEBM yöntemi normalize değerler

$[d_{ij}]$	Yayın	Üyelik	Ödül	Uzmanlık	Tecrübe	Panelere Yönelik Bilgiler	Akademik Bilgiler	Kişilik Özellikleri	Çalışma Yoğunluğu	Yabancı Dil	Kariyer-İş Hayatı Bilgisi	Profesyonel Ağ ve Sosyal Etkileşim
Aday 1	0,01	0,00	0,00	0,03	0,04	0,03	0,04	0,05	0,87	0,00	0,07	0,02
Aday 2	0,22	0,00	0,00	0,26	0,24	0,22	0,25	0,28	0,64	0,71	0,64	0,13
Aday 3	0,38	0,18	0,00	0,42	0,43	0,46	0,39	0,40	0,46	0,73	0,43	0,31
Aday 4	0,13	0,00	0,07	0,15	0,27	0,23	0,12	0,19	0,64	0,75	0,21	0,14
Aday 5	0,07	0,00	0,07	0,07	0,15	0,13	0,06	0,08	0,81	0,82	0,11	0,07
Aday 6	0,11	0,00	0,14	0,10	0,20	0,17	0,07	0,10	0,78	0,91	0,14	0,09
Aday 7	0,04	0,00	0,00	0,07	0,10	0,06	0,05	0,04	0,85	0,69	0,50	0,05
Aday 8	0,11	0,00	0,00	0,09	0,20	0,19	0,05	0,09	0,86	0,90	0,11	0,15
Aday 9	0,03	0,00	0,00	0,02	0,06	0,05	0,01	0,02	0,95	0,00	0,04	0,02
Aday 10	0,04	0,00	0,00	0,02	0,05	0,03	0,01	0,02	0,98	0,73	0,04	0,04
Aday 11	0,05	0,00	0,00	0,03	0,06	0,06	0,01	0,03	0,96	0,85	0,04	0,04
Aday 12	0,03	0,00	0,00	0,02	0,05	0,05	0,01	0,02	0,98	0,00	0,04	0,02
Aday 13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
Aday 14	0,49	0,00	0,00	0,60	0,54	0,48	0,63	0,55	0,46	0,85	0,21	0,18
Aday 15	0,28	0,00	0,43	0,32	0,42	0,40	0,30	0,36	0,45	0,70	0,18	0,22
Aday 16	0,16	0,00	0,14	0,22	0,29	0,22	0,22	0,25	0,54	0,70	0,14	0,07
Aday 17	0,33	0,00	0,00	0,36	0,37	0,36	0,34	0,34	0,41	0,73	0,11	0,24
Aday 18	0,25	0,00	0,14	0,21	0,43	0,45	0,15	0,33	0,39	0,00	0,14	0,18
Aday 19	0,17	0,09	0,00	0,18	0,29	0,24	0,14	0,21	0,59	0,69	0,25	0,15
Aday 20	0,15	0,36	0,00	0,15	0,19	0,19	0,12	0,14	0,75	0,73	0,11	0,04
Aday 21	0,17	0,18	0,00	0,16	0,33	0,30	0,11	0,20	0,52	0,83	0,18	0,16
Aday 22	0,03	0,00	0,00	0,03	0,07	0,05	0,02	0,02	0,94	0,00	0,54	0,02
Aday 23	0,03	0,00	0,00	0,03	0,07	0,06	0,01	0,02	0,97	0,69	0,21	0,01
Aday 24	0,07	0,00	0,00	0,06	0,14	0,13	0,04	0,06	0,86	0,76	0,04	0,07
Aday 25	0,01	0,00	0,00	0,01	0,03	0,03	0,00	0,00	0,99	0,86	0,04	0,01
Aday 26	0,04	0,00	0,00	0,02	0,06	0,05	0,01	0,03	0,96	0,85	0,04	0,03
Aday 27	0,04	0,00	0,00	0,03	0,06	0,06	0,01	0,02	0,98	0,89	0,04	0,02
Aday 28	0,02	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	0,00	0,01	0,99	0,90	0,04	0,01
Aday 29	0,04	0,00	0,00	0,04	0,11	0,12	0,03	0,04	0,91	0,00	0,07	0,02
Aday 30	0,02	0,00	0,00	0,02	0,06	0,05	0,01	0,01	0,98	0,83	0,07	0,01
Aday 31	0,07	0,00	0,00	0,08	0,14	0,10	0,06	0,06	0,83	0,97	0,79	0,05
Aday 32	0,12	0,00	0,00	0,12	0,17	0,17	0,09	0,09	0,74	0,75	0,11	0,09
Aday 33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
Aday 34	0,55	0,09	0,00	0,54	0,93	0,94	0,40	0,61	0,11	0,68	0,29	0,34
Aday 35	1,00	0,00	0,07	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,68	0,21	1,00
Aday 36	0,91	0,09	0,07	0,89	0,92	0,95	0,87	0,86	0,29	0,96	0,18	0,88
Aday 37	0,48	0,09	0,00	0,47	0,84	0,90	0,32	0,54	0,05	0,83	0,18	0,52
Aday 38	0,49	0,00	0,00	0,53	0,71	0,73	0,45	0,58	0,26	0,71	0,14	0,41
Aday 39	0,48	0,00	0,50	0,50	0,50	0,52	0,47	0,47	0,48	0,90	0,14	0,17
Aday 40	0,67	0,09	0,07	0,67	0,73	0,76	0,62	0,69	0,25	0,74	0,21	0,64
Aday 41	0,28	0,00	0,07	0,22	0,35	0,38	0,13	0,23	0,74	0,71	0,14	0,28
Aday 42	0,09	1,00	0,00	0,07	0,16	0,11	0,05	0,07	0,79	0,79	0,25	0,16
Aday 43	0,32	0,00	0,00	0,22	0,36	0,38	0,15	0,22	0,76	0,75	0,07	0,44
Aday 44	0,38	0,18	0,07	0,47	0,43	0,42	0,46	0,41	0,49	0,76	0,14	0,27
Aday 45	0,11	0,09	0,07	0,10	0,17	0,15	0,09	0,10	0,88	0,81	0,07	0,12
Aday 46	0,05	0,00	0,00	0,04	0,08	0,07	0,02	0,06	0,90	0,90	0,04	0,02
Aday 47	0,19	0,00	0,00	0,17	0,23	0,24	0,13	0,18	0,80	0,95	0,04	0,05
Aday 48	0,02	0,00	0,00	0,01	0,04	0,03	0,01	0,02	0,97	0,91	0,07	0,02

Ek 5 – Devamı. Cebm yöntemi normalize değerler

$[d_{ij}]$	Yayın	Üyelik	Ödül	Uzmanlık	Tecrübe	Panelere Yönelik Bilgiler	Akademik Bilgiler	Kişilik Özellikleri	Çalışma Yoğunluğu	Yabancı Dil	Kariyer-İş Hayatı Bilgisi	Profesyonel Ağ ve Sosyal Etkileşim
Aday 49	0,23	0,00	0,00	0,19	0,27	0,28	0,14	0,20	0,79	0,71	0,11	0,27
Aday 50	0,30	0,09	0,00	0,32	0,33	0,31	0,30	0,30	0,56	0,76	0,50	0,14
Aday 51	0,22	0,00	0,00	0,18	0,38	0,32	0,12	0,20	0,61	0,80	1,00	0,34
Aday 52	0,40	0,00	0,07	0,37	0,31	0,32	0,36	0,35	0,61	0,91	0,18	0,42
Aday 53	0,13	0,00	0,07	0,04	0,10	0,13	0,03	0,07	0,88	0,00	0,07	0,26
Aday 54	0,10	0,09	0,00	0,10	0,24	0,17	0,07	0,10	0,72	0,75	0,54	0,09
Aday 55	0,09	0,00	0,00	0,06	0,13	0,13	0,04	0,06	0,91	0,89	0,04	0,12
Aday 56	0,13	0,00	0,07	0,10	0,19	0,19	0,07	0,10	0,88	0,00	0,07	0,18
Aday 57	0,05	0,00	0,00	0,05	0,09	0,08	0,03	0,04	0,93	0,81	0,07	0,04
Aday 58	0,12	0,09	0,00	0,13	0,26	0,23	0,10	0,17	0,62	0,95	0,25	0,08
Aday 59	0,16	0,00	0,00	0,17	0,28	0,24	0,13	0,19	0,58	0,74	0,11	0,15
Aday 60	0,38	0,09	0,00	0,38	0,30	0,33	0,36	0,36	0,68	0,95	0,11	0,26
Aday 61	0,14	0,00	0,00	0,16	0,24	0,17	0,14	0,16	0,67	0,83	0,50	0,08
Aday 62	0,05	0,00	0,00	0,05	0,09	0,06	0,03	0,03	0,86	0,65	0,14	0,04
Aday 63	0,08	0,09	0,00	0,07	0,11	0,11	0,05	0,06	0,91	0,85	0,14	0,03
Aday 64	0,04	0,00	0,29	0,03	0,08	0,07	0,02	0,03	0,95	0,99	0,07	0,02
Aday 65	0,03	0,09	0,00	0,05	0,09	0,04	0,04	0,04	0,82	0,70	0,14	0,03
Aday 66	0,16	0,00	0,00	0,16	0,17	0,14	0,16	0,15	0,84	0,63	0,11	0,11
Aday 67	0,14	0,36	0,14	0,10	0,12	0,11	0,09	0,09	0,92	0,78	0,11	0,21
Aday 68	0,06	0,00	0,00	0,04	0,08	0,07	0,02	0,03	0,98	0,00	0,04	0,08
Aday 69	0,13	0,00	0,00	0,10	0,12	0,12	0,08	0,10	0,88	0,73	0,04	0,10
Aday 70	0,01	0,09	0,07	0,02	0,03	0,02	0,01	0,02	0,96	0,94	0,07	0,04
Aday 71	0,29	0,00	0,29	0,36	0,32	0,31	0,37	0,35	0,46	0,76	0,36	0,07
Aday 72	0,41	0,18	1,00	0,50	0,33	0,29	0,58	0,47	0,50	1,00	0,29	0,17
Aday 73	0,07	0,00	0,07	0,07	0,14	0,14	0,05	0,07	0,79	0,66	0,04	0,02
Aday 74	0,21	0,00	0,00	0,19	0,25	0,23	0,15	0,18	0,69	0,84	0,21	0,27
Aday 75	0,04	0,00	0,00	0,04	0,06	0,05	0,03	0,04	0,90	0,84	0,14	0,01
Aday 76	0,08	0,00	0,07	0,06	0,15	0,13	0,04	0,07	0,90	0,79	0,11	0,07
Aday 77	0,11	0,00	0,00	0,14	0,28	0,24	0,09	0,13	0,57	0,70	0,07	0,05
Aday 78	0,10	0,00	0,00	0,10	0,22	0,17	0,06	0,10	0,69	0,89	0,32	0,14
Aday 79	0,24	0,00	0,00	0,23	0,36	0,38	0,15	0,21	0,76	0,58	0,32	0,17
Aday 80	0,01	0,00	0,00	0,02	0,03	0,04	0,01	0,01	0,99	0,00	0,00	0,00
Aday 81	0,06	0,00	0,00	0,04	0,11	0,11	0,02	0,05	0,93	0,90	0,04	0,04
Aday 82	0,07	0,00	0,00	0,07	0,12	0,11	0,05	0,07	0,84	0,84	0,25	0,03
Aday 83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
Aday 84	0,01	0,00	0,00	0,01	0,05	0,05	0,01	0,02	0,98	0,00	0,00	0,00
Aday 85	0,02	0,00	0,00	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,97	0,84	0,04	0,01

Ek 6. CEBM yöntemi etki değerleri hesaplamaları

X	Y	KÜBİK FONKSİYONLAR	KÜBİK FONKSİYONLARA DAYALI ETKİLEŞİM İNTEGRALLERİ	ETKİ	MUTLAK ETKİ	TOPLAM ETKİ
Yayın	Üyelik	$0.512 * x^3 - 0.881 * x^2 + 0.406 * x + 0.012$	$\int_0^1 (1.536*x^2 - 1.762*x + 0.406) dx$	0,04	0,04	7,44
	Ödül	$-0.395 * x^3 + 0.073 * x^2 + 0.360 * x - 0.004$	$\int_0^1 (-1.185*x^2 + 0.146*x + 0.36) dx$	0,04	0,04	
	Uzmanlık	$-0.476 * x^3 + 0.560 * x^2 + 0.893 * x - 0.001$	$\int_0^1 (-1.428*x^2 + 1.12*x + 0.893) dx$	0,98	0,98	
	Tecrübe	$-0.184 * x^3 - 0.068 * x^2 + 1.221 * x + 0.032$	$\int_0^1 (-0.552*x^2 - 0.136*x + 1.221) dx$	0,97	0,97	
	Panellere Yönelik Bilgiler	$-0.760 * x^3 + 0.713 * x^2 + 1.020 * x + 0.027$	$\int_0^1 (-2.28*x^2 + 1.426*x + 1.02) dx$	0,97	0,97	
	Akademik Bilgiler	$-0.440 * x^3 + 0.656 * x^2 + 0.760 * x - 0.009$	$\int_0^1 (-1.32*x^2 + 1.312*x + 0.76) dx$	0,98	0,98	
	Kişilik Özellikleri	$-0.396 * x^3 + 0.399 * x^2 + 0.969 * x - 0.004$	$\int_0^1 (-1.188*x^2 + 0.798*x + 0.969) dx$	0,97	0,97	
	Çalışma Yoğunluğu	$-0.642 * x^3 + 1.688 * x^2 - 1.950 * x + 0.993$	$\int_0^1 (-1.926*x^2 + 3.376*x - 1.95) dx$	-0,90	0,90	
	Yabancı Dil	$2.870 * x^3 - 4.707 * x^2 + 2.189 * x + 0.494$	$\int_0^1 (8.61*x^2 - 9.414*x + 2.189) dx$	0,35	0,35	
	Kariyer - İş Hayatı Bilgisi	$2.474 * x^3 - 3.951 * x^2 + 1.670 * x + 0.048$	$\int_0^1 (7.422*x^2 - 7.902*x + 1.67) dx$	0,19	0,19	
	Profesyonel Ağ ve Sosyal Etkileşim	$1.328 * x^3 - 1.388 * x^2 + 1.104 * x - 0.007$	$\int_0^1 (3.984*x^2 - 2.776*x + 1.104) dx$	1,04	1,04	
Üyelik	Yayın	$7.102 * x^3 - 9.768 * x^2 + 2.621 * x + 0.138$	$\int_0^1 (21.306*x^2 - 19.536*x + 2.621) dx$	-0,04	0,04	0,68
	Ödül	$0.265 * x^3 - 0.867 * x^2 + 0.564 * x + 0.036$	$\int_0^1 (0.795*x^2 - 1.734*x + 0.564) dx$	-0,04	0,04	
	Uzmanlık	$7.812 * x^3 - 10.782 * x^2 + 2.909 * x + 0.134$	$\int_0^1 (23.436*x^2 - 21.564*x + 2.909) dx$	-0,06	0,06	
	Tecrübe	$9.571 * x^3 - 12.865 * x^2 + 3.268 * x + 0.190$	$\int_0^1 (28.713*x^2 - 25.73*x + 3.268) dx$	-0,03	0,03	
	Panellere Yönelik Bilgiler	$9.505 * x^3 - 12.859 * x^2 + 3.288 * x + 0.180$	$\int_0^1 (28.515*x^2 - 25.718*x + 3.288) dx$	-0,07	0,07	
	Akademik Bilgiler	$7.172 * x^3 - 9.963 * x^2 + 2.730 * x + 0.112$	$\int_0^1 (21.516*x^2 - 19.926*x + 2.73) dx$	-0,06	0,06	
	Kişilik Özellikleri	$8.191 * x^3 - 11.219 * x^2 + 2.958 * x + 0.136$	$\int_0^1 (24.573*x^2 - 22.438*x + 2.958) dx$	-0,07	0,07	
	Çalışma Yoğunluğu	$-10.704 * x^3 + 14.470 * x^2 - 3.769 * x + 0.792$	$\int_0^1 (-32.112*x^2 + 28.94*x - 3.769) dx$	0,00	0,00	
	Yabancı Dil	$6.342 * x^3 - 8.885 * x^2 + 2.709 * x + 0.626$	$\int_0^1 (19.026*x^2 - 17.77*x + 2.709) dx$	0,17	0,17	
	Kariyer - İş Hayatı Bilgisi	$4.290 * x^3 - 5.536 * x^2 + 1.343 * x + 0.153$	$\int_0^1 (12.87*x^2 - 11.072*x + 1.343) dx$	0,10	0,10	
	Profesyonel Ağ ve Sosyal Etkileşim	$5.778 * x^3 - 7.777 * x^2 + 2.048 * x + 0.116$	$\int_0^1 (17.334*x^2 - 15.554*x + 2.048) dx$	0,05	0,05	

Ek 6 – Devamı. CEBM yöntemi etki değerleri hesaplamaları

X	Y	KÜBİK FONKSİYONLAR	KÜBİK FONKSİYONLARA DAYALI ETKİLEŞİM İNTEGRALLERİ	ETKİ	MUTLAK ETKİ	TOPLAM ETKİ
Ödül	Yayın	$2.238 * x^3 - 3.392 * x^2 + 1.432 * x + 0.140$	$\int_0^1 (6.714*x^2 - 6.784*x + 1.432) dx$	0,28	0,28	2,67
	Üyelik	$1.139 * x^3 - 1.217 * x^2 + 0.219 * x + 0.040$	$\int_0^1 (3.417*x^2 - 2.434*x + 0.219) dx$	0,14	0,14	
	Uzmanlık	$1.873 * x^3 - 2.840 * x^2 + 1.342 * x + 0.137$	$\int_0^1 (5.619*x^2 - 5.68*x + 1.342) dx$	0,38	0,38	
	Tecrübe	$1.667 * x^3 - 2.848 * x^2 + 1.322 * x + 0.200$	$\int_0^1 (5.001*x^2 - 5.696*x + 1.322) dx$	0,14	0,14	
	Panellere Yönelik Bilgiler	$1.635 * x^3 - 2.883 * x^2 + 1.358 * x + 0.189$	$\int_0^1 (4.905*x^2 - 5.766*x + 1.358) dx$	0,11	0,11	
	Akademik Bilgiler	$2.189 * x^3 - 3.133 * x^2 + 1.424 * x + 0.111$	$\int_0^1 (6.567*x^2 - 6.266*x + 1.424) dx$	0,48	0,48	
	Kişilik Özellikleri	$2.066 * x^3 - 3.189 * x^2 + 1.464 * x + 0.138$	$\int_0^1 (6.198*x^2 - 6.378*x + 1.464) dx$	0,34	0,34	
	Çalışma Yoğunluğu	$-1.503 * x^3 + 2.631 * x^2 - 1.416 * x + 0.781$	$\int_0^1 (-4.509*x^2 + 5.262*x - 1.416) dx$	-0,29	0,29	
	Yabancı Dil	$-0.937 * x^3 + 1.242 * x^2 + 0.037 * x + 0.656$	$\int_0^1 (-2.811*x^2 + 2.484*x + 0.037) dx$	0,34	0,34	
	Kariyer - İş Hayatı Bilgisi	$-1.036 * x^3 + 1.652 * x^2 - 0.510 * x + 0.175$	$\int_0^1 (-3.108*x^2 + 3.304*x - 0.51) dx$	0,11	0,11	
	Profesyonel Ağ ve Sosyal Etkileşim	$4.358 * x^3 - 6.128 * x^2 + 1.842 * x + 0.115$	$\int_0^1 (13.074*x^2 - 12.256*x + 1.842) dx$	0,07	0,07	
Uzmanlık	Yayın	$0.554 * x^3 - 0.627 * x^2 + 1.094 * x + 0.005$	$\int_0^1 (1.662*x^2 - 1.254*x + 1.094) dx$	1,02	1,02	7,61
	Üyelik	$0.175 * x^3 - 0.415 * x^2 + 0.259 * x + 0.020$	$\int_0^1 (0.525*x^2 - 0.83*x + 0.259) dx$	0,02	0,02	
	Ödül	$-1.141 * x^3 + 1.096 * x^2 + 0.051 * x + 0.010$	$\int_0^1 (-3.423*x^2 + 2.192*x + 0.051) dx$	0,01	0,01	
	Tecrübe	$0.880 * x^3 - 1.432 * x^2 + 1.558 * x + 0.026$	$\int_0^1 (2.64*x^2 - 2.864*x + 1.558) dx$	1,01	1,01	
	Panellere Yönelik Bilgiler	$0.389 * x^3 - 0.737 * x^2 + 1.356 * x + 0.022$	$\int_0^1 (1.167*x^2 - 1.474*x + 1.356) dx$	1,01	1,01	
	Akademik Bilgiler	$-0.271 * x^3 + 0.512 * x^2 + 0.752 * x - 0.005$	$\int_0^1 (-0.813*x^2 + 1.024*x + 0.752) dx$	0,99	0,99	
	Kişilik Özellikleri	$0.189 * x^3 - 0.308 * x^2 + 1.116 * x - 0.004$	$\int_0^1 (0.567*x^2 - 0.616*x + 1.116) dx$	1,00	1,00	
	Çalışma Yoğunluğu	$-1.616 * x^3 + 3.029 * x^2 - 2.354 * x + 1.005$	$\int_0^1 (-4.848*x^2 + 6.058*x - 2.354) dx$	-0,94	0,94	
	Yabancı Dil	$2.844 * x^3 - 4.771 * x^2 + 2.276 * x + 0.492$	$\int_0^1 (8.532*x^2 - 9.542*x + 2.276) dx$	0,35	0,35	
	Kariyer - İş Hayatı Bilgisi	$2.715 * x^3 - 4.396 * x^2 + 1.889 * x + 0.038$	$\int_0^1 (8.145*x^2 - 8.792*x + 1.889) dx$	0,21	0,21	
	Profesyonel Ağ ve Sosyal Etkileşim	$2.011 * x^3 - 2.161 * x^2 + 1.215 * x + 0.001$	$\int_0^1 (6.033*x^2 - 4.322*x + 1.215) dx$	1,07	1,07	

Ek 6 – Devamı. CEBM yöntemi etki değerleri hesaplamaları

X	Y	KÜBİK FONKSİYONLAR	KÜBİK FONKSİYONLARA DAYALI ETKİLEŞİM İNTEGRALLERİ	ETKİ	MUTLAK ETKİ	TOPLAM ETKİ
Tecrübe	Yayın	$0.282 * x^3 - 0.293 * x^2 + 0.883 * x - 0.020$	$\int_0^1 (0.846 * x^2 - 0.586 * x + 0.883) dx$	0,87	0,87	7,04
	Üyelik	$0.845 * x^3 - 1.286 * x^2 + 0.532 * x - 0.004$	$\int_0^1 (2.535 * x^2 - 2.572 * x + 0.532) dx$	0,09	0,09	
	Ödül	$-0.445 * x^3 + 0.123 * x^2 + 0.321 * x - 0.011$	$\int_0^1 (-1.335 * x^2 + 0.246 * x + 0.321) dx$	0,00	0,00	
	Uzmanlık	$-0.187 * x^3 + 0.237 * x^2 + 0.793 * x - 0.023$	$\int_0^1 (-0.561 * x^2 + 0.474 * x + 0.793) dx$	0,84	0,84	
	Panellere Yönelik Bilgiler	$-0.556 * x^3 + 0.852 * x^2 + 0.702 * x + 0.008$	$\int_0^1 (-1.668 * x^2 + 1.704 * x + 0.702) dx$	1,00	1,00	
	Akademik Bilgiler	$-0.071 * x^3 + 0.107 * x^2 + 0.753 * x - 0.032$	$\int_0^1 (-0.213 * x^2 + 0.214 * x + 0.753) dx$	0,79	0,79	
	Kişilik Özellikleri	$-0.341 * x^3 + 0.458 * x^2 + 0.744 * x - 0.022$	$\int_0^1 (-1.023 * x^2 + 0.916 * x + 0.744) dx$	0,86	0,86	
	Çalışma Yoğunluğu	$0.018 * x^3 + 0.505 * x^2 - 1.473 * x + 1.032$	$\int_0^1 (0.054 * x^2 + 1.01 * x - 1.473) dx$	-0,95	0,95	
	Yabancı Dil	$4.304 * x^3 - 6.797 * x^2 + 3.006 * x + 0.387$	$\int_0^1 (12.912 * x^2 - 13.594 * x + 3.006) dx$	0,51	0,51	
	Kariyer - İş Hayatı Bilgisi	$1.911 * x^3 - 3.349 * x^2 + 1.689 * x - 0.004$	$\int_0^1 (5.733 * x^2 - 6.698 * x + 1.689) dx$	0,25	0,25	
	Profesyonel Ağ ve Sosyal Etkileşim	$1.252 * x^3 - 1.332 * x^2 + 0.953 * x - 0.022$	$\int_0^1 (3.756 * x^2 - 2.664 * x + 0.953) dx$	0,87	0,87	
Panellere Yönelik Bilgiler	Yayın	$0.552 * x^3 - 0.785 * x^2 + 1.079 * x - 0.024$	$\int_0^1 (1.656 * x^2 - 1.57 * x + 1.079) dx$	0,85	0,85	6,86
	Üyelik	$0.703 * x^3 - 1.033 * x^2 + 0.405 * x + 0.010$	$\int_0^1 (2.109 * x^2 - 2.066 * x + 0.405) dx$	0,08	0,08	
	Ödül	$-0.239 * x^3 - 0.154 * x^2 + 0.409 * x - 0.011$	$\int_0^1 (-0.717 * x^2 - 0.308 * x + 0.409) dx$	0,02	0,02	
	Uzmanlık	$0.135 * x^3 - 0.307 * x^2 + 0.993 * x - 0.026$	$\int_0^1 (0.405 * x^2 - 0.614 * x + 0.993) dx$	0,82	0,82	
	Tecrübe	$0.576 * x^3 - 0.842 * x^2 + 1.259 * x - 0.001$	$\int_0^1 (1.728 * x^2 - 1.684 * x + 1.259) dx$	0,99	0,99	
	Akademik Bilgiler	$0.232 * x^3 - 0.418 * x^2 + 0.948 * x - 0.035$	$\int_0^1 (0.696 * x^2 - 0.836 * x + 0.948) dx$	0,76	0,76	
	Kişilik Özellikleri	$0.052 * x^3 - 0.178 * x^2 + 0.971 * x - 0.026$	$\int_0^1 (0.156 * x^2 - 0.356 * x + 0.971) dx$	0,85	0,85	
	Çalışma Yoğunluğu	$-0.716 * x^3 + 1.498 * x^2 - 1.739 * x + 1.026$	$\int_0^1 (-2.148 * x^2 + 2.996 * x - 1.739) dx$	-0,96	0,96	
	Yabancı Dil	$4.288 * x^3 - 6.610 * x^2 + 2.792 * x + 0.428$	$\int_0^1 (12.864 * x^2 - 13.22 * x + 2.792) dx$	0,47	0,47	
	Kariyer - İş Hayatı Bilgisi	$1.931 * x^3 - 3.228 * x^2 + 1.518 * x + 0.028$	$\int_0^1 (5.793 * x^2 - 6.456 * x + 1.518) dx$	0,22	0,22	
	Profesyonel Ağ ve Sosyal Etkileşim	$1.550 * x^3 - 1.832 * x^2 + 1.132 * x - 0.026$	$\int_0^1 (4.65 * x^2 - 3.664 * x + 1.132) dx$	0,85	0,85	

Ek 6 – Devamı. CEBM yöntemi etki değerleri hesaplamaları

X	Y	KÜBİK FONKSİYONLAR	KÜBİK FONKSİYONLARA DAYALI ETKİLEŞİM İNTEGRALLERİ	ETKİ	MUTLAK ETKİ	TOPLAM ETKİ
Akademik Bilgiler	Yayın	$1.345 * x^3 - 1.802 * x^2 + 1.488 * x + 0.011$	$\int_0^1 (4.035 * x^2 - 3.604 * x + 1.488) dx$	1,03	1,03	7,66
	Üyelik	$0.106 * x^3 - 0.330 * x^2 + 0.233 * x + 0.024$	$\int_0^1 (0.318 * x^2 - 0.66 * x + 0.233) dx$	0,01	0,01	
	Ödül	$-1.968 * x^3 + 2.195 * x^2 - 0.233 * x + 0.022$	$\int_0^1 (-5.904 * x^2 + 4.39 * x - 0.233) dx$	-0,01	0,01	
	Uzmanlık	$0.703 * x^3 - 1.086 * x^2 + 1.394 * x + 0.005$	$\int_0^1 (2.109 * x^2 - 2.172 * x + 1.394) dx$	1,01	1,01	
	Tecrübe	$2.599 * x^3 - 3.850 * x^2 + 2.280 * x + 0.030$	$\int_0^1 (7.797 * x^2 - 7.7 * x + 2.28) dx$	1,03	1,03	
	Panellere Yönelik Bilgiler	$2.297 * x^3 - 3.437 * x^2 + 2.175 * x + 0.021$	$\int_0^1 (6.891 * x^2 - 6.874 * x + 2.175) dx$	1,04	1,04	
	Kişilik Özellikleri	$1.184 * x^3 - 1.787 * x^2 + 1.617 * x - 0.001$	$\int_0^1 (3.552 * x^2 - 3.574 * x + 1.617) dx$	1,01	1,01	
	Çalışma Yoğunluğu	$-3.536 * x^3 + 5.718 * x^2 - 3.154 * x + 0.996$	$\int_0^1 (-10.608 * x^2 + 11.436 * x - 3.154) dx$	-0,97	0,97	
	Yabancı Dil	$2.012 * x^3 - 3.554 * x^2 + 1.824 * x + 0.540$	$\int_0^1 (6.036 * x^2 - 7.108 * x + 1.824) dx$	0,28	0,28	
	Kariyer - İş Hayatı Bilgisi	$2.808 * x^3 - 4.442 * x^2 + 1.829 * x + 0.064$	$\int_0^1 (8.424 * x^2 - 8.884 * x + 1.829) dx$	0,19	0,19	
	Profesyonel Ağ ve Sosyal Etkileşim	$2.852 * x^3 - 3.333 * x^2 + 1.557 * x + 0.009$	$\int_0^1 (8.556 * x^2 - 6.666 * x + 1.557) dx$	1,08	1,08	
Kişilik Özellikleri	Yayın	$0.447 * x^3 - 0.417 * x^2 + 0.997 * x + 0.010$	$\int_0^1 (1.341 * x^2 - 0.834 * x + 0.997) dx$	1,03	1,03	7,57
	Üyelik	$0.126 * x^3 - 0.327 * x^2 + 0.213 * x + 0.024$	$\int_0^1 (0.378 * x^2 - 0.654 * x + 0.213) dx$	0,01	0,01	
	Ödül	$-0.869 * x^3 + 0.676 * x^2 + 0.190 * x + 0.003$	$\int_0^1 (-2.607 * x^2 + 1.352 * x + 0.19) dx$	0,00	0,00	
	Uzmanlık	$-0.031 * x^3 + 0.104 * x^2 + 0.929 * x + 0.004$	$\int_0^1 (-0.093 * x^2 + 0.208 * x + 0.929) dx$	1,00	1,00	
	Tecrübe	$0.140 * x^3 - 0.336 * x^2 + 1.196 * x + 0.041$	$\int_0^1 (0.42 * x^2 - 0.672 * x + 1.196) dx$	1,00	1,00	
	Panellere Yönelik Bilgiler	$-0.368 * x^3 + 0.384 * x^2 + 0.987 * x + 0.037$	$\int_0^1 (-1.104 * x^2 + 0.768 * x + 0.987) dx$	1,00	1,00	
	Akademik Bilgiler	$-0.039 * x^3 + 0.237 * x^2 + 0.801 * x - 0.006$	$\int_0^1 (-0.117 * x^2 + 0.474 * x + 0.801) dx$	1,00	1,00	
	Çalışma Yoğunluğu	$-0.846 * x^3 + 1.891 * x^2 - 1.983 * x + 0.991$	$\int_0^1 (-2.538 * x^2 + 3.782 * x - 1.983) dx$	-0,94	0,94	
	Yabancı Dil	$2.614 * x^3 - 4.329 * x^2 + 2.036 * x + 0.513$	$\int_0^1 (7.842 * x^2 - 8.658 * x + 2.036) dx$	0,32	0,32	
	Kariyer - İş Hayatı Bilgisi	$2.197 * x^3 - 3.608 * x^2 + 1.596 * x + 0.055$	$\int_0^1 (6.591 * x^2 - 7.216 * x + 1.596) dx$	0,19	0,19	
	Profesyonel Ağ ve Sosyal Etkileşim	$1.754 * x^3 - 1.735 * x^2 + 1.062 * x + 0.008$	$\int_0^1 (5.262 * x^2 - 3.47 * x + 1.062) dx$	1,08	1,08	

Ek 6 – Devamı. CEBM yöntemi etki değerleri hesaplamaları

X	Y	KÜBİK FONKSİYONLAR	KÜBİK FONKSİYONLARA DAYALI ETKİLEŞİM İNTEGRALLERİ	ETKİ	MUTLAK ETKİ	TOPLAM ETKİ
Çalışma Yoğunluğu	Yayın	$0.037 * x^3 + 0.292 * x^2 - 1.106 * x + 0.798$	$\int_0^1 (0.111 * x^2 + 0.584 * x - 1.106) dx$	-0,78	0,78	6,52
	Üyelik	$-0.622 * x^3 + 0.820 * x^2 - 0.267 * x + 0.066$	$\int_0^1 (-1.866 * x^2 + 1.64 * x - 0.267) dx$	-0,07	0,07	
	Ödül	$1.535 * x^3 - 2.852 * x^2 + 1.382 * x - 0.043$	$\int_0^1 (4.605 * x^2 - 5.704 * x + 1.382) dx$	0,06	0,06	
	Uzmanlık	$0.633 * x^3 - 0.779 * x^2 - 0.604 * x + 0.765$	$\int_0^1 (1.899 * x^2 - 1.558 * x - 0.604) dx$	-0,75	0,75	
	Tecrübe	$-0.405 * x^3 + 1.105 * x^2 - 1.696 * x + 1.029$	$\int_0^1 (-1.215 * x^2 + 2.21 * x - 1.696) dx$	-1,00	1,00	
	Panellere Yönelik Bilgiler	$-0.226 * x^3 + 0.974 * x^2 - 1.770 * x + 1.062$	$\int_0^1 (-0.678 * x^2 + 1.948 * x - 1.77) dx$	-1,02	1,02	
	Akademik Bilgiler	$1.040 * x^3 - 1.504 * x^2 - 0.187 * x + 0.661$	$\int_0^1 (3.12 * x^2 - 3.008 * x - 0.187) dx$	-0,65	0,65	
	Kişilik Özellikleri	$0.628 * x^3 - 0.701 * x^2 - 0.722 * x + 0.811$	$\int_0^1 (1.884 * x^2 - 1.402 * x - 0.722) dx$	-0,80	0,80	
	Yabancı Dil	$-3.325 * x^3 + 4.373 * x^2 - 1.422 * x + 0.796$	$\int_0^1 (-9.975 * x^2 + 8.746 * x - 1.422) dx$	-0,37	0,37	
	Kariyer - İş Hayatı Bilgisi	$-1.548 * x^3 + 1.732 * x^2 - 0.393 * x + 0.214$	$\int_0^1 (-4.644 * x^2 + 3.464 * x - 0.393) dx$	-0,21	0,21	
	Profesyonel Ağ ve Sosyal Etkileşim	$-1.287 * x^3 + 2.667 * x^2 - 2.188 * x + 0.817$	$\int_0^1 (-3.861 * x^2 + 5.334 * x - 2.188) dx$	-0,81	0,81	
Yabancı Dil	Yayın	$5.205 * x^3 - 8.920 * x^2 + 3.941 * x + 0.053$	$\int_0^1 (15.615 * x^2 - 17.84 * x + 3.941) dx$	0,23	0,23	2,06
	Üyelik	$-1.368 * x^3 + 2.125 * x^2 - 0.747 * x + 0.000$	$\int_0^1 (-4.104 * x^2 + 4.25 * x - 0.747) dx$	0,01	0,01	
	Ödül	$6.694 * x^3 - 10.477 * x^2 + 4.074 * x + 0.020$	$\int_0^1 (20.082 * x^2 - 20.954 * x + 4.074) dx$	0,29	0,29	
	Uzmanlık	$5.886 * x^3 - 10.073 * x^2 + 4.441 * x + 0.039$	$\int_0^1 (17.658 * x^2 - 20.146 * x + 4.441) dx$	0,25	0,25	
	Tecrübe	$4.771 * x^3 - 8.551 * x^2 + 3.968 * x + 0.087$	$\int_0^1 (14.313 * x^2 - 17.102 * x + 3.968) dx$	0,19	0,19	
	Panellere Yönelik Bilgiler	$4.819 * x^3 - 8.580 * x^2 + 3.941 * x + 0.089$	$\int_0^1 (14.457 * x^2 - 17.16 * x + 3.941) dx$	0,18	0,18	
	Akademik Bilgiler	$6.119 * x^3 - 10.316 * x^2 + 4.467 * x + 0.027$	$\int_0^1 (18.357 * x^2 - 20.632 * x + 4.467) dx$	0,27	0,27	
	Kişilik Özellikleri	$5.544 * x^3 - 9.543 * x^2 + 4.226 * x + 0.051$	$\int_0^1 (16.632 * x^2 - 19.086 * x + 4.226) dx$	0,23	0,23	
	Çalışma Yoğunluğu	$-4.156 * x^3 + 7.754 * x^2 - 3.769 * x + 0.913$	$\int_0^1 (-12.468 * x^2 + 15.508 * x - 3.769) dx$	-0,17	0,17	
	Kariyer - İş Hayatı Bilgisi	$2.412 * x^3 - 4.307 * x^2 + 2.024 * x + 0.076$	$\int_0^1 (7.236 * x^2 - 8.614 * x + 2.024) dx$	0,13	0,13	
	Profesyonel Ağ ve Sosyal Etkileşim	$2.685 * x^3 - 4.795 * x^2 + 2.227 * x + 0.056$	$\int_0^1 (0.111 * x^2 + 0.584 * x - 1.106) dx$	-0,78	0,78	

Ek 6 – Devamı. CEBM yöntemi etki değerleri hesaplamaları

X	Y	KÜBİK FONKSİYONLAR	KÜBİK FONKSİYONLARA DAYALI ETKİLEŞİM İNTEGRALLERİ	ETKİ	MUTLAK ETKİ	TOPLAM ETKİ
Kariyer - İş Hayatı Bilgisi	Yayın	$4.530 * x^3 - 7.178 * x^2 + 2.932 * x - 0.043$	$\int_0^1 (8.055*x^2 - 9.59*x + 2.227) dx$	0,12	0,12	3,34
	Üyelik	$1.225 * x^3 - 2.137 * x^2 + 0.938 * x - 0.028$	$\int_0^1 (13.59*x^2 - 14.356*x + 2.932) dx$	0,28	0,28	
	Ödül	$1.630 * x^3 - 2.648 * x^2 + 1.049 * x - 0.024$	$\int_0^1 (3.675*x^2 - 4.274*x + 0.938) dx$	0,03	0,03	
	Uzmanlık	$4.389 * x^3 - 7.175 * x^2 + 3.048 * x - 0.058$	$\int_0^1 (4.89*x^2 - 5.296*x + 1.049) dx$	0,03	0,03	
	Tecrübe	$5.775 * x^3 - 9.009 * x^2 + 3.674 * x - 0.041$	$\int_0^1 (13.167*x^2 - 14.35*x + 3.048) dx$	0,26	0,26	
	Panellere Yönelik Bilgiler	$5.723 * x^3 - 8.924 * x^2 + 3.583 * x - 0.039$	$\int_0^1 (17.325*x^2 - 18.018*x + 3.674) dx$	0,44	0,44	
	Akademik Bilgiler	$3.904 * x^3 - 6.498 * x^2 + 2.804 * x - 0.065$	$\int_0^1 (17.169*x^2 - 17.848*x + 3.583) dx$	0,38	0,38	
	Kişilik Özellikleri	$4.647 * x^3 - 7.515 * x^2 + 3.147 * x - 0.061$	$\int_0^1 (11.712*x^2 - 12.996*x + 2.804) dx$	0,21	0,21	
	Çalışma Yoğunluğu	$-6.152 * x^3 + 9.904 * x^2 - 4.230 * x + 1.068$	$\int_0^1 (13.941*x^2 - 15.03*x + 3.147) dx$	0,28	0,28	
	Yabancı Dil	$5.938 * x^3 - 8.914 * x^2 + 3.528 * x + 0.412$	$\int_0^1 (-18.456*x^2 + 19.808*x - 4.23) dx$	-0,48	0,48	
	Profesyonel Ağ ve Sosyal Etkileşim	$4.770 * x^3 - 6.984 * x^2 + 2.614 * x - 0.038$	$\int_0^1 (17.814*x^2 - 17.828*x + 3.528) dx$	0,55	0,55	
Profesyonel Ağ ve Sosyal Etkileşim	Yayın	$0.999 * x^3 - 1.369 * x^2 + 1.393 * x + 0.014$	$\int_0^1 (14.31*x^2 - 13.968*x + 2.614) dx$	0,40	0,40	7,60
	Üyelik	$1.015 * x^3 - 1.641 * x^2 + 0.679 * x - 5.940E-6$	$\int_0^1 (2.997*x^2 - 2.738*x + 1.393) dx$	1,02	1,02	
	Ödül	$1.923 * x^3 - 2.742 * x^2 + 0.941 * x - 0.003$	$\int_0^1 (3.045*x^2 - 3.282*x + 0.679) dx$	0,05	0,05	
	Uzmanlık	$1.346 * x^3 - 1.796 * x^2 + 1.480 * x + 0.012$	$\int_0^1 (5.769*x^2 - 5.484*x + 0.941) dx$	0,12	0,12	
	Tecrübe	$0.612 * x^3 - 1.248 * x^2 + 1.606 * x + 0.047$	$\int_0^1 (4.038*x^2 - 3.592*x + 1.48) dx$	1,03	1,03	
	Panellere Yönelik Bilgiler	$-0.184 * x^3 - 0.232 * x^2 + 1.383 * x + 0.041$	$\int_0^1 (1.836*x^2 - 2.496*x + 1.606) dx$	0,97	0,97	
	Akademik Bilgiler	$1.866 * x^3 - 2.268 * x^2 + 1.457 * x + 0.000$	$\int_0^1 (-0.552*x^2 - 0.464*x + 1.383) dx$	0,97	0,97	
	Kişilik Özellikleri	$1.174 * x^3 - 1.656 * x^2 + 1.496 * x + 0.010$	$\int_0^1 (5.598*x^2 - 4.536*x + 1.457) dx$	1,06	1,06	
	Çalışma Yoğunluğu	$-1.837 * x^3 + 3.171 * x^2 - 2.251 * x + 0.957$	$\int_0^1 (3.522*x^2 - 3.312*x + 1.496) dx$	1,01	1,01	
	Yabancı Dil	$2.506 * x^3 - 3.868 * x^2 + 1.657 * x + 0.557$	$\int_0^1 (-5.511*x^2 + 6.342*x - 2.251) dx$	-0,92	0,92	
	Kariyer - İş Hayatı Bilgisi	$1.982 * x^3 - 3.162 * x^2 + 1.333 * x + 0.083$	$\int_0^1 (7.518*x^2 - 7.736*x + 1.657) dx$	0,30	0,30	

Ek 7. Kriterlerin üstünlük değerleri

		Yayın	Üyelik	Ödtül	Uzmanlık	Tecrübe	Panellere Yönelik Bilgiler	Akademik Bilgiler	Kişilik Özellikleri	Çalışma Yoğunluğu	Yabancı Dil	Kariyer-İş Hayatı Bilgisi	Profesyonel Ağ ve Sosyal Etkileşim
Yayın	Cebm		0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1
	Centroidous		0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
	Spc		0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
	Fucom		0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1
	Lbwa		0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1
	Piprecia-e		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Üyelik	Cebm	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Centroidous	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Spc	1		1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
	Fucom	1		1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
	Lbwa	1		1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
	Piprecia-e	1		1	1	1	1	1	0	1	0	1	0
Ödtül	Cebm	1	0		1	1	1	1	1	1	0	1	1
	Centroidous	1	0		1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Spc	1	0		1	1	1	1	1	1	0	1	1
	Fucom	1	0		1	1	1	1	1	1	0	1	1
	Lbwa	1	0		1	1	1	1	1	1	0	1	1
	Piprecia-e	1	0		1	1	1	1	0	1	0	1	0
Uzmanlık	Cebm	0	0	0		0	0	1	0	0	0	0	0
	Centroidous	1	0	0		1	0	0	1	1	0	0	0
	Spc	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0
	Fucom	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0
	Lbwa	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0
	Piprecia-e	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0
Tecrübe	Cebm	1	0	0	1		0	1	1	0	0	0	1
	Centroidous	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0
	Spc	1	0	0	1		1	1	1	1	0	0	1
	Fucom	0	0	0	1		0	0	0	0	0	0	0
	Lbwa	0	0	0	1		1	1	0	0	0	0	0
	Piprecia-e	1	0	0	1		0	1	0	0	0	0	0
Panellere Yönelik	Cebm	1	0	0	1	1		1	1	0	0	0	1
	Centroidous	1	0	0	1	1		0	1	1	0	0	0
	Spc	1	0	0	1	0		1	1	1	0	0	1
	Fucom	0	0	0	1	1		1	0	0	0	0	0
	Lbwa	0	0	0	1	0		1	0	0	0	0	0
	Piprecia-e	1	0	0	1	1		1	0	—	0	0	0
Akademik Bilgiler	Cebm	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0
	Centroidous	1	0	0	1	1	1		1	1	0	0	0
	Spc	0	0	0	1	0	0		0	0	0	0	0
	Fucom	0	0	0	1	1	0		0	0	0	0	0
	Lbwa	0	0	0	1	0	0		0	0	0	0	0
	Piprecia-e	1	0	0	1	0	0		0	0	0	0	0

Ek 7– Devamı. Kriterlerin üstünlük değerleri

		Yayın	Üyelik	Ödül	Uzmanlık	Tecrübe	Panellere Yönelik Bilgiler	Akademik Bilgiler	Kişilik Özellikleri	Çalışma Yoğunluğu	Yabancı Dil	Kariyer-İş Hayatı Bilgisi	Profesyonel Ağ ve Sosyal Etkileşim
Kişilik Özellikleri	Cebm	0	0	0	1	0	0	1		0	0	0	1
	Centroidous	1	0	0	0	1	0	0		1	0	0	0
	Spc	1	0	0	1	0	0	1		0	0	0	1
	Fucom	0	0	0	1	1	1	1		1	0	1	0
	Lbwa	0	0	0	1	1	1	1		1	0	1	1
	Piprecia-e	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1
Çalışma Yoğunluğu	Cebm	1	0	0	1	1	1	1	1		0	0	1
	Centroidous	0	0	0	0	1	0	0	0		0	0	0
	Spc	1	0	0	1	0	0	1	1		0	0	1
	Fucom	0	0	0	1	1	1	1	0		0	0	0
	Lbwa	0	0	0	1	1	1	1	0		0	0	0
	Piprecia-e	1	0	0	1	1	1	1	0		0	0	0
Yabancı Dil	Cebm	1	0	1	1	1	1	1	1			1	1
	Centroidous	1	0	0	1	1	1	1	1			0	1
	Spc	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1
	Fucom	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1
	Lbwa	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1
	Piprecia-e	1	1	1	1	1	1	1	0	1		1	1
Kariyer - İş Hayatı Bilgisi	Cebm	1	0	0	1	1	1	1	1	0			1
	Centroidous	1	0	0	1	1	1	1	1	1			1
	Spc	1	0	0	1	1	1	1	1	0			1
	Fucom	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0		0
	Lbwa	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0		0
	Piprecia-e	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0		0
Profesyonel Ağ ve Sosyal	Cebm	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	
	Centroidous	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	
	Spc	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	
	Fucom	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	
	Lbwa	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	
	Piprecia-e	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	

Ek 8. Kriterlerin oy toplamları

	Yayın	Üyelik	Ödül	Uzmanlık	Tecrübe	Panellere Yönelik Bilgiler	Akademik Bilgiler	Kişilik Özellikleri	Çalışma Yoğunluğu	Yabancı Dil	Kariyer - İş Hayatı Bilgisi	Profesyonel Ağ ve Sosyal Etkileşim
Yayın		6	6	1	3	4	2	3	3	6	4	3
Üyelik	0		0	0	0	0	0	1	0	4	0	1
Ödül	0	6		0	0	0	0	1	0	5	0	1
Uzmanlık	5	6	6		5	6	5	5	5	6	6	6
Tecrübe	3	6	6	1		4	2	4	5	6	6	4
Panellere Yönelik Bilgiler	2	6	6	0	2		1	3	3	6	6	4
Akademik Bilgiler	4	6	6	1	4	5		5	5	6	6	6
Kişilik Özellikleri	3	5	5	1	2	3	1		2	5	3	2
Çalışma Yoğunluğu	3	6	6	1	1	2	1	4		6	6	4
Yabancı Dil	0	2	1	0	0	0	0	1	0		1	0
Kariyer - İş Hayatı Bilgisi	2	6	6	0	0	0	0	3	0	5		3
Profesyonel Ağ ve Sosyal Etkileşim	3	5	5	0	2	2	0	4	2	6	3	

Ek 9. Kriterlerin galibiyet dereceleri

	Yayın	Üyelik	Ödül	Uzmanlık	Tecrübe	Panellere Yönelik Bilgiler	Akademik Bilgiler	Kişilik Özellikleri	Çalışma Yoğunluğu	Yabancı Dil	Kariyer - İş Hayatı Bilgisi	Profesyonel Ağ ve Sosyal Etkileşim
Yayın		1	1	-1	0,5	1	-1	0,5	0,5	1	1	0,5
Üyelik	-1		-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1
Ödül	-1	1		-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1
Uzmanlık	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1
Tecrübe	0,5	1	1	-1		1	-1	1	1	1	1	1
Panellere Yönelik Bilgiler	-1	1	1	-1	-1		-1	0,5	0,5	1	1	1
Akademik Bilgiler	1	1	1	-1	1	1		1	1	1	1	1
Kişilik Özellikleri	0,5	1	1	-1	-1	0,5	-1		-1	1	0,5	-1
Çalışma Yoğunluğu	0,5	1	1	-1	-1	-1	-1	1		1	1	1
Yabancı Dil	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1		-1	-1
Kariyer - İş Hayatı Bilgisi	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	0,5	-1	1		0,5
Profesyonel Ağ ve Sosyal Etkileşim	0,5	1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	0,5	



# Journal of Turkish Operations Management

## Lojistiğin internetleşen hali: fiziksel internet üzerine kapsamlı bir bibliyometrik değerlendirme

Mustafa Egemen Taner<sup>1\*</sup>, Ata Kahveci<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Tarsus Üniversitesi, Mersin, Türkiye  
metaner@tarsus.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0003-0374-4788>

<sup>2</sup> Dış Ticaret Bölümü, Meslek Yüksekokulu, Tarsus Üniversitesi, Mersin, Türkiye,  
atakahveci@tarsus.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-2010-614X>

\*Sorumlu Yazar

### Makale Bilgisi

**Makale Geçmişi:**  
Geliş: 05.05.2025  
Reviz: 10.05.2026  
Kabul: 25.05.2026

### Anahtar

#### Kelimeler:

Fiziksel internet,  
Lojistik,  
Bibliyometrik analiz,  
Bilimsel haritalama,  
Dijital dönüşüm

### Özet

Fiziksel İnternet (Physical Internet, PI), lojistik süreçlerde verimliliği artırmayı, kaynak kullanımını optimize etmeyi ve sürdürülebilir taşımacılığı desteklemeyi hedefleyen yenilikçi bir yaklaşımdır. Dijital dönüşüm ve Endüstri 4.0 uygulamalarının yaygınlaşmasıyla birlikte, özellikle gelişmiş ülkelerde, PI üzerine yapılan akademik çalışmaların sayısında önemli bir artış yaşanmıştır. Ancak, PI kavramının Türkçe literatürde sistematik biçimde ele alındığı kapsamlı bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışma, PI konusunun Türkçe literatüre kazandırılması ve mevcut araştırma eğilimlerinin analiz edilmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Web of Science (WoS) veri tabanında "physical internet" anahtar kelimesiyle, başlıklar ve yazar anahtar kelimeleri temel alınarak yapılan tarama sonucunda 2011–2025 yılları arasında yayımlanmış 266 akademik çalışma incelenmiştir. Elde edilen veriler, Bibliometrix (RStudio-Biblioshiny) ve VOSviewer yazılımları aracılığıyla bibliyometrik analiz yöntemiyle değerlendirilmiştir. Analizler sonucunda PI literatürünün büyük ölçüde Endüstri Mühendisliği alanında yoğunlaştığı, Fransa'nın en fazla yayın ve atıf alan ülke olarak öne çıktığı, en üretken yazarın Benoît Montreuil ve en çok atıf alan yazarın ise Shenle Pan olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, en fazla yayının International Journal of Production Research dergisinde yayımlandığı ve en çok atıf alan kurumun "PSL Research University" olduğu gözlemlenmiştir. Anahtar kelime analizinde ise "lojistik", "sürdürülebilirlik", "tedarik zinciri", "ulaştırma", "nesnelerin interneti", "dijitalleşme", "blokzincir", "simülasyon" ve "rotalama" gibi kavramların PI ile güçlü ilişkiler kurduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, ülke altyapısı ve ekonomik sürdürülebilirlik açısından büyük potansiyele sahip PI yaklaşımının hem kamu hem de özel sektördeki karar vericilere ve akademisyenlere tanıtılması ve böylece konuya bütüncül bir bakış açısı kazandırılması amaçlanmaktadır.

## The internetization of logistics: a comprehensive bibliometric review of the physical internet

### Article Info

**Article History:**  
Received: 05.05.2025  
Revised: 10.05.2026  
Accepted: 25.05.2026

### Keywords:

Physical Internet,  
Logistics,  
Bibliometric Analysis,  
Scientific Mapping,  
Digital Transformation

### Abstract

The Physical Internet (PI) is an innovative approach that aims to enhance efficiency in logistics processes, optimize resource utilization, and support sustainable transportation. With the proliferation of digital transformation and Industry 4.0 applications, there has been a significant increase in academic studies on PI, particularly in developed countries. However, there is a notable absence of comprehensive studies that systematically address the concept of PI in the Turkish literature. This study was conducted to introduce the PI topic to the Turkish academic discourse and to analyze current research trends. A total of 266 academic publications published between 2011 and 2025 were identified through a Web of Science (WoS) database search using the keyword "physical internet" within the title and author keywords fields. The obtained data were analyzed using bibliometric methods via the Bibliometrix (RStudio-Biblioshiny) and VOSviewer software. The analysis revealed that PI literature is predominantly concentrated in the field of Industrial Engineering. France emerged as the leading country in terms of both publication and citation counts. Benoît Montreuil was identified as the most prolific author, while Shenle Pan received the highest number of citations. Additionally, the International Journal of Production Research was found to be the most frequent publication outlet, and "PSL Research University" was the institution with the highest citation count. Keyword analysis showed strong associations between PI and concepts such as "logistics," "sustainability," "supply chain," "transportation," "Internet of Things," "digitalization," "blockchain," "simulation," and "routing." Ultimately, the study aims to promote awareness of the PI concept among public and private sector decision-makers and academics, emphasizing its significant potential for national infrastructure development and economic sustainability. A comprehensive perspective on the subject is encouraged to support future academic and policy-oriented work.

## 1. Giriş

Günümüz tedarik zinciri ve lojistik yönetimi küreselleşmenin hız kazanması, dijital dönüşümün yaygınlaşması ve sürdürülebilirlik odaklı politikaların önem kazanmasıyla beraber önemli bir dönüşüm sürecinden geçmektedir. Artan ticaret hacmi, e-ticaret sektöründeki büyüme ve tedarik zincirlerindeki artan karmaşıklık geleneksel lojistik modellerinin esneklik ve verimlilik açısından günümüz koşullarında yetersiz kalmasına sebep olmaktadır. Bunun sonucunda paydaşlar arasındaki iş birliklerini artırarak entegrasyonu gözeten ve kaynak kullanımını optimize eden yenilikçi lojistik yaklaşımlar üzerinde çalışmalar hız kazanmıştır. Son yıllarda ortaya çıkan Fiziksel İnternet (Physical Internet, PI) lojistik süreçlerde verimliliği artırmayı, kaynak israfını azaltmayı ve sürdürülebilir taşımacılığı teşvik etmeyi amaçlayan yeni bir paradigmadır. PI, tedarik zinciri süreçlerinde paylaşım dayalı bir yapı sunarak taşımacılık, depolama ve envanter yönetimi gibi lojistik faaliyetleri daha dinamik, ölçeklenebilir ve esnek hale getirmektedir. Bu sebeple lojistik süreçlerin optimizasyonu ve sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi açısından sunduğu fırsatlar göz önünde bulundurulduğunda, PI, akademik çalışmalar ve sektör uygulamaları açısından giderek daha fazla ilgi çeken bir konu haline gelmiştir.

PI, dijital internetin veri transferi prensiplerinden ilham alarak mal akışının daha etkin ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesini amaçlayan yeni nesil bir lojistik yaklaşımıdır. Geleneksel tedarik zinciri sistemlerinin kısıtlarını aşmak için geliştirilen bu paradigmanın hedefi standartlaştırılmış, esnek ve paylaşılabilir bir altyapı çerçevesinde lojistik süreçleri yeniden şekillendirmektir. PI, lojistik süreçlerde tıpkı veri paketlerinin internet üzerinden yönlendirilmesi gibi standart modüler konteynerler, akıllı yönlendirme algoritmaları ve çok modlu taşımacılık entegrasyonu ile dinamik bir ağ oluşturmayı hedefler. İçinde olduğumuz dijital dönüşüm çağının temel argümanlarından olan nesnelerin interneti (IoT), büyük veri analitiği ve yapay zekâ (AI) gibi veri temelli yöntemleri içeren dijital teknolojilerden yararlanarak, lojistik ağları daha dinamik ve ölçeklenebilir hale getirmeyi amaçlar. PI'nın temel ilkeleri arasında lojistik kaynaklarının paylaşımı, süreçlerin modülerleştirilmesi, taşıma modları arasındaki entegrasyonun artırılması, gerçek zamanlı veri analitiği kullanımı ve karbon salınımının azaltılması öne çıkmaktadır. Bu yaklaşım, işletmelerin maliyetlerini düşürmelerinin yanı sıra lojistik süreçlerin çevresel etkilerini minimize ederek sürdürülebilir bir yeşil tedarik zinciri yönetimine de önemli katkılar sağlamaktadır.

Bilimsel literatüre baktığımızda, son yıllarda PI kavramının tedarik zinciri ve lojistik yönetimi alanlarında giderek artan bir akademik ilgiyle karşılaştığı görülmektedir. Söz konusu bilimsel çalışmalarda, PI'nın lojistik süreçlerde verimliliği artırma potansiyeli, tedarik zinciri sürdürülebilirliğine katkıları, veri temelli yöntemler ile desteklenen akıllı yönlendirme sistemleri, dijital dönüşüm süreçlerindeki rolü ve çok modlu taşımacılık üzerindeki etkileri gibi çeşitli konular ele alınmıştır. Mevcut literatürde PI'nın uygulanabilirliği, endüstride benimsenmesini zorlaştıran faktörler, standartlaştırma eksiklikleri ve lojistik sistemlere entegrasyonu üzerine sınırlı çalışmalar bulunmaktadır. Derinlemesine analizlere ihtiyaç duyulan bu alanlarda deneysel çalışmaların sınırlı olması ve işletmelerin bu yeni paradigmaya adaptasyon süreçlerinin detaylı bir şekilde ele alınmaması, mevcut araştırmaların önemli kısıtları olarak karşılanmaktadır. Türkçe akademik literatürde PI üzerine kapsamlı bir literatür taramasının bulunmaması nedeniyle, bu çalışma alandaki ilk kapsamlı derleme olma niteliği taşıyarak mevcut araştırmaları sistematik bir çerçevede incelemekte ve konunun kavramsal temelini, uygulama alanlarını ve araştırma boşluklarını ortaya koymaktadır.

Çalışmanın temel amacı, PI literatürünü sistematik bir perspektifle analiz ederek mevcut araştırma eğilimlerini ortaya koymak ve gelecekteki çalışmalara yön verecek bütüncül bir çerçeve sunmaktır. Bu kapsamda; ilgili akademik yayınlar, yıllara göre dağılımları, öne çıkan yazarları, ülkeleri ve kurumları, sıkça kullanılan anahtar kavramları ile en çok atıf yapılan kaynaklar bakımından değerlendirilmiş ve elde edilen veriler doğrultusunda PI literatürünün yapısal haritası çıkarılmıştır. Analiz sonuçları, PI'nın lojistik operasyonlara, tedarik zinciri yapısına ve sürdürülebilir taşımacılık stratejilerine yönelik potansiyel katkılarını tartışmaya açmakta ve bu alandaki araştırma boşluklarını görünür kılmaktadır. Çalışma, PI'ya ilişkin akademik üretimi bütüncül biçimde ele alarak, söz konusu paradigmanın lojistik ve tedarik zinciri yönetiminde nasıl bir dönüşüm yarattığını değerlendirmekte ve hem kuramsal gelişime hem de uygulamaya dönük çalışmalara katkı sunmayı hedeflemektedir. Bu doğrultuda çalışma, aşağıdaki araştırma sorularına odaklanmaktadır:

1. PI alanında yapılan akademik yayınların yıllara göre gelişimi, coğrafi dağılımı ve öne çıkan aktörleri (yazar, ülke, kurum) nelerdir?
2. PI literatüründe en sık kullanılan anahtar kelimeler, araştırma temaları ve atıf yapılan kaynaklar hangi odaklara işaret etmektedir?
3. Literatürde öne çıkan eğilimler, tematik kümeler ve araştırma boşlukları nelerdir? Bu boşluklar gelecekteki çalışmalar için nasıl bir yön çizebilir?

Bu çalışma, PI'nın tedarik zinciri ve lojistik yönetimi üzerindeki etkilerini inceleyen kapsamlı bir literatür analizi sunmaktadır. İkinci bölümde PI ile ilgili mevcut literatür detaylı biçimde ele alınmıştır. Üçüncü bölümde çalışmanın yöntemi açıklanmış, dördüncü bölümde bibliyometrik analiz sonuçları sunulmuştur. Son bölümde ise elde edilen bulgular doğrultusunda genel çıkarımlar yapılmış, literatürdeki boşluklara dikkat çekilmiş ve gelecekteki araştırmalar için önerilerde bulunulmuştur.

## 2. Literatür taraması

PI kavramı ilk kez 2006 yılında The Economist'te yayımlanan bir yazı aracılığıyla gündeme gelmiştir. Bu yazıda Benoît Montreuil dijital internetin veri aktarımındaki verimliliğinden ilham alarak, benzer bir yapının fiziksel ürünlerin taşınması için de uygulanabileceğini öne sürmüştür. Kavramın akademik düzeyde sistematik biçimde ele alınması ise Montreuil'in 2009 yılında sunduğu "Fiziksel İnternet Manifestosu" ve 2010 tarihli öncü çalışmasıyla başlamıştır. Montreuil, PI'yı yalnızca teknolojik bir yenilik değil, aynı zamanda lojistik alanında köklü bir zihniyet değişimi olarak konumlandırmış ve bu yaklaşımı evrensellik, açıklık, modülerlik, kapsülleme, standartlaştırma ve sözleşmeye dayalı araçlaştırma gibi temel ilkeler çerçevesinde tanımlamıştır. PI taşıma, depolama ve yönlendirme gibi temel lojistik faaliyetlerin, dijital internetin veri yönlendirme mantığına benzer şekilde, modüler  $\pi$ -konteynerler ve küresel bir ağ yapısı ile yönetilmesini öngörmektedir.

Bu dönemde gerçekleştirilen çalışmalar, kavramın teorik çerçevesini modelleme ve simülasyonlarla desteklemiştir. Özellikle Montreuil (2011), Ballot vd. (2012) ve Hakimi vd. (2012) PI'yı bir metaforadan öteye taşıyarak, araştırmaya konu olabilecek somut bir sistem olarak ele almıştır. Montreuil vd. (2012) tarafından geliştirilen modelde PI evrensel bağlantılar, standart protokoller ve açık sistem anlayışıyla küresel ölçekte çalışan bir lojistik yapı olarak detaylandırmıştır.

2014 yılı, PI araştırmalarında ampirik analizlerin öne çıkmasıyla bir dönüm noktası olmuştur. Sarraj vd. (2014), hızlı tüketim ürünleri sektöründe faaliyet gösteren iki büyük perakendecinin dağıtım ağını PI ilkelerine göre yeniden tasarlamıştır. Çalışmada simülasyon sonuçlarıyla teslimat sürelerinin azaldığı, lojistik maliyetlerin düştüğü ve sera gazı emisyonlarında kayda değer bir azalma sağlandığı sonuçlarına ulaşılmıştır. Aynı yıl Ballot vd. (2014) tarafından yürütülen Kanada merkezli bir çalışmada ise PI senaryoları altında araç doluluk oranlarının artırılabilirliği, enerji verimliliği sağlanabilirliği ve toplam lojistik maliyetlerin düşürülebilirliği raporlanmıştır. Söz konusu çalışma Ballot vd. (2014) editörlüğündeki ilk kapsamlı PI kitabı, kavramın akademik çevreler beraberinde endüstride ve politika yapıcılar arasında da tanınmasına katkı sağlamıştır. Ballot vd. (2014) ayrıca PI'nın ilkelerini detaylı biçimde ele alarak uygulamaya, eğitime ve araştırma politikalarına dair yönlendirici önerilere de yer vermiştir. Pan vd. (2015) ise PI bağlamında envanter yönetimi, kaynak paylaşımı ve hizmet düzeyi optimizasyonu gibi konuları ele alarak, bu yeni paradigmanın operasyonel karar alma süreçlerindeki etkilerini incelemiştir. Tüm bu gelişmeler, PI literatürünü hem kavramsal hem de uygulama açısından zenginleştirmiştir. Disiplinlerarası nitelik kazanan PI araştırmaları lojistik verimliliğin artırılması, çevresel sürdürülebilirliğin desteklenmesi ve iş birliğine dayalı yeni organizasyonel yapıların inşası bağlamında önemli bir araştırma eksenine haline gelmiştir. Böylece PI sadece teorik bir model değil, aynı zamanda lojistik sektöründeki dönüşüm arayışlarına yön veren öncü bir yaklaşım olarak öne çıkmıştır.

PI literatürü, başlangıçta lojistik sistemlerin optimizasyonu, taşıma verimliliği ve depo entegrasyonu gibi klasik operasyonel konulara odaklanmışken, zamanla dijital dönüşümün etkisiyle daha geniş ve çok boyutlu bir çerçeveye evrilmiştir. Özellikle 2015 sonrası dönemde PI, lojistik süreçlerin yeniden tasarımına ek olarak dijital teknolojilerle entegre çalışan bir değer ağı modeli olarak da ele alınmaya başlanmıştır. Bu dönüşümde öngörüye dayalı karar sistemleri kapsayan dijital teknolojilerin PI yapılarıyla entegrasyonu dikkat çekmektedir. PI'nın nesnelerin dijital ağlar üzerinden yönlendirilmesine dayalı yapısı, bu teknolojilerin lojistik karar destek mekanizmalarına entegre edilmesi açısından elverişli bir zemin sunmaktadır. Örneğin, gerçek zamanlı izleme sistemleriyle donatılmış akıllı  $\pi$ -konteynerler taşıma sürecindeki verimliliği artırmakta ve AI destekli algoritmalar sayesinde çok modlu taşımacılık senaryolarında yönlendirme süreçleri daha etkin biçimde yönetilebilmektedir. Bu teknolojik genişleme, PI'nın yalnızca fiziksel akışları yöneten bir sistem olmaktan çıkıp veri güvenliği, şeffaflık ve hizmet kişiselleştirme gibi yeni lojistik performans kriterlerini de içine alan daha stratejik bir yapıya dönüşmesine neden olmuştur.

Sternberg ve Norrman (2017), PI'nın artık bir lojistik sistem tasarımı olmakla kalmayıp, bir iş modeli ve dijitalleşme aracı olarak değerlendirilmesi gerektiğini ifade etmektedir. Benzer biçimde Treiblmaier vd. (2020), PI'nın fiziksel malzeme akışını yapılandırma kabiliyeti ile blok zincir teknolojisinin bilgi ve finansal akışlara kattığı şeffaflığı birleştirerek, sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi için çok katmanlı bir yapı sunduğunu ileri sürmektedir. Tüm bu gelişmeler, PI'yı taşımacılık ve depolama odaklı bir paradigma olmaktan çıkarak iş birlikçi dijital platformlar, veri temelli hizmet ağları ve stratejik sürdürülebilirlik uygulamalarıyla yeniden konumlandırmıştır. Bu genişleyen çerçeve, PI'yı sadece lojistikte değil, sanayi ekosistemlerinin dijital dönüşümünde de merkezi bir unsur haline getirmiştir. Literatürdeki bu yönelim, gelecekte yapılacak çalışmalara daha bütünlük, disiplinlerarası ve sistemik bakış açılarıyla yaklaşılması gerektiğine de işaret etmektedir.

PI literatürü yalnızca kavramsal tartışmalarla sınırlı kalmamış, zamanla farklı yöntemsel yaklaşımlarla da zenginleşmiştir. Başlangıçta daha çok teorik çerçeveler ve vizyoner perspektiflerle şekillenen çalışmalar, Montreuil'in tanımladığı temel ilkeler üzerinden PI'nın potansiyel etkilerini tartışmıştır. Ancak 2013 sonrasında, bu teorik zeminin üzerine inşa edilen simülasyon temelli analizler, vaka çalışmaları, optimizasyon modelleri ve ampirik araştırmalar literatürde daha görünür hale gelmiştir. Bu çerçevede Sarraj vd. (2014) ve Ballot vd. (2014) gibi öncü çalışmalar, PI ilkeleri doğrultusunda yeniden yapılandırılan lojistik ağların performansını simülasyonlarla analiz etmiş ve maliyetlerde azalma, sera gazı emisyonlarının düşmesi ve teslimat sürelerinde iyileşme gibi çıktılar elde edilmiştir. Bu tür modeller, PI'nın operasyonel etkilerini farklı senaryolar altında test etme açısından literatürde önemli bir yer edinmiştir. Son dönemde ise veri temelli yöntemlerin yükselişe geçtiği görülmektedir. Veri odaklı modellemeler gibi teknolojiler, PI'ya özgü karar destek sistemlerinin geliştirilmesinde kullanılmakta ve özellikle rotalama, kapasite planlama ve konteyner yönlendirme gibi alanlarda öngörüye dayalı modeller geliştirilmektedir. Bu doğrultuda, Pan vd. (2015), PI ortamında esnek kaynak kullanımı ve envanter politikaları arasındaki ilişkiyi simülasyon tabanlı bir yaklaşımla incelemiş, (Q, R) politikalarının etkinliğini analiz etmiştir.

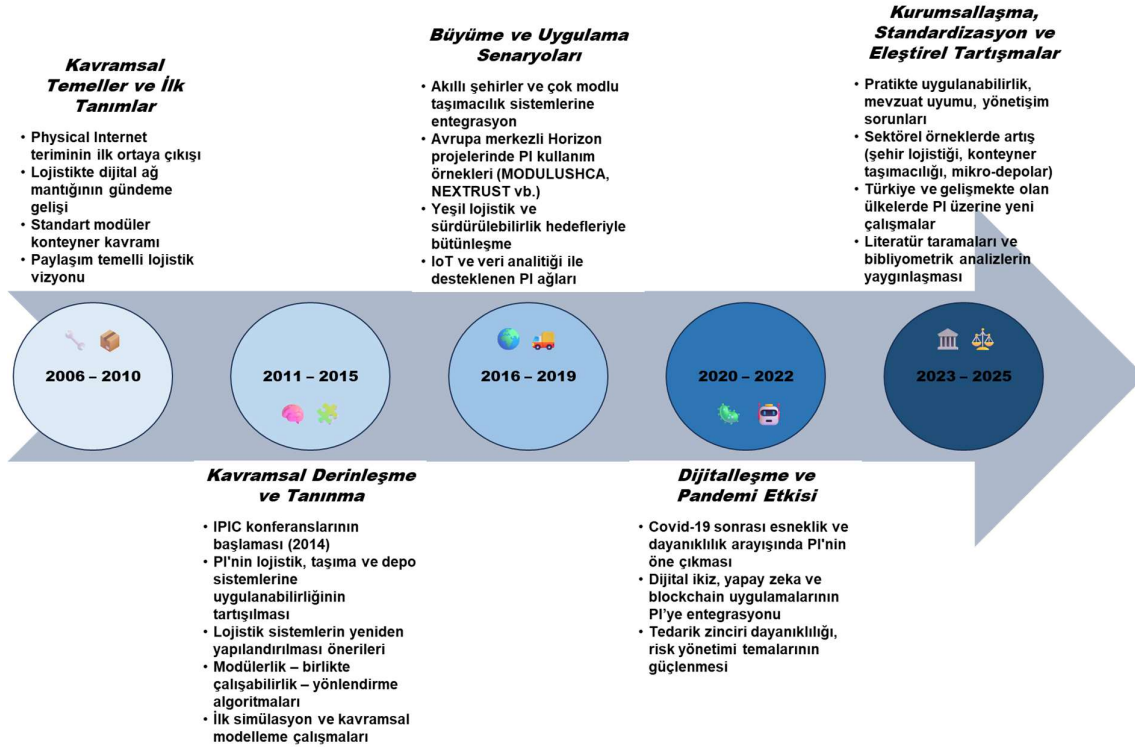
Öte yandan, PI alanında yapılan bibliyometrik analizler ve sistematik literatür taramaları da alandaki bilgi üretimini haritalamak ve gelişim eğilimlerini izlemek açısından etkili araçlar olarak öne çıkmaktadır. Örneğin Sternberg ve Norrman (2017), PI'nın yalnızca teknik yönlerini değil, aynı zamanda benimsenmesini etkileyen iş modeli eksikliklerini de inceleyerek konuya çok boyutlu bir perspektif kazandırmıştır. Treiblmaier vd. (2020) kapsamlı bir sistematik derleme yaparak PI çalışmalarındaki ana temaları ve yöntemleri sınıflandırmış, geleceğe dönük araştırma önerileri sunmuştur. Wu vd. (2025), PI literatürünü sistematik bir şekilde inceleyerek dijitalleşmenin mevcut sınırlarını ortaya koymakta ve bu boşlukları aşmak üzere Cyber-Physical Internet (CPI) kavramını önermektedir. Çalışma, dijital ve fiziksel lojistik sistemlerinin gerçek zamanlı entegrasyonunu hedefleyen beş katmanlı bir CPI modeli geliştirerek, bu modeli internetin OSI katmanlarına benzer şekilde yapılandırmıştır. CPI'nın, PI'nın sürdürülebilirlik ve etkililik hedeflerine ulaşmasını sağlayacak yeni nesil lojistik altyapılar için temel oluşturabileceği öngörülmüştür. Son olarak, çalışmada CPI'nın uygulanabilirliğini destekleyecek bir araştırma yol haritası ve gelecek araştırmalar için somut yönelimler sunulmuştur. Bu tür çalışmalar, PI'nın teknik bir çözüm olmanın ötesinde sosyal, yönetsel ve örgütsel boyutları da içeren kapsamlı bir dönüşüm modeli olduğunu ortaya koymaktadır. Genel olarak, PI araştırmalarında gözlenen yöntemsel çeşitlilik kuramsal çerçevelerden sayısal modellere, veri bilimi tabanlı uygulamalardan literatür analizlerine kadar geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır. Bu durum, PI'nın disiplinlerarası doğasını ve bu alanda daha bütüncül yaklaşımlara olan ihtiyacı açıkça yansıtmaktadır.

PI literatürü, kavramsal ve kuramsal çerçevelerin ötesine geçerek, farklı sektör ve coğrafyalarda uygulama örnekleriyle de zenginleşmiştir. Özellikle Avrupa ve Kuzey Amerika merkezli çalışmalar, PI prensiplerinin gerçek dünyadaki uygulanabilirliğini değerlendiren ilk girişimlere öncülük etmiştir. Bu bölgelerde üniversiteler, araştırma konsorsiyumları ve lojistik firmaları, PI'yı odağına alan pilot projeler ve saha uygulamaları ile kavramın farklı bileşenlerini deneyimleme fırsatı bulmuştur. Uygulama temelli çalışmalar, taşımacılık sistemleriyle birlikte şehir içi lojistik, liman operasyonları, depo düzeni optimizasyonu ve envanter paylaşımı gibi alanlara da yayılmıştır. Özellikle Horizon 2020 gibi Avrupa Birliği destekli projelerde, PI prensiplerinin mikro-lojistik sistemlere nasıl entegre edilebileceği sistematik olarak araştırılmış ve veri paylaşımı, konteyner standardizasyonu ve teslimat süreçlerinin optimizasyonu gibi konular ön plana çıkmıştır.

Bazı çalışmalarda ise PI'nın kriz koşullarında tedarik zinciri dayanıklılığına katkısı analiz edilmiştir. Bu projeler, PI'nın soyut bir vizyon olmasının yanında farklı lojistik bağlamlarda esnek ve ölçeklenebilir çözümler sunma potansiyeline sahip bir sistem olduğunu da göstermektedir. Bununla birlikte, söz konusu uygulamaların çoğunlukla batı merkezli olması, kavramın küresel düzeyde benimsenebilmesi için bölgesel bağlamlara özgü araştırmaların artması gerektiğine işaret etmektedir. Buna karşın, PI'nın pratikte uygulanabilirliğine dair kapsamlı ampirik veriler hâlâ sınırlıdır. Bugüne dek yürütülen birçok uygulama temelli araştırma ağırlıklı olarak simülasyon ortamlarında kurgulandığından saha verilerine dayalı, gerçek zamanlı ve çok aktörlü uygulamalara ilişkin örnekler oldukça sınırlı kalmıştır. Bu durum, PI'nın teorik faydalarının uygulamada hangi ölçüde gerçekleştiğine dair değerlendirmelerin sağlıklı biçimde yapılmasını da güçleştirmektedir. Öte yandan, PI'nın endüstriyel ölçekte benimsenmesini zorlaştıran yapısal engeller de literatürde sıkça tartışılmaktadır. Altyapı eksiklikleri, standartların yetersizliği, veri güvenliği konusundaki çekinmeler ve sektörler arası koordinasyon zorlukları, bu yeni paradigmanın yaygınlaşmasının önündeki başlıca engeller arasında yer almaktadır. Özellikle küçük ve orta büyüklükteki işletmelerin (KOBİ) dijital dönüşüm kapasitelerinin sınırlı olması, PI'nın gerektirdiği sistemsel dönüşüme uyum sürecini yavaşlatmaktadır. Bu noktada teknoloji kabulü, organizasyonel değişim süreçleri ve politika desteği gibi konuların daha derinlemesine incelenmesi gerektiği vurgulanmaktadır.

Yukarıda özetlenen gelişmeler doğrultusunda, PI kavramının literatürdeki evrimi belirgin bir doğrultuda izlenebilir hâle gelmiştir. Kavramın ilk kez gündeme geldiği 2006 yılından günümüze uzanan yaklaşık yirmi yıllık süreçte,

PI hem teorik temelleri hem de pratik uygulama potansiyeli bakımından dikkate değer bir dönüşüm geçirmiştir. Başlangıçta daha çok kavramsal bir vizyon olarak ele alınan PI, zamanla farklı disiplinlerden araştırmacıların katkılarıyla lojistik, envanter yönetimi, dijitalleşme ve sürdürülebilirlik gibi çok boyutlu alanlarda giderek genişleyen bir literatür üretmiştir. Bu gelişim sürecini görsel biçimde ortaya koymak amacıyla hazırlanan Şekil 1, PI literatürünün 2006–2025 dönemindeki evrimini temel başlıklar üzerinden kronolojik bir yapı içinde sunmaktadır.



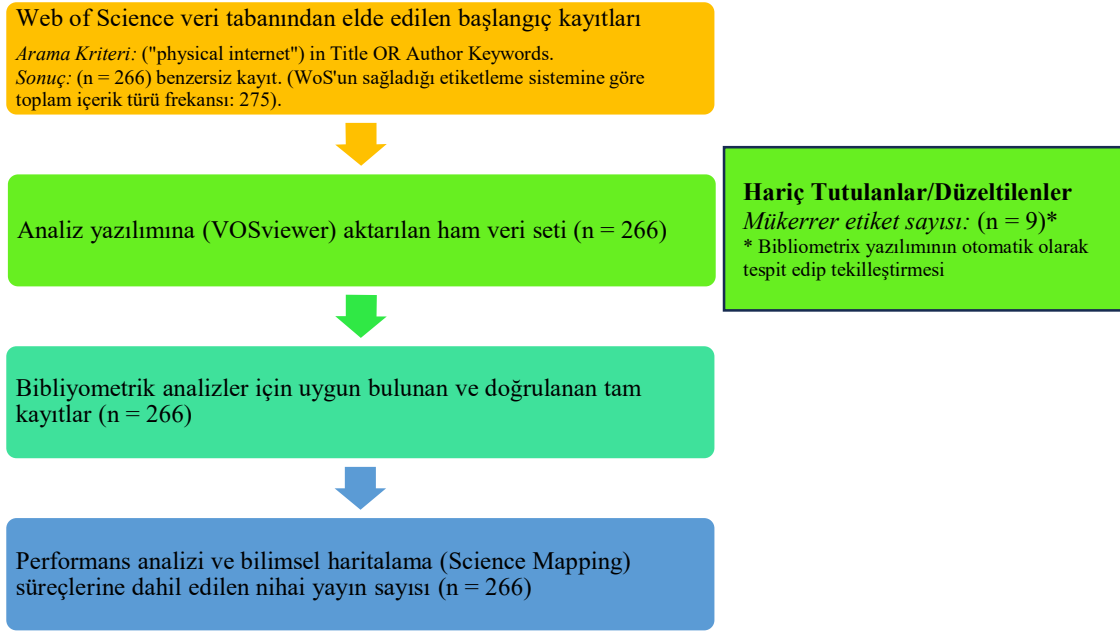
Şekil 1. PI literatürünün gelişim süreci (2006–2025)

Kavramın ilk tanımlarından kavramsal derinleşmeye, uygulama senaryolarından dijital dönüşüm etkilerine ve son olarak kurumsallaşma ve eleştirel tartışma aşamasına uzanan bu zaman çizelgesi, PI'nin akademik düzeyde nasıl olgunlaştığını somut biçimde yansıtmaktadır. Aynı zamanda, teoriden uygulamaya geçişin dinamiklerini ve literatürde öne çıkan kırılma noktalarını bütüncül bir çerçevede kavramamıza olanak tanımaktadır. Bununla birlikte, PI üzerine yapılan çalışmalar sayıca ve konu çeşitliliği açısından artış göstermesine rağmen, literatür henüz bütüncül ve kurumsallaşmış bir olgunluk düzeyine ulaşmış değildir. Uygulama düzeyindeki ampirik araştırmaların artırılması, teknolojik bileşenlerin sistematik biçimde entegre edilmesi ve bölgesel farklılıkların kapsamlı şekilde analiz edilmesi, alanın gelişimi açısından hâlen öncelikli araştırma başlıkları olarak önemini korumaktadır. Bir sonraki bölümde, bu gelişen literatürün içerdiği eğilimlerin ve odak alanlarının bibliyometrik analiz yöntemiyle nasıl haritalandığı detaylandırılacaktır.

### 3. Metodoloji

Bu araştırmanın temel amacı, PI konusuna yönelik yayımlanmış bilimsel çalışmaların yazar, atıf, kurum, dergi, ülke ve anahtar kelime boyutlarında bibliyometrik açıdan kapsamlı bir ilişki analizini gerçekleştirmektir. Bu amaç doğrultusunda analiz kapsamına Web of Science (WoS) Core Collection veri tabanında yer alan akademik yayınlar dahil edilmiştir. Araştırma alanının mühendislik ve operasyon yönetimi ekseninde yüksek kaliteli ve çekirdek literatür üzerinden haritalanması hedeflendiğinden, uluslararası alanda en yüksek etki faktörüne sahip dergileri (SCI-Expanded, SSCI, ESCI) barındıran WoS tercih edilmiştir (Mongeon ve Paul-Hus, 2016; Birkle vd., 2020). Literatürde, WoS ve Scopus veri tabanları arasında özellikle doğa bilimleri ve mühendislik alanında yüksek düzeyde bir örtüşme olduğu kanıtlanmıştır (Mongeon ve Paul-Hus, 2016). Bu doğrultuda, her iki veri tabanının eş zamanlı kullanımında ortaya çıkan veri birleştirme zorlukları ve tekrarlı kayıt riskleri göz önüne alındığında, metodolojik tekrardan kaçınmak ve veri setinde analitik homojenliği korumak amacıyla yalnızca WoS verileri kullanılmıştır (Echchakoui, 2020). Öte yandan TR Dizin, Google Akademik ve YÖK Tez Merkezi gibi platformlarda yer alan kayıtların, Bibliometrix ve VOSviewer gibi yazılımların gerektirdiği standart veri dışı aktarım algoritmalarıyla uyumlu olmaması, araştırmanın yapısal bir kısıtı olarak değerlendirilmiştir.

Veri toplama, eleme ve analiz setinin oluşturulması süreçleri PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) yönergelerine uygun olarak yapılandırılmış ve uygulanan araştırma protokolü Şekil 2'de yer alan akış diyagramında özetlenmiştir.



Şekil 2. Araştırma seçimi ve veri çıkarma sürecine ait PRISMA akış diyagramı

Veri setinin oluşturulmasında aşağıdaki araştırma protokolü işletilmiştir:

- **Veri Tabanı:** Web of Science Core Collection
- **Arama Sorgusu:** TI=("physical internet") OR AK=("physical internet") (*Başlık ve Yazar Anahtar Kelimeleri*)
- **Zaman Kısıtı:** 2011 – 5 Nisan 2025
- **Dahil Edilme Kriterleri:** İngilizce dilinde yayımlanmış hakemli makaleler, bildiri metinleri, derlemeler ve kitap bölümleri.
- **Hariç Tutma Kriterleri:** Veri setiyle doğrudan ilişkisi olmayan yayın formatları ve veri tabanı etiketlemesinden kaynaklı mükerrer kayıtlar.

Bu protokol çerçevesinde yapılan tarama sonucunda toplam 266 benzersiz yayına ulaşılmıştır. Elde edilen yayınlar içerik türleri açısından incelendiğinde; 157'si hakemli makale, 91'i bildiri metni, 11'i derleme, 4'ü kitap bölümü, 6'sı editoryal içerik, 6'sı erken erişim ve 1'i düzeltme metnidir. İçerik türlerine göre yapılan sınıflamada toplam yayın sayısı 275 olarak görünse de bu farkın kaynağı bazı yayınların birden fazla içerik türü etiketi taşımasıdır. Kullanılan analiz yazılımları olan VOSviewer ve Bibliometrix yazılımları, bu tür mükerrer kayıtları (n=9) otomatik olarak tespit edip tekillemekte ve analiz setini 266 benzersiz yayınla sınırlamaktadır (Aria ve Cuccurullo, 2017). Nihai araştırma setini oluşturan 266 benzersiz kayıt üzerinde iki temel analitik yaklaşım uygulanmıştır.

### 3.1. Performans Analizi

Çalışmanın bu aşamasında, PI literatüründeki akademik üretimin nicel gelişimini değerlendirmek amacıyla Bibliometrix (RStudio-Biblioshiny) yazılımı kullanılmıştır. Performans analizi kapsamında yayınların yıllara göre dağılımı, yazar üretkenliği (H-indeksi ve toplam yayın sayısı), en çok atıf alan kaynaklar ve ülkelerin bilimsel katkısı gibi tanımlayıcı istatistikler hesaplanmıştır. Bu süreçte kullanılan değerlendirme teknikleri ise etki (atıf sayıları), verimlilik (yayın sayıları) ve her iki ölçütü birleştiren hibrit metrikler üzerinden literatürün genel görünümünü ortaya koymaktadır.

### 3.2. Bilimsel Haritalama

Literatürdeki kavramsal yapıyı ve ilişki ağları görselleştirmek için Bibliometrix ve VOSviewer yazılımları aracılığıyla bilimsel haritalama teknikleri uygulanmıştır. Bu yöntemsel yaklaşım, yayınlar, dergiler veya yazarlar arasındaki karmaşık ağ yapılarını tanımlayan ilişki tekniklere dayanmaktadır. Ağ analizinde kullanılan temel bileşenler şu şekilde tanımlanmıştır:

- **Düğümlemler:** Analiz birimine göre yazarları, anahtar kelimeleri, kurumları veya ülkeleri temsil eden görsel unsurlardır. Düğümlerin büyüklüğü, ilgili ögenin yayın sayısı veya atıf ağırlığı gibi frekans değerleriyle doğru orantılıdır.
- **Bağlantılar:** İki düğüm arasındaki iş birliği, ortak atıf veya anahtar kelime birlikteliğini gösteren çizgilerdir. Çizgilerin kalınlığı ve kısalığı, iki öge arasındaki ilişkinin gücünü (bağ gücü) ifade etmektedir.
- **Kümelenme:** Benzer araştırma temalarına veya yoğun iş birliği ilişkilerine sahip düğümlerin belirli renklerle gruplandırılmasıdır.

Ağ analizlerinin şeffaflığını ve tekrarlanabilirliğini sağlamak amacıyla, Bibliometrix ve VOSviewer yazılımlarında kullanılan teknik parametreler ve analiz bazlı eşik değerler Tablo 1'de özetlenmiştir.

**Tablo 1.** Bibliyometrik analiz teknik parametreleri ve eşik değerleri

Analiz Türü	Analiz Birimi	Sayım Yöntemi	Normalizasyon	Eşik Değer
<b>Ortak Yazar Analizi</b>	Yazarlar			Min. 1 yayın, Min. 1 atıf
<b>Kaynak Atıf Analizi</b>	Dergiler			Min. 1 yayın, Min. 1 atıf
<b>Kurum Atıf Analizi</b>	Üniversiteler / Kurumlar	Tam Sayım	İlişki Gücü	Min. 1 yayın, Min. 1 atıf
<b>Ortak Kelime Analizi</b>	Anahtar Kelimeler			Min. 5 kullanım*

\*Anahtar kelime analizinde ağdaki gürültüyü azaltmak ve en ilişkili temaları belirlemek amacıyla genellikle minimum 5 veya 10 frekans değeri tercih edilmektedir.

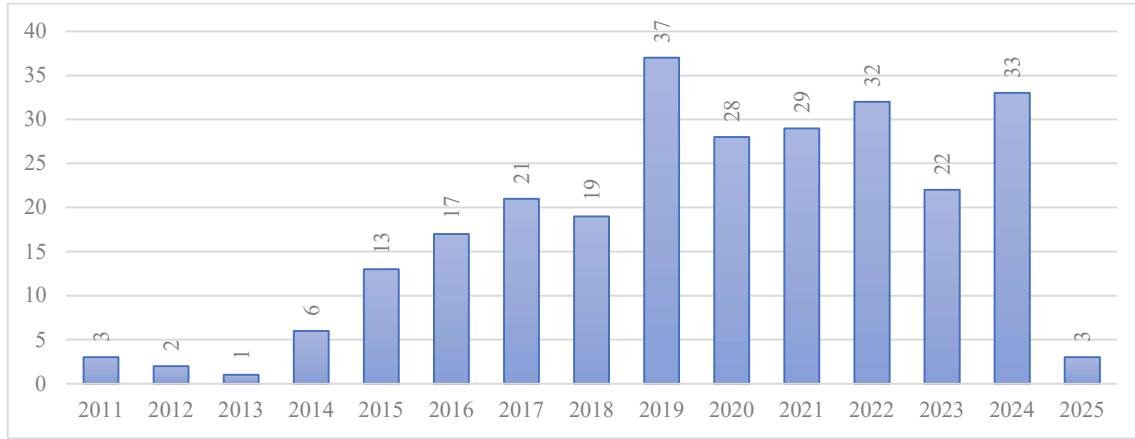
Ağ haritalarının oluşturulmasında, literatürdeki yaygın uygulamalarla uyumlu olarak Tam Sayım yöntemi tercih edilmiştir. Bu yöntem, her bir yayının ağırlığını paydaşlar arasında bölmeden tam birim olarak kabul ederek iş birliği ve etkileşim hacmini daha net yansıtmaktadır. Düğümler arası mesafelerin ve kümelerin belirlenmesinde kullanılan İlişki Gücü Normalizasyon Algoritması, veri setindeki öğelerin oransal birlikteliklerini standartlaştırmak amacıyla seçilmiştir. Analiz setine dâhil edilecek öğeler için belirlenen minimum eşik değerler, PI literatürünün hem öncü aktörlerini hem de gelişmekte olan niş alanlarını kapsayacak şekilde optimize edilmiştir.

Bu teknik altyapı, PI literatüründe "fiziksel internet", "lojistik" ve "sürdürülebilirlik" gibi temel kavramların "nesnelerin interneti", "dijital ikiz" ve "blokzincir" gibi teknolojik bileşenlerle nasıl entegre olduğunu ve tematik olarak hangi odaklarda kümelendiğini görmeyi sağlamaktadır.

#### 4. Bulgular

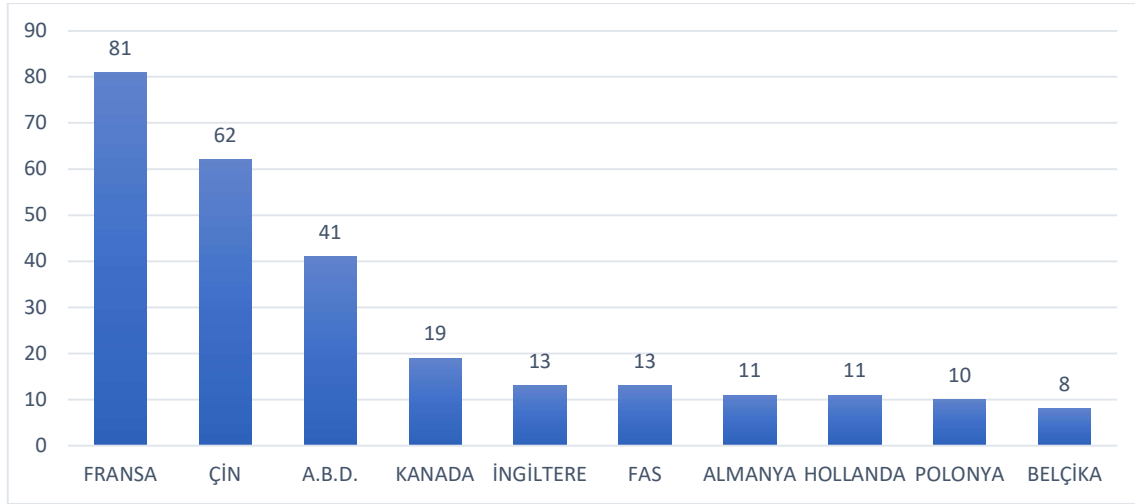
PI konusuna ilişkin WoS veri tabanından elde edilen yayınlar VOSviewer ve Bibliometrix yazılımları kullanılarak bibliyometrik analiz yöntemiyle bu bölümde değerlendirilmiştir. Analiz sonuçları, bilimsel haritalama teknikleriyle desteklenmiş ve ilgili bulgular grafikler ve tablolar aracılığıyla detaylandırılmıştır.

2011–2025 yılları arasında WoS veri tabanında yayımlanmış PI odaklı çalışmaların yıllık dağılımı Şekil 3'te sunulmaktadır. Bu verilere göre, PI literatüründeki akademik üretimin özellikle 2014-2015 yıllarından itibaren belirgin bir ivme kazandığı görülmektedir. Bu artışın arka planında, Ballot vd. (2014) yayımladığı ilk kapsamlı PI kitabının ve bu dönemi takip eden ampirik simülasyon çalışmalarının literatüre girmesi yatmaktadır. 2014 yılı, PI kavramının soyut bir vizyon olmaktan çıkıp operasyonel çıktılarla doğrulanabildiği bir kırılma noktası olarak değerlendirilebilir. Bu ivmelenmenin bir sonucu olarak 2019 yılı, 37 yayımla en yoğun akademik üretimin gerçekleştiği dönem olmuş ve kavramın disiplinlerarası olgunluğa eriştiği kanıtlanmıştır. Özellikle dijitalleşme ve sürdürülebilir lojistik temalarının ön plana çıkmasıyla birlikte, 2020 sonrası dönemde, yayın sayılarının istikrarlı şekilde yüksek kaldığı görülmektedir. Öte yandan, 2025 yılı için yalnızca 3 yayın kaydedilmiştir ki bu durum veri toplama tarihinin (Nisan 2025) erken olmasına bağlanabilir. Söz konusu bulgu aynı zamanda, literatür taramalarında yılın tümüne dair değerlendirmenin veri kesitine dikkat edilerek yapılması gerektiğini de hatırlatmaktadır.



Şekil 3. Yayınların yıllara göre dağılımı

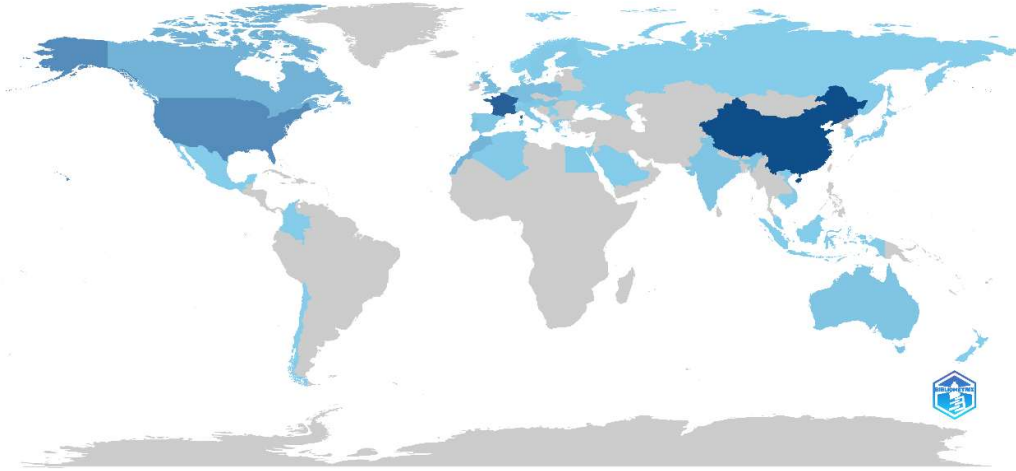
Analiz edilen yayınların ülkelere göre dağılımı Şekil 4’te sunulmaktadır. Buna göre, Fransa 81 yayın ile PI literatürüne en çok katkı sunan ülke konumundadır. Bu durumu, kavramın öncüsü Benoît Montreuil’in uzun süre Laval Üniversitesi (Kanada) ve ardından Georgia Tech (Amerika Birleşik Devletleri – ABD) ile yürüttüğü araştırmalarda Fransa kaynaklı iş birliklerinin etkinliğiyle açıklanabilir. Bununla birlikte, Fransa’nın bu liderliği tesadüfi olmayıp, Horizon 2020 gibi Avrupa Birliği destekli projelerin, bölgesel lojistik optimizasyonu fonlarının ve Avrupa merkezli araştırma konsorsiyumlarının sağladığı stratejik ivmenin bir sonucudur. Avrupa kıtasının PI araştırmalarındaki baskınlığı, bu paradigma değişiminin kamu politikaları ve araştırma fonlarıyla doğrudan desteklendiğini göstermektedir.



Şekil 4. Yayınların ülkelere göre dağılımı: İlk 10 ülke

Şekil 4 incelendiğinde 62 yayın ile Çin ikinci sırada yer alırken, ABD’nin ise 41 yayın ile üçüncü sırada bulunduğu görülmektedir. İlk üçteki bu ülkelerin, PI konusunda araştırma gündemini şekillendiren başlıca merkezler haline geldiği söylenebilir. İlk 10 içinde ayrıca Kanada (19 yayın), İngiltere ve Fas (13’er yayın), Almanya ve Hollanda (11’er yayın), Polonya (10 yayın) ve Belçika (8 yayın) yer almaktadır. Bu dağılım, PI araştırmalarının büyük ölçüde Avrupa ve Kuzey Amerika merkezli yürütüldüğünü tescillemektir. Öte yandan Fas’ın bu listede yer alması, gelişmekte olan ülkelerde PI konusuna artan ilgiyi yansıtması bakımından dikkat çekicidir.

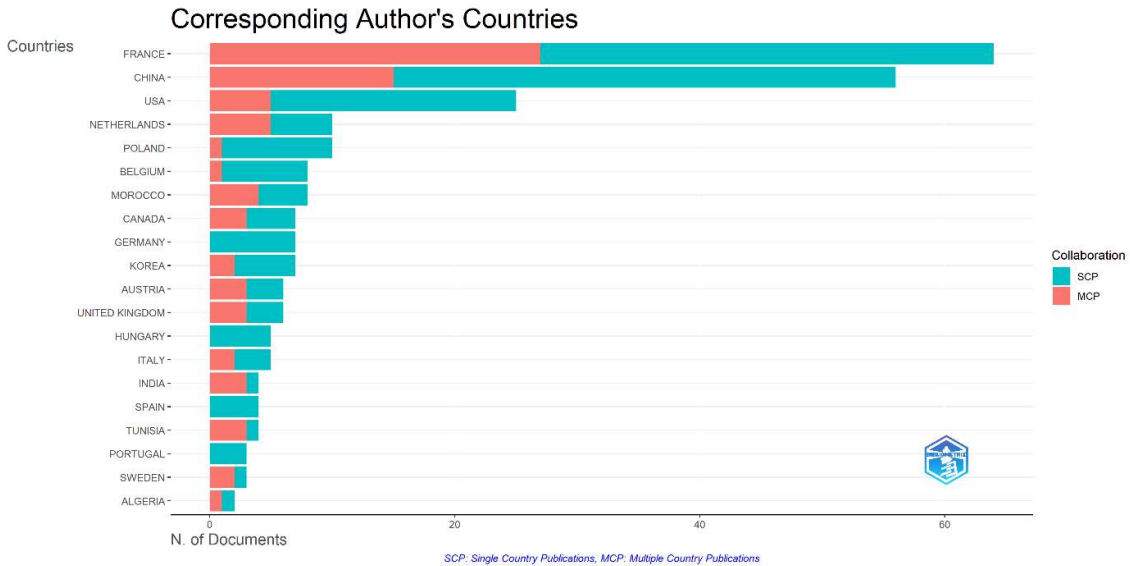
PI alanındaki yayınların coğrafi dağılımı, Bibliometrix aracılığıyla dünya haritası üzerinde görselleştirilmiştir (Şekil 5). Haritada gri renk ile gösterilen ülkelerde bu konuya ilişkin herhangi bir akademik yayının yer almadığı, mavinin tonları koyulaştıkça ise yayın sayısının arttığı görülmektedir.



Şekil 5. Yayınların ülkelere göre dağılımı

Şekil 5'ten elde edilen bulgular, PI araştırmalarının yoğunlaştığı bölgelerin ağırlıklı olarak Avrupa, Kuzey Amerika ve Doğu Asya olduğunu ortaya koymaktadır. Buna karşılık Orta Asya, Latin Amerika ve Afrika ülkelerinin büyük bölümünde, bu alanda herhangi bir akademik yayının bulunmaması dikkat çekicidir. Analiz kapsamında Türkiye'nin de PI konusunda (WoS veri setine yansıyan düzeyde) henüz doğrudan akademik üretim göstermemesi, literatürde önemli bir boşluğa işaret etmektedir. Ancak Türkiye'nin Asya ve Avrupa arasındaki stratejik coğrafi konumu ve küresel lojistik koridorlarının merkezinde yer alması durumlarına sahip olması sebebiyle, PI ağlarının entegrasyonu ve test edilmesi için doğal bir laboratuvar veya geçiş üssü olma potansiyeline sahip olduğu söylenebilir. Mevcut literatürdeki bu boşluk, Türk akademisyenler ve karar vericiler için kavramın ulusal lojistik stratejilere eklenmesi noktasında kritik bir gelişim ve fırsat alanı sunmaktadır.

Şekil 6, sorumlu yazarın bağlı bulunduğu ülke temelinde PI konusundaki bilimsel yayınların uluslararası iş birliği düzeyini göstermektedir. X ekseninde her ülkenin toplam yayın sayısı gösterilirken, Y ekseninde ise ülke isimleri toplam yayın sayısına göre sıralanmıştır. Sütunlar, kırmızı (MCP) ve yeşil (SCP) olmak üzere iki renkten oluşmaktadır. Kırmızı alanlar, çok uluslu iş birliğiyle (Multiple Country Publications) üretilen yayın sayısını, yeşil alanlar da yalnızca yazarın kendi ülkesinde yapılan çalışmaları (Single Country Publications) temsil etmektedir.

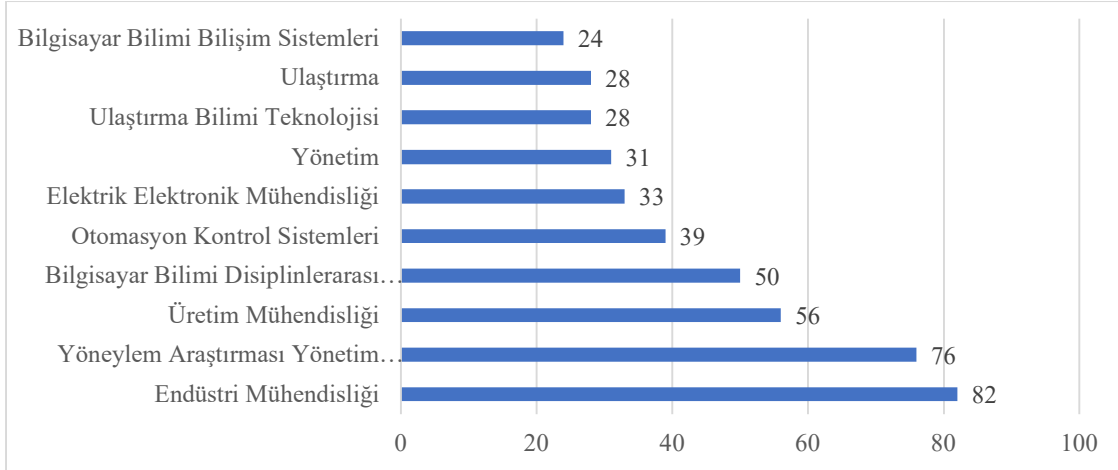


Şekil 6. Sorumlu yazar ülkesi ve uluslararası iş birliği

Analiz sonuçları, PI literatüründe Fransa'nın 27 MCP ve 37 SCP ile uluslararası iş birliğinde en aktif ülke olduğunu göstermektedir. Çin'de ise 15 MCP ve 41 SCP ile önemli bir üretkenlik söz konusu olsa da toplam yayın hacmine oranla uluslararası iş birliği düzeyinin düşük kaldığı görülmektedir. Bu tablo, Fransa'nın PI konusunu küresel bir bilimsel ağ ve çok ortaklı konsorsiyumlar perspektifinde ele aldığını ve Çin'in ise PI araştırmalarını daha çok kendi

devasa ulusal lojistik altyapı sorunlarını çözmeye ve yerel tedarik zinciri kapasitesini optimize etmeye yönelik iç kaynaklı/yerel bir devlet politikası olarak fonladığını düşündürmektedir. Çin'in SCP ağırlıklı bu üretkenlik yapısı, paradigmanın ulusal lojistik ağların dijital dönüşümü ve dayanıklılığı için stratejik bir araştırma gündemi olarak önceliklendirildiğini kanıtlamaktadır.

WoS veri tabanındaki kayıtlar, PI konusundaki yayınların farklı bilimsel alanlarda nasıl konumlandığını göstermektedir. Şekil 7'de görüldüğü üzere, bu çalışmalar 41 farklı kategori altında sınıflandırılmış olup, yoğunlaşmanın özellikle mühendislik ve yönetim bilimlerinde gerçekleştiği gözlemlenmiştir.



Şekil 7. Yayınların WoS kategorilerine göre dağılımı

Şekil 7'deki ilk 10 kategori incelendiğinde Endüstri Mühendisliği (82 yayın), Yöneylem Araştırması ve Yönetim Bilimleri (76 yayın) ve Üretim Mühendisliği (56 yayın) öne çıkan alanlar arasında yer almaktadır. Ayrıca, Bilgisayar Bilimi Disiplinler Arası Uygulamalar başlığında sınıflandırılan 50 yayının varlığı, PI kavramının yalnızca lojistik operasyonlarla birlikte bilgi teknolojileri ve yazılım sistemleriyle de güçlü bir biçimde ilişkilendiğini göstermektedir. Bu tablo, paradigmanın nesnelerin interneti (IoT), dijital ikizler ve otonom algoritmalar sayesinde veri bilimi ve bilgisayar mühendisliğinin ana bileşenlerinden biri haline geldiğini teyit etmektedir. Bu disiplinlerarası genişleme genel olarak değerlendirildiğinde, PI'nın salt fiziksel bir ağ yapısından Siber-Fiziksel İnternet mimarisine doğru evrildiğini ve yapay zekâ, büyük veri analitiği ve siber güvenlik gibi dijital katmanların PI operasyonlarının merkezine yerleştiğini ortaya koymaktadır.

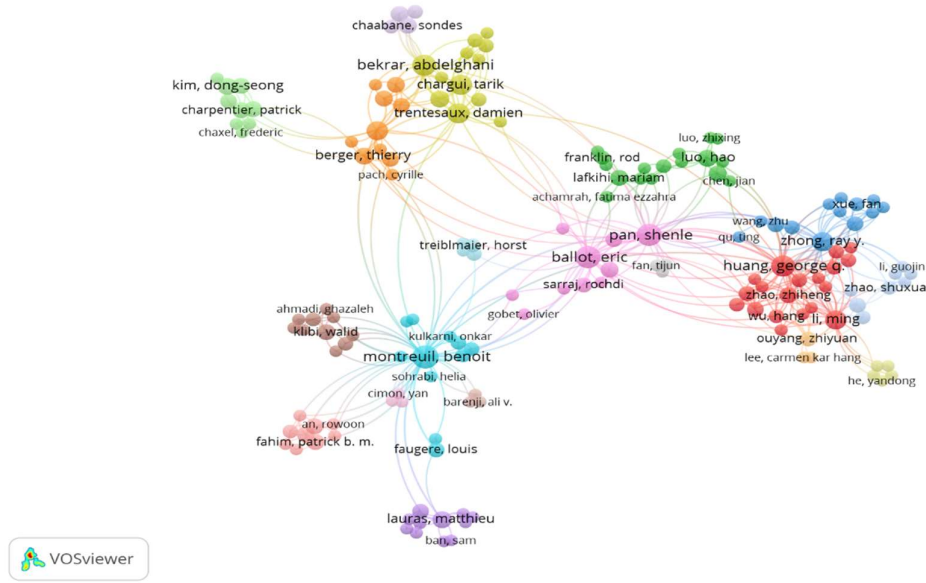
PI literatürüne en fazla katkı sunan yazarların belirlenmesi amacıyla, WoS veri tabanında yer alan yayınlara ilişkin ortak yazar ağı analizi yapılmıştır. Bu analizde en az bir makalesi ve atfı bulunan yazarlar dikkate alınarak ağ yapısı oluşturulmuş ve sonuçlar Tablo 2'de özetlenmiştir.

Tablo 2. Ortak yazar analizine göre ilk 10 yazar

Yazarlar	Yayın Sayısı	Atıf Sayısı	Toplam Bağlantı Gücü
Montreuil, Benoit	29	850	81
Pan, Shenle	24	921	71
Huang, George Q.	17	450	71
Ballot, Eric	22	824	63
Bekrar, Abdelghani	19	272	63
Trantesaux, Demien	16	266	53
Zhong, Ray Y.	12	412	45
Chargui, Tarik	14	119	43
Li, Ming	11	39	43
Sallez, Yves	11	230	37

Tablo 2'deki analiz bulgularına göre, alandaki en etkili yazarların başında Benoît Montreuil yer almakta olup, 29 yayını ve 850 atfı ile aynı zamanda en yüksek toplam bağlantı gücüne (81) sahiptir. Montreuil'i, Shenle Pan (24 yayını, 921 atf) ve George Q. Huang (17 yayını, 450 atf) takip etmektedir. Özellikle Montreuil, PI'nın kuramsal çerçevesini şekillendiren öncül çalışmalarıyla tanınırken, Pan ve Huang gibi yazarlar bu vizyonu uygulamalı modeller ve sektörel senaryolarla zenginleştirmiştir. Ancak bu tabloyu sadece bireysel bir üretkenlik sıralaması olarak okumamak gerekir. Şekil 8'deki ve Şekil 17'deki ağ yapılarıyla birlikte değerlendirildiğinde, bu isimlerin birbirlerinden bağımsız araştırmalar yürütmedikleri ve bunun aksine, PI kavramını akademik bir vizyon olmaktan çıkarıp somut projelere dönüştüren ve alanı kurumsallaştıran çekirdek bir araştırma konsorsiyumu oluşturdukları açıkça görülmektedir.

PI alanında çalışan akademisyenler arasında kurulan iş birliği ilişkilerini ağ yapısı üzerinden görselleştirilmiş hali Şekil 8'de sunulmuştur.



Şekil 8. Ortak yazar analizine göre ağ haritası

Alandaki etkili akademisyenleri belirlemek amacıyla yazarların aldığı atf sayıları üzerinden analiz gerçekleştirilmiştir. Atf sayısına göre sıralanan ilk 10 yazar ayrıca yayını sayısı ve toplam bağlantı gücü bakımından da değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler Tablo 3'te sunulmuştur.

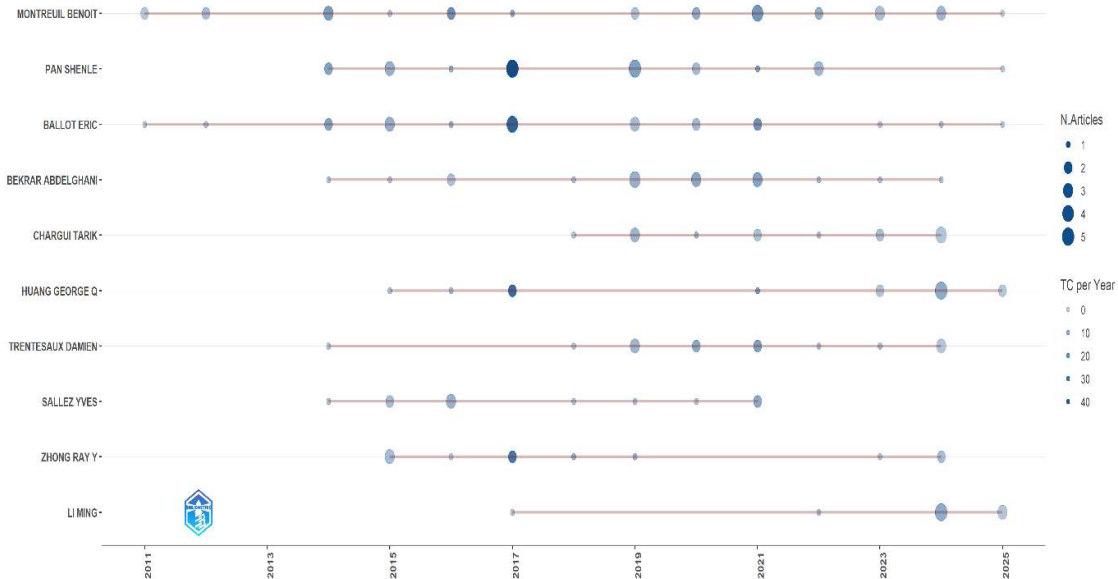
Tablo 3. Yazar atf analizine göre ilk 10 yazar

Yazarlar	Yayın Sayısı	Atf Sayısı	Toplam Bağlantı Gücü
Pan, Shenle	24	921	2168
Montreuil, Benoit	29	850	1708
Ballot, Eric	22	824	2234
Huang, George Q.	17	450	1132
Zhong, Ray Y.	12	412	728
Yang, Yanyan	5	273	533
Bekrar, Abdelghani	19	272	744
Chen, Chao	3	268	146
Trantesaux, Demien	16	266	718
Kim, Dong-Seong	7	266	216

Tablo 3'teki analiz sonuçlarına göre en yüksek atıf sayısına sahip araştırmacı Pan S. (24 yayın, 921 atıf, bağlantı gücü 2168) olurken, onu Montreuil B. (29 yayın, 850 atıf, bağlantı gücü 1708) ve Ballot E. (22 yayın, 824 atıf, bağlantı gücü 2234) takip etmektedir. Özellikle Ballot'un en yüksek bağlantı gücüne sahip olması, onun bu çekirdek kadro içinde iş birliği yayın yapma eğiliminin ve farklı araştırma grupları arasında bir köprü görevi üstlendiğinin güçlü bir göstergesidir. Elde edilen bulgular, PI literatürünün gelişiminde Montreuil, Pan ve Ballot üçlüsünün yalnızca en çok atıf alan bireyler olmadıklarını ve ortak Avrupa-Kuzey Amerika projeleri ile eş yazarlı makaleler üzerinden alanın teorik ve algoritmik sınırlarını birlikte çizen kurucu bir ekosistem yarattıklarını kanıtlamaktadır.

Tablo 2 ve Tablo 3'teki analiz bulgularına göre, PI literatürünün Benoit Montreuil, Shenle Pan ve Eric Ballot gibi isimler etrafında kümelendiği görülmektedir. Bu durum, literatür taramasında da detaylandırıldığı üzere, Montreuil'in (2011) PI manifestosuyla kuramsal vizyonu başlatması, Ballot vd. (2014) ve Pan vd. (2015) gibi araştırmacıların ise bu teorik çerçeveyi ampirik simülasyon ve envanter yönetimi modelleriyle test ederek literatürde geçerliliğini ortaya koymuş olmalarından kaynaklanmaktadır. Söz konusu yazarların yüksek atıf ve bağlantı güçleri, PI paradigmasının kavramsal vizyondan operasyonel gerçekliğe geçiş sürecini bizzat yöneten aktörler olduklarını kanıtlamaktadır.

PI alanında en fazla yayın yapan yazarların yıllara göre üretkenliği ve aldıkları atıf sayıları Şekil 9'da görselleştirilmiştir. Bibliometrix ile oluşturulan bu görseldeki koyu mavi baloncuklar ilgili yılda yayımlanan makale sayısını, açık mavi baloncuklar ise o yıl içinde alınan toplam atıf sayısını göstermektedir. Her iki balon boyutu da ilgili değerin büyüklüğüyle orantılıdır.



Şekil 9. Yazarların yıllara göre üretkenliğinin dağılımı

Bibliometrix'teki üretkenlik ölçütlerine göre Şekil 9'da yer alan ilk 10 yazar belirlenmiştir. Elde edilen bulgulara göre, PI literatürünün gelişiminde öncü olan Montreuil B. ve Ballot E. 2011 yılından itibaren düzenli ve kesintisiz yayın yaparak alanın şekillenmesinde temel itici güç olmuşlardır. Bu istikrarlı üretkenlik niceliksel bir başarı ile sınırlı kalmayıp, yeni bir paradigmanın bilimsel arenada hayatta kalma ve olgunlaşma stratejisidir. Şekil 9'un ortaya koyduğu zamansal süreklilik, bu kurucu ekibin PI kavramını önce teorik olarak inşa ettiğini, ardından Ballot öncülüğünde simülasyon modelleriyle test ettiğini ve günümüzde ise Pan S. gibi isimlerin katılımıyla dijital teknolojilerle (IoT, veri analitiği) entegre ederek literatürü sürekli canlı tuttuklarını görselleştirmektedir. Söz konusu isimler literatürün basit birer aktörü değil, PI teorisinin yaşam döngüsünü bizzat tasarlayan mimarlardır.

VOSviewer kullanılarak gerçekleştirilen kaynak atıf analizinde, PI konulu çalışmaların en sık atıf yaptığı yayın yerleri belirlenmiştir. Analiz, en az bir atıf ve bir yayına sahip kaynakları içerecek şekilde sınırlandırılmıştır. Yayın sayısı, atıf sayısı ve toplam bağlantı gücü dikkate alınarak en etkili 10 kaynak Tablo 4'te sunulmuştur.

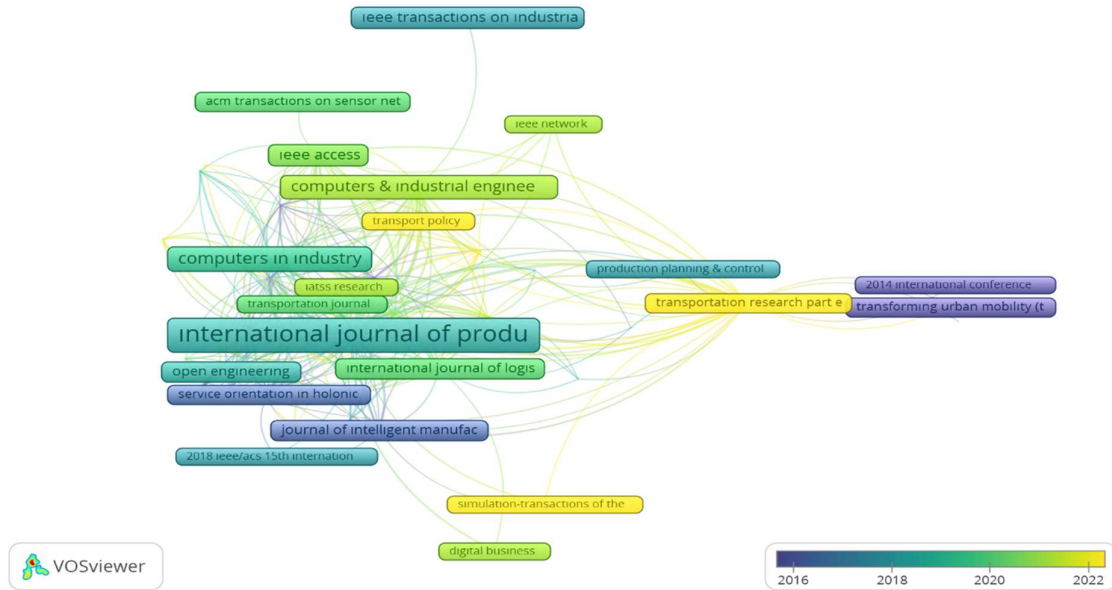
Tablo 4. Kaynak Atıf Analizine Göre İlk 10 Kaynak

Kaynaklar	Yayın Sayısı	Atıf Sayısı	Toplam Bağlantı Gücü
-----------	--------------	-------------	----------------------

INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH	26	1392	540
TRANSPORTATION RESEARCH PART E-LOGISTICS AND TRANSPORTATION REVIEW	8	56	184
COMPUTERS & INDUSTRIAL ENGINEERING	11	262	152
IFAC PAPERSONLINE	21	183	139
JOURNAL OF BUSINESS LOGISTICS	6	130	130
INDUSTRIAL MANAGEMENT \& DATA SYSTEMS	7	53	92
INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION ECONOMICS	13	260	89
COMPUTERS IN INDUSTRY	6	290	80
INTERNATIONAL JOURNAL OF PHYSICAL DISTRIBUTION & LOGISTICS MANAGEMENT	1	69	63
NINTH INTERNATIONAL JOURNAL OF LOGISTICS MANAGEMENT	1	120	61

Tablo 4'ten elde edilen bulgulara göre, PI literatüründe en çok başvurulan kaynak olarak “International Journal of Production Research” hem yayın sayısı (26) hem de atıf sayısı (1392) açısından öne çıkmaktadır. Bu dergiyi, “Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review” ve “Computers & Industrial Engineering” gibi lojistik ve üretim bilimleri odaklı önemli kaynaklar takip etmektedir. Genel tablo PI çalışmalarının üretim yönetimi, tedarik zinciri ve endüstri mühendisliği ekseninde konumlandığını ortaya koymaktadır.

PI literatüründe yer alan kaynakların yıllara göre atıf yoğunluklarını görselleştiren bir katman haritası Şekil 10'da sunulmaktadır. VOSviewer aracılığıyla oluşturulan bu haritadaki renk skalası kaynaklara yapılan atıfların yıllara göre ortalama yoğunluğunu göstermektedir. Açık mavi tonlar daha erken dönemleri, sarı tonlar ise daha güncel çalışmaları temsil etmektedir.

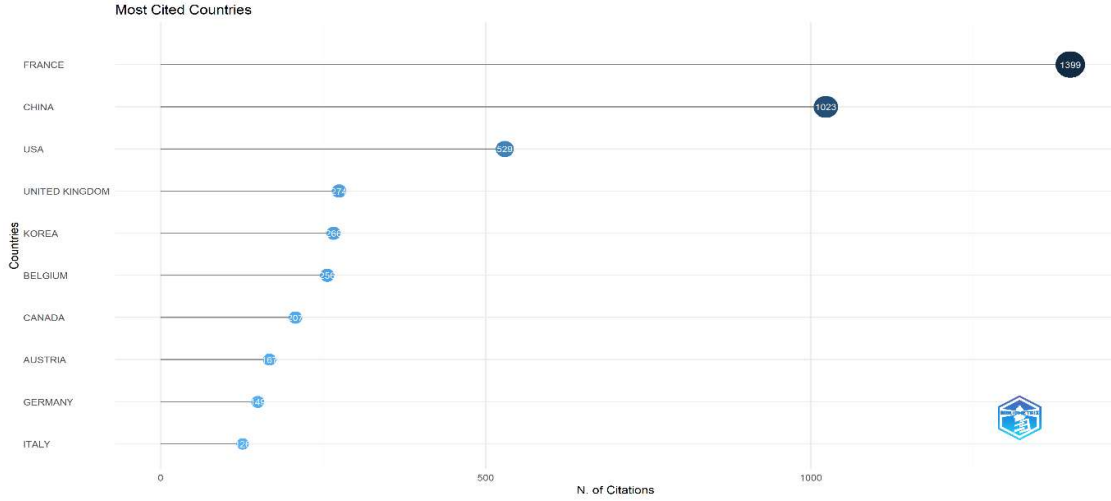


Şekil 10. Kaynak atıf analizine göre katman haritası

Şekil 10'daki katman haritası incelendiğinde, “International Journal of Production Research” dergisinin en yüksek toplam atıf alan kaynak olduğu ve atıfların da özellikle 2019 yılında yoğunlaştığı görülmektedir. Diğer yandan, “Transportation Research Part E”, “Transport Policy” ve “Production Planning & Control” gibi dergilerdeki yayınların daha yakın dönemlerde (2021–2022) öne çıktığı anlaşılmaktadır. Bu durum, PI konusundaki odak kaymasını zamansal bir perspektifle ortaya koymakta ve literatürdeki tematik evrime işaret etmektedir. Paradigma başlangıçta üretim verimliliği, depo entegrasyonu ve geleneksel tedarik zinciri optimizasyonu ekseninde ele alınmaktaydı. Güncel çalışmalar doğrudan ulaştırma stratejileri, ağ yapıları, çok modlu taşımacılık ve makro

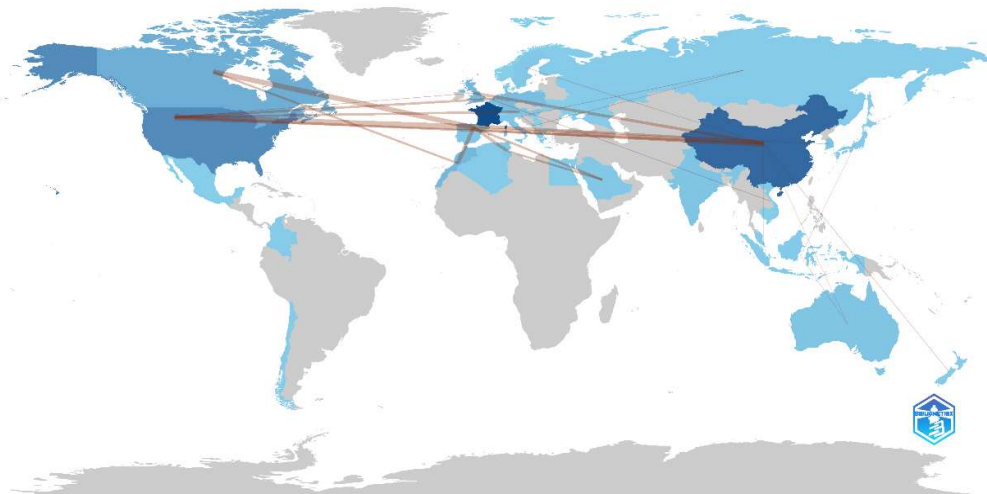
düzeydeki lojistik ağların internetleşmesi üzerine yoğunlaşmaktadır. Bu tematik kayma, PI'nın yalnızca geleneksel bir operasyon/üretim aracı olmaktan çıkarak, stratejik bir ağ yönetimi paradigmasına dönüştüğünü tescillemektedir.

Bibliometrix ile gerçekleştirilen bir diğer analizde, PI alanında yayımlanan çalışmalara en fazla atıf alan ülkeler belirlenmiştir. Şekil 11'de yer alan bulgulara göre, bu alanda yayımlanan çalışmalara en yüksek düzeyde atıf alan ülke 1399 atıf ile Fransa olmuştur. 1023 atıf ile Çin ikinci, ABD ise 529 atıf ile üçüncü sırada yer almaktadır. Bu veriler, PI literatüründe özellikle bu üç ülkenin akademik etkisinin yüksek olduğunu ve yayınlarının bilimsel alanda daha sık referans aldığını göstermektedir.



Şekil 11. En çok atıf alan ilk 10 ülke

PI alanında iş birliği içerisinde gerçekleştirilen bilimsel çalışmaların ülke bazlı ağ haritası Şekil 12'de sunulmaktadır. Analiz sonucu elde edilen görsel, ülkeler arasındaki yayın iş birlikleri temel alınarak hazırlanmıştır. Haritada ülke renklerinin koyuluğu, o ülkenin yayın sayısı ile ilişkilidir. Koyu mavi tonlar daha fazla yayını ifade ederken, açık mavi daha az yayını temsil etmektedir. Ülkeler arasında yer alan kahverengi düz çizgiler ise ilgili iki ülke arasında yayın bazlı iş birliği olduğunu belirtmektedir. Çizgilerin kalınlığı ve koyuluğu ise iş birliği düzeyini göstermektedir.



Şekil 12. Ülkeler arası iş birliği analizi

Şekil 12'den elde edilen bulgular, özellikle Fransa – Kanada, Fransa – ABD, Fransa – Çin ve Çin – ABD ekseninde güçlü bir uluslararası iş birliği ağına işaret etmektedir. Fransa'nın bu ağın merkezindeki (hub) konumu, ülkenin sadece yayın hacmini değil, aynı zamanda bilimsel ağ kurma ve farklı kıtalar arasında köprü olma kapasitesini de ortaya koymaktadır. Bu merkezîyet, Avrupa merkezli lojistik ağlarının internetleşmesi için yürütülen çok ortaklı

projelerin ve fonların, akademik iş birliklerini nasıl katalize ettiğinin somut bir göstergesidir. Bu tablo, PI paradigmasının küresel ölçekte benimsenmesi için Avrupa ve Kuzey Amerika arasındaki teknoloji transferinin ve Çin ile kurulan operasyonel iş birliklerinin ne kadar kritik olduğunu yansıtmaktadır.

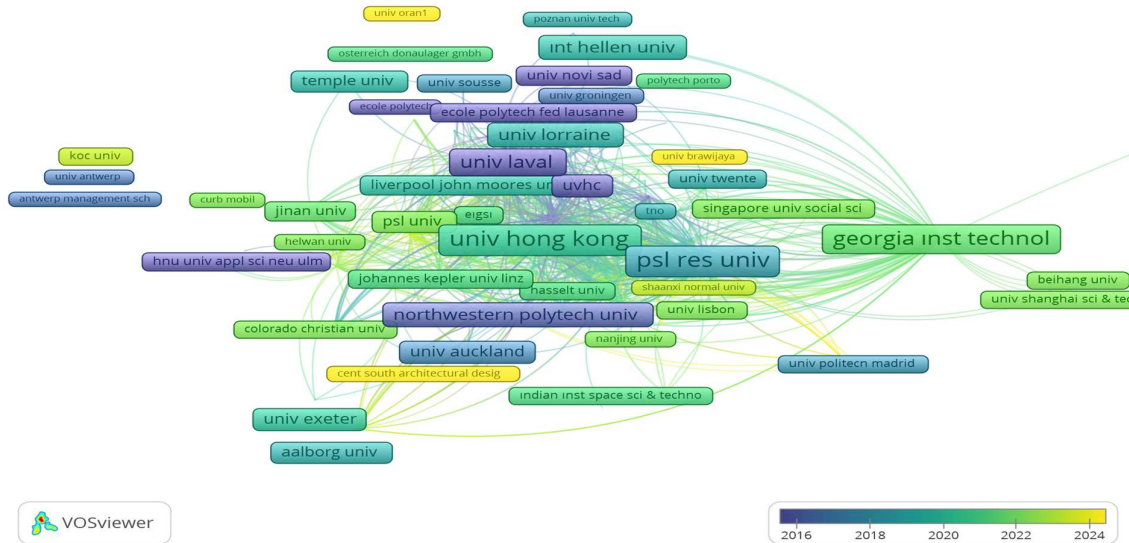
PI temalı yayınların en çok atıf alan kurum adreslerine göre sıralaması Tablo 5'te gösterilmiştir. Tablo, her kurumun en az bir yayına ve bu yayına yapılmış en az bir atıfa sahip olması koşuluyla oluşturulmuştur.

**Tablo 5.** Kurum atıf analizine göre ilk 10 kurum

Kurumlar	Yayın Sayısı	Atıf Sayısı	Toplam Bağlantı Gücü
PSL Research University	17	645	678
University of Hong Kong	19	611	671
Georgia Institute of Technology	20	507	471
Universite Laval	8	312	400
Shenzen University	13	307	276
Chongging University	4	277	98
Kumoh National Institute of Technology	7	266	121
University of Lorraine	5	233	47
Mines ParisTech	5	204	310
International Hellenic University	2	185	17

Tablo 5'e göre, PSL Research University 17 yayın ve 645 atıf ile ilk sırada yer almaktadır. Onu, 19 yayın ve 611 atıf ile University of Hong Kong takip ederken, Georgia Institute of Technology ise 20 yayın ve 507 atıfıla üçüncü sırada bulunmaktadır. Bu üç kurumun sırasıyla Fransa, Çin ve ABD'de yer alması, daha önce ülke düzeyinde yapılan atıf analizlerinin sonuçlarıyla tutarlılık göstermektedir.

PI alanında yapılan akademik yayınların kurum bazlı atıf yoğunluğunu yıllara göre analiz etmeye yönelik Şekil 13'te hazırlanmıştır. Görselde, kurumların aldığı toplam atıf sayısı kutucukların büyüklüğüyle ve bu atıfların hangi yıllarda yoğunlaştığı ise sağ alt köşedeki renk skalası yardımıyla gösterilmektedir.

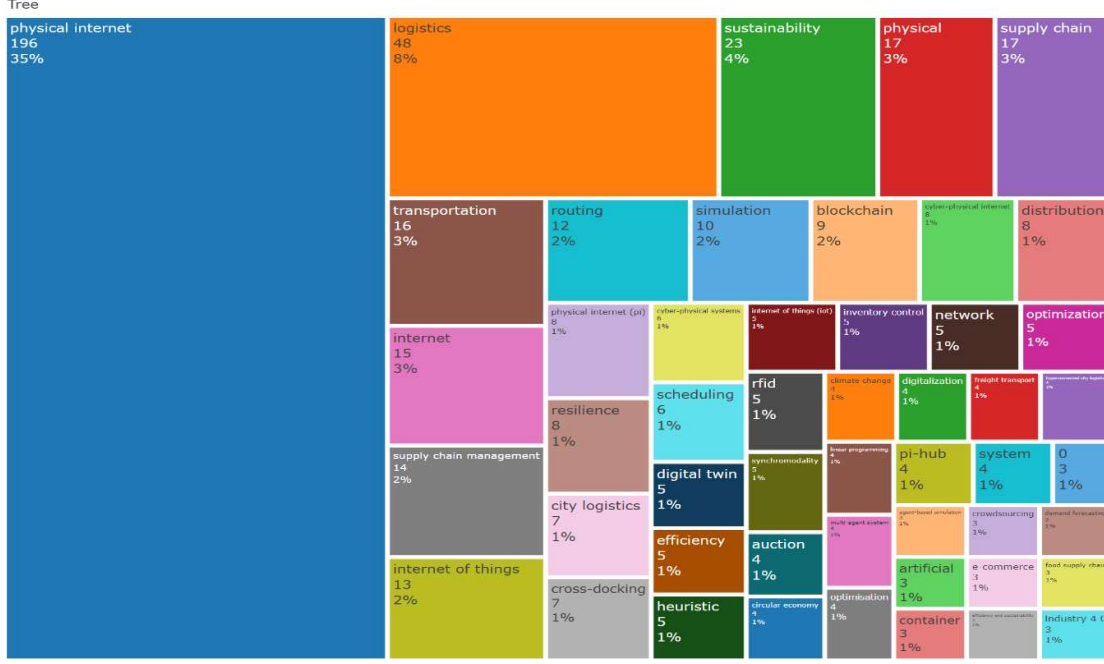


**Şekil 13.** Kurum atıf analizine göre katman haritası

Şekil 13'teki harita incelendiğinde Georgia Institute of Technology için 2022, University of Hong Kong için 2021 ve PSL Research University için 2020 yıllarının atıf yoğunluğu açısından öne çıktığı gözlenmektedir. Dikkat çeken diğer bir husus da Türkiye'den Koç Üniversitesi adresli bir yayının PI konulu çalışmalarda atıf almış olmasıdır. Bu durum, Türkiye'deki araştırma kurumlarının bu alana sınırlı da olsa katkı sunduğunu ve kuramsal bir altyapının

mevcut olduğunu kanıtlamaktadır. Söz konusu atıf başarısı, Türkiye'nin lojistikteki stratejik avantajının nitelikli bilimsel üretime dönüştürülmesi halinde, ülkenin küresel PI ekosisteminde bölgesel bir merkez rolü üstlenebileceğine dair öncü bir işaret olarak değerlendirilmelidir.

PI konusundaki yayınlarda en sık kullanılan anahtar kelimelerin dağılımı ağaç haritası (TreeMap) formatında Şekil 14'te sunulmuştur. Görseldeki her bir kutucuk, bir anahtar kelimeyi temsil etmektedir. Kutucukların büyüklüğü, ilgili kelimenin kullanım sıklığıyla orantılıdır.



Şekil 14. En çok kullanılan anahtar kelimeler

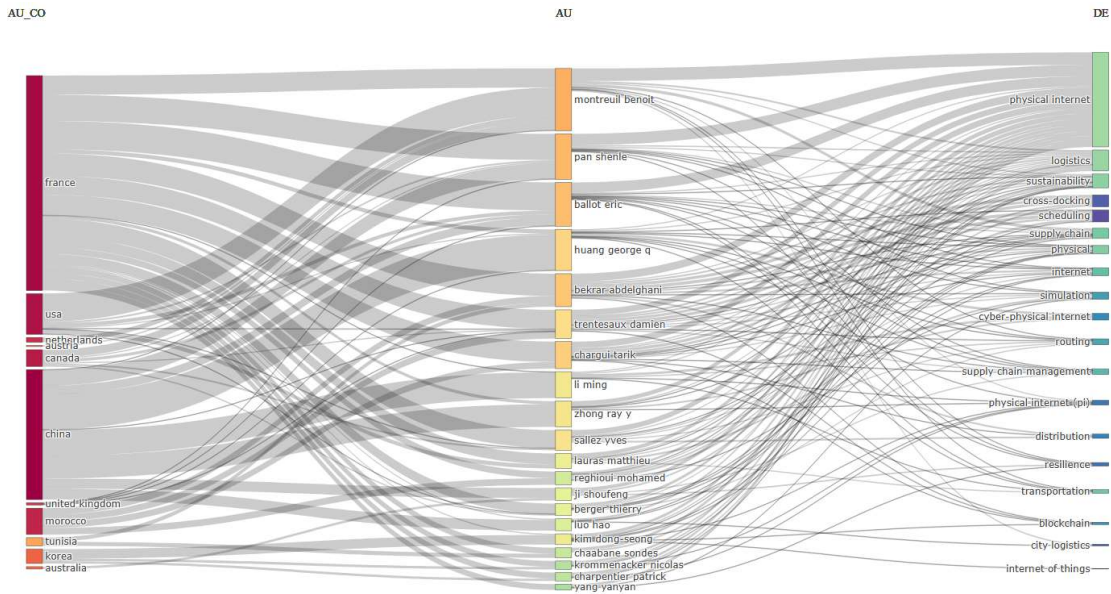
Şekil 14'teki verilere göre, açık farkla en çok kullanılan anahtar kelime "physical internet" olmuştur. Bu durum, araştırmaların doğrudan kavramın kendisine odaklandığını göstermektedir. Bunu lojistik, sürdürülebilirlik, tedarik zinciri, ulaşım, yönetim gibi lojistik temelli kavramlar takip etmektedir. Bu ifadeler, PI literatürünün güçlü bir biçimde lojistik odaklı geliştiğini ve uygulama alanlarının lojistik sistemler etrafında yoğunlaştığını göstermektedir. Buna ek olarak, daha küçük ölçekli kutucuklarda yer alan şehir lojistiği, çapraz-sevkiyat (cross-docking), dijital ikiz, nesnelerin interneti, blockchain, RFID, optimizasyon, simülasyon, envanter kontrolü, rotalama, konteyner, döngüsel ekonomi ve dijitalleşme gibi terimler literatürdeki niş ve ileri teknoloji odaklı araştırma konularına işaret etmektedir. Sonuç olarak, bu analiz PI literatürünün hem geniş lojistik perspektifi hem de yeni teknolojik gelişmelerle olan bağlarını ortaya koymakta; aynı zamanda araştırmaların disiplinlerarası çeşitliliğini yansıtmaktadır.

PI literatüründe en sık kullanılan anahtar kelimelere dair kelime bulutu görseli Şekil 15'te sunulmuştur. Görseldeki her bir kelimenin yazı büyüklüğü, ilgili terimin kullanım sıklığına doğrudan bağlıdır.



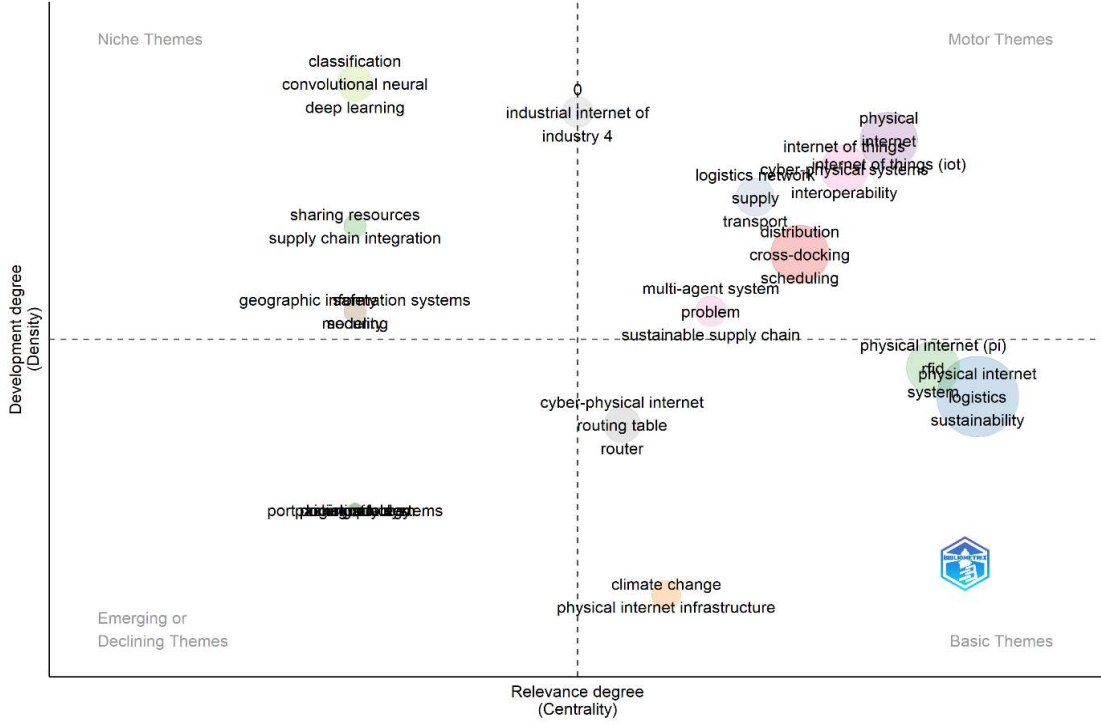
göstermektedir. “Blockchain”, “cyber-physical internet” ve “resilience” kavramlarının özellikle son yıllarda trend haline gelmesi tesadüf değildir. PI'nın temel prensibi olan paylaşımlı ağlar ve açık lojistik merkezleri (open hubs), farklı paydaşlar arasında veri güvenliği, izlenebilirlik ve güven sorunlarını doğurmaktadır. Blokzincir teknolojisi, merkeziyetsiz yapısıyla bu güven protokolünü sağlarken, siber-fiziksel internet kavramı ise lojistik operasyonların fiziksel kapasitenin yanı sıra eşzamanlı dijital veri akışıyla yönetilmesini de zorunlu kılmaktadır. Geleneksel PI modelleri durağan rotalama problemlerine odaklanırken, literatürdeki bu yeni trend, sistemin anlık kesintilere karşı dayanıklılığını artıracak otonom ve kendi kendini düzelten algoritmalar üzerine yoğunlaştığını kanıtlamaktadır.

PI literatürüne katkı sağlayan ülkeler, öne çıkan yazarlar ve sık kullanılan anahtar kelimeler arasındaki ilişkiler üç alanlı (three-field) bir gösterimle Şekil 17’de sunulmuştur. Bibliometrix ile oluşturulan bu ağ yapısı, ülkelerin öne çıkan araştırmacılarla olan bağlantılarını ve bu yazarların çalışmalarında odaklandıkları tematik yönelimleri aynı anda görselleştirme olanağı sunmaktadır. Görselde, Fransa ve Çin’in literatürdeki baskın konumları dikkat çekerken Montreuil, Pan, Ballot ve Huang gibi isimlerin disiplinin öncüleri arasında yer aldığı görülmektedir. Ayrıca “physical internet”, “logistics” ve “sustainability” gibi anahtar kelimeler, literatürdeki temel kavramsal odaklara işaret etmektedir.



Şekil 17. Yazar-ülke-anahtar kelime ilişkisi

Anahtar kelime analizine dayalı olarak geliştirilen tematik harita ise Şekil 18’de gösterilmiştir. Harita, literatürdeki temaların gelişmişlik düzeyine (yoğunluk) ve merkeziliğine (önem düzeyi) göre dört alanda sınıflandırılmasına olanak tanımaktadır. Sağ alt bölümde yer alan “basic themes” grubu lojistik, sürdürülebilirlik ve PI gibi alanın temel yapı taşlarını oluştururken, sağ üstteki “motor themes” kısmında yer alan konuların (IoT, dijital ikiz, birlikte çalışabilirlik) alandaki araştırmaları yönlendiren merkezi temalar olduğu görülmektedir. Nesnelerin interneti (IoT) ve dijital ikiz kavramlarının literatürü sürükleyen “Motor Temalar” bölgesinde yer alması, PI ağlarının kavramsal modellemeye çıkıp veri güdümlü operasyonel aşamaya geçtiğini göstermektedir. Dijital ikiz teknolojisi, standartlaştırılmış  $\pi$ -konteynerlerin ve lojistik ağların sanal bir kopyasını oluşturarak, darboğaz analizi ve senaryo testlerinin gerçek zamanlı olarak fiziksel sisteme müdahale etmeden yapılabilmesine olanak tanımaktadır. Öte yandan, sol üst çeyrekte yer alan “Niche Themes” bölgesindeki derin öğrenme ve coğrafi bilgi sistemleri, henüz literatürde ana akım haline gelmemiş olsa da rotalama optimizasyonu ve büyük verinin işlenmesi bağlamında geleceğin yüksek potansiyelli metodolojik araçları olarak dikkat çekmektedir. Birlikte çalışabilirlik (interoperability) ise bu sistemlerin birbiriyle konuşmasını sağlayan en kritik entegrasyon katmanı olarak motor temaların kalbinde yer almaktadır.



Şekil 18. Tematik harita

Gerçekleştirilen bibliyometrik analizler sonucunda PI literatürünün özellikle son on yılda hızla geliştiği, disiplinler arası bir boyut kazandığı ve lojistik sistemlerin dijitalleşme süreçleriyle bütünlük şeklinde ele alındığı görülmüştür. Yayınların büyük çoğunluğunun Fransa, Çin ve ABD kaynaklı ve Montreuil, Pan, Ballot ve Huang gibi araştırmacıların ise literatürde merkezi bir konuma sahip oldukları tespit edilmiştir. Anahtar kelime, atıf ve iş birliği analizleri PI'nın lojistik, sürdürülebilirlik, tedarik zinciri yönetimi ve dijital teknolojilerle olan yakın ilişkisini ortaya koymuştur. Ayrıca tematik harita verileri, bu alanın hem temel araştırma temellerine sahip olduğunu hem de yeni gelişmekte olan konu başlıkları açısından önemli bir araştırma potansiyeli taşıdığını göstermektedir. Tüm bu bulgular, PI'nın gerek akademik gerekse sektörel düzeyde stratejik bir kavramsal çerçeveye dönüştüğünü ve önümüzdeki dönemde de odak noktası olmaya devam edeceğini ortaya koymaktadır.

Analizlerde öne çıkan “dijital ikiz”, “blokzincir” ve “IoT” gibi kavramların trend haline gelmesi, PI'nın lojistik bir optimizasyon aracı ve aynı zamanda siber bir katman gerekliliği olduğunu göstermektedir. Bu bulgu, Bölüm 2'de Wu vd. (2025) tarafından önerilen Siber-Fiziksel İnternet (CPI) vizyonu ile de tam bir uyum içerisindedir. PI literatürünün evrimi, Wu vd. (2025) çalışmasında belirtilen beş katmanlı mimarinin akademik düzeyde olgunlaşmaya başladığını ve araştırmacıların artık fiziksel akışlara ve bu akışları yönetecek dijital veri mimarisine yoğunlaştığını teyit etmektedir.

## 5.Sonuçlar

PI, lojistik sistemlerin yeniden tasarlanmasında dijitalleşme ve sürdürülebilirlik hedeflerini bütünleştiren yenilikçi bir yaklaşım olarak literatürde hızla olgunlaşmaktadır. Bu çalışma, PI alanındaki akademik üretimi bibliyometrik yöntemle analiz ederek mevcut literatürün tematik yoğunluklarını, yönetsel tercihlerini ve gelişim eğilimlerini görünür kılmayı amaçlamıştır. Gerçekleştirilen analizler, PI ile ilgili akademik çalışmaların özellikle 2014 sonrasında belirgin bir artış gösterdiğini ve söz konusu araştırmaların coğrafi olarak daha çok Fransa, ABD ve Çin gibi ülkelerde yoğunlaştığını ortaya koymuştur. Literatürde en fazla yayına sahip yazarın Montreuil olduğu ve Pan'ın da en fazla atıf alan yazar konumunda bulunduğu belirlenmiştir. Kurumsal düzeyde ise PSL Research University yayın ve atıf sayısı açısından öne çıkan bir merkez olarak dikkat çekmektedir. Çalışma bulguları PI araştırmalarının giderek daha fazla veri temelli, disiplinlerarası ve uygulama odaklı bir yapıya evrildiğini ortaya koymuştur.

Çalışmada elde edilen bibliyometrik bulgular, alandaki diğer sistematik literatür incelemeleriyle karşılaştırıldığında önemli çıkarımlar sunmaktadır. Treiblmaier vd. (2020) tarafından vurgulanan PI'nın sürdürülebilir tedarik zinciri için sunduğu şeffaf yapı, anahtar kelime analizlerimizde sürdürülebilirliğin merkezi bir temel tema olarak belirmesiyle desteklenmektedir. Bununla birlikte, Sternberg ve Norrman'ın (2017) PI'nın

benimsenmesinin önündeki iş modeli eksikliklerine dair eleştirel yaklaşımı, analizlerimizde iş modelleri konusunun henüz niş veya gelişmekte olan bölgede kalmasıyla ampirik olarak doğrulanmaktadır. Bu durum, PI literatürünün teknik optimizasyon konusunda doygunluğa yaklaşırken, kurumsal ve yönetsel iş modelleri bağlamında halen ciddi bir araştırma boşluğu barındırdığını göstermektedir.

Gerçekleştirilen analizlerle, PI literatürünün başlangıçta teorik çerçeveler ve simülasyon temelli modeller etrafında geliştiği ve son dönemde ise büyük veri, yapay zekâ ve karar destek sistemleri gibi teknolojilerle etkileşim hâlinde daha karmaşık ve bütüncül yapılarla yöneldiği tespit edilmiştir. Anahtar kelime analizleri, literatürde en sık kullanılan kavramların sırasıyla “lojistik”, “sürdürülebilirlik”, “tedarik zinciri”, “nesnelerin interneti”, “dijitalleşme”, “blokzincir”, “simülasyon” ve “rotalama” gibi temalara yoğunlaştığını göstermiştir. Bu odaklar PI'nın yalnızca taşıma sistemlerine odaklanan bir yapıdan çıkarak, veri temelli ve dijitalleştirilmiş bütüncül sistemlere doğru evrildiğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, kavramın sahaya yansıyan uygulamaları halen sınırlı olup, özellikle ampirik veri ile desteklenmiş gerçek zamanlı çalışmalara duyulan ihtiyaç devam etmektedir. Bu durum PI'nın pratikteki potansiyelini sınamak ve kurumsal faydalarını doğrulamak adına önemli bir araştırma boşluğuna işaret etmektedir. Literatürde uygulamaya dönük tematik kümelerin başında lojistik optimizasyonu, dijital platform entegrasyonu ve sürdürülebilir tedarik zinciri stratejileri gelmektedir. Ancak halen yeterince çalışılmamış konular arasında PI'nın KOBİ'ler özelinde uygulanabilirliği, gelişmekte olan ülkelerdeki dijital altyapı sınırlılıkları ve veri güvenliği konuları yer almaktadır. Bu bağlamda disiplinlerarası yaklaşımlarla geliştirilecek çalışmalar, PI'nın hem akademik hem de pratik gelişimini destekleyebilecek yeni yönelimleri gündeme taşıyacaktır.

Çalışmanın bulguları akademik bir haritalama sunmakla beraber özel sektördeki uygulayıcılar ve karar vericiler için de stratejik çıkarımlar barındırmaktadır. Şekil 16 ve 18'de öne çıkan nesnelerin interneti ve blokzincir gibi teknolojik temalar, lojistik firmalarının PI paradigmasına geçişte öncelikle dijital izlenebilirlik ve açık veri paylaşımı altyapılarına yatırım yapmaları gerektiğini göstermektedir. Özellikle KOBİ düzeyindeki işletmelerin, geleneksel ve kapalı depo sistemlerinden çıkıp açık PI ağlarına entegre olabilmeleri için bulut tabanlı envanter yönetim sistemlerini benimsemeleri kritik bir yönetsel adımdır.

Bibliyometrik bulgular ve literatürdeki boşluklar ışığında, PI alanında gelecekte yürütülecek çalışmalar için üç temel eksenle araştırma yapılmasına ihtiyaç duyulacağı düşünülmektedir:

- **Teknolojik Entegrasyon ve Simülasyon:** Dijital ikiz teknolojileri kullanılarak PI ağlarının dinamik simülasyonlarının yapılması, otonom konteyner yönlendirme algoritmalarının geliştirilmesi ve siber-fiziksel sistemlerin operasyonel dayanıklılık senaryoları altında test edilmesi.
- **Kurumsal ve Yönetsel İş Modelleri:** Farklı paydaşlar (üreticiler, taşıyıcılar, depo işletmecileri) arasında gelir ve maliyet paylaşımını optimize edecek yeni oyun teorisi yaklaşımlarının geliştirilmesi ve sektörler arası standartlaşma protokollerinin belirlenmesi.
- **Bölgesel ve Makro-Lojistik Uygulamalar:** Özellikle Türkiye gibi Asya-Avrupa hattında stratejik geçiş üssü olan ülkelerde, PI tabanlı çok modlu taşımacılık (synchromodality) operasyonlarının matematiksel modelleme ve sezgisel algoritmalarla ulusal lojistik koridorlarına entegrasyonu.

Sonuç olarak, PI kavramı teknik bir çözüm aracı olmakla kalmayıp, ayrıca lojistik sistemleri dönüştürmeye aday bir stratejik düşünme biçimi olarak değerlendirilmektedir. Bu dönüşümün sağlıklı biçimde gerçekleşebilmesi, teknolojik entegrasyonun yanı sıra organizasyonel uyum, politika desteği ve aktörler arası iş birliği gibi unsurların birlikte ele alınmasını zorunlu kılmaktadır. Bu çerçevede çalışmada yöneltilen üç temel araştırma sorusu kapsamında PI literatürünün gelişim eksenleri, kavramsal odakları ve araştırma boşlukları sistematik bir biçimde analiz edilmiştir. Böylece hem mevcut durumu ortaya çıkarmak hem de gelecek çalışmalar için bir yön çizmek hedeflenmiştir.

### Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmanın kurgulanması ve yürütülmesinde yazarların katkı dağılımı şu şekildedir:

- M. E. Taner; problemin tanımlanması, literatür taraması, kurumsal çerçevenin oluşturulması, verilerin temini, analiz bulgularının yorumlanması ve makale metninin yapılandırılması süreçlerinde rol almıştır.
- A. Kahveci; problemin tanımlanması, araştırma kurgusunun ve metodolojik tasarımın planlanması, verilerin temini, bibliyometrik analizlerin gerçekleştirilmesi, elde edilen sonuçların kontrolü/doğrulanması ve metnin revizyonu süreçlerine katkı sağlamıştır.

Tüm yazarlar makalenin son halini incelemiş ve onaylamıştır.

### Çıkar Çatışması

Yazarlar, bu çalışma kapsamında beyan edilebilecek herhangi bir finansal ya da kişisel çıkar çatışması bulunmadığını bildirmektedirler.

**Kaynakça**

- Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959–975. doi: <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
- Ballot, E., Gobet, O., & Montreuil, B. (2012). Physical Internet enabled open hub network design for distributed networked operations. In Borangiu, T., Thomas, A., & Trentesaux, D. (Eds.), *Service orientation in holonic and multi-agent manufacturing control* (Vol. 402, pp. 279–292). Springer. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-27449-7\\_21](https://doi.org/10.1007/978-3-642-27449-7_21)
- Ballot, E., Meller, R. D., & Montreuil, B. (2015). *The Physical Internet: The network of logistics networks*. La Documentation Française.
- Birkle, C., Pendlebury, D. A., Schnell, J., & Adams, J. (2020). Web of Science as a data source for research on scientific and scholarly activity. *Quantitative Science Studies*, 1(1), 363-376. doi: [https://doi.org/10.1162/qss\\_a\\_00018](https://doi.org/10.1162/qss_a_00018)
- Echchakoui, S. (2020). Why and how to merge Scopus and Web of Science during bibliometric analysis: the case of sales force literature from 1912 to 2019. *Journal of Marketing Analytics*, 8,165-184. doi: <https://doi.org/10.1057/s41270-020-00081-9>
- Hakimi, D., Montreuil, B., Sarraj, R., Ballot, E., & Pan, S. (2012). Simulating a Physical Internet enabled mobility web: The case of mass distribution in France. *Proceedings of the International Conference on Modeling, Optimization & Simulation (MOSIM 2012)*, Bordeaux, France, 10–19.
- Mongeon, P., & Paul-Hus, A. (2016). The journal coverage of Web of Science and Scopus: a comparative analysis. *Scientometrics*, 106(1), 213-228. doi: <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1765-5>
- Montreuil, B. (2011). Toward a Physical Internet: Meeting the global logistics sustainability grand challenge. *Logistics Research*, 3(2–3), 71–87. doi: <https://doi.org/10.1007/s12159-011-0045-x>
- Montreuil, B., Meller, R. D., & Ballot, E. (2012). Physical Internet foundations. *IFAC Proceedings Volumes*, 45(6), 26–30. doi: <https://doi.org/10.3182/20120523-3-RO-2023.00444>
- Pan, S., Nigrelli, M., Ballot, E., Sarraj, R., & Yang, Y. (2015). Perspectives of inventory control models in the Physical Internet: A simulation study. *Computers & Industrial Engineering*, 84, 122–132. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2014.11.027>
- Sarraj, R., Ballot, E., Pan, S., Hakimi, D., & Montreuil, B. (2013). Interconnected logistic networks and protocols: Simulation-based efficiency assessment. *International Journal of Production Research*, 52(11), 3185–3208. doi: <https://doi.org/10.1080/00207543.2013.865853>
- Sternberg, H., & Norrman, A. (2017). The Physical Internet – Review, analysis and future research agenda. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 47(8), 736–762. doi: <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-12-2016-0353>
- Treiblmaier, H., Mirkovski, K., Lowry, P. B., & Zacharia, Z. G. (2020). The Physical Internet as a new supply chain paradigm: A systematic literature review and a comprehensive framework. *The International Journal of Logistics Management*, 31(2), 239–287. doi: <https://doi.org/10.1108/IJLM-11-2018-0284>
- Wu, H., Li, M., Yu, C., Ouyang, Z., Lai, K., Zhao, Z., Pan, S., Wang, S., Zhong, R. Y., Kuo, Y., Zhang, F., Huang, W., Shen, Z.-J. M., Ballot, E., & Huang, G. Q. (2025). Towards cyber-physical internet: A systematic review, fundamental model and future perspectives. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 197, 104051. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2025.104051>



# Journal of Turkish Operations Management

## A predict-then-optimize job assignment framework for efficient trademark application evaluation

Taghi Khaniyev<sup>1\*</sup>, Berfin Özdemir<sup>2</sup>, Elif Sena Işık<sup>3</sup>, Elif Rana Yöner<sup>4</sup>, Bartu Efe Köse<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Bilkent University, Department of Industrial Engineering, Ankara, Turkey

taghi.khaniyev@bilkent.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-2160-0553>

<sup>2</sup>Eti Gıda Sanayi ve Ticaret A.Ş., Eskisehir, Turkey

ozdemirr.berfinn@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0009-0003-6716-910X>

<sup>3</sup>Georgia Institute of Technology, Georgia, United States

eisik6@gatech.edu, ORCID No: <http://orcid.org/0009-0007-6377-2031>

<sup>4</sup>University of Michigan - Stephen M. Ross School of Business, Michigan, United States

elranay@umich.edu, ORCID No: <http://orcid.org/0009-0005-1527-8202>

<sup>5</sup>Mastercard, Istanbul, Turkey

bartuefekose@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0009-0000-3415-7741>

\*Corresponding Author

### Article Info

#### Article History:

Received: 12.12.2025

Revised: 03.03.2026

Accepted: 02.04.2026

#### Keywords

Predict-then-optimize,  
Job Assignment Optimization,  
Predictive Modeling,  
Rolling Horizon Optimization,  
Trademark Application

### Abstract

Timely evaluation of trademark applications is critical for effective intellectual property protection, yet many national offices face rising workloads and limited staffing flexibility. At TURKPATENT, these pressures have contributed to growing backlogs and high variability in evaluation times. This study proposes a data-driven job assignment framework that integrates machine learning based prediction of examiner-specific completion times with a rolling-horizon mixed-integer programming model. A comprehensive feature set incorporating text indicators, classification codes, examiner effects, and workload characteristics is used to train predictive models, and predicted durations are subsequently embedded into an assignment model designed to minimize tardiness while maintaining workload balance. Multiple assignment policies are evaluated through extensive simulation under varying workload and prediction-quality scenarios. The results show that the predictive rolling-horizon model reduces tardy jobs by roughly 49.5% relative to the current system. A fully automated operational pipeline was implemented to enable daily deployment, and a real-world pilot with eight examiners achieved a 35.3% reduction in tardy jobs. The study demonstrates that integrating predictive analytics with optimization can substantially improve performance in administrative workflows and offers a scalable approach for modernizing trademark examination processes.

## 1. Introduction

Turkish Patent and Trademark Office (TURKPATENT) is the national authority responsible for the registration of patents, utility models, trademarks, geographical indications, traditional product names, and industrial designs. As application volumes have grown steadily over the past decade, the institution faces the challenge of maintaining timely and high-quality examination despite limited staffing flexibility typical of public-sector organizations. Within TURKPATENT, the Trademark Department (comprising four managers, ninety-five junior and senior examiners, and thirty-eight support personnel) is responsible for the end-to-end evaluation of trademark applications, including review, objections, renewals, and international procedures.

The most resource-intensive stage of this workflow is the substantive review conducted by 58 examiners. This stage requires detailed legal and similarity analysis based on national legislation and WIPO classification standards. While demand for trademark protection has increased sharply, the number of examiners has remained nearly constant, causing the average workload per examiner to more than double in seven years. As a result, a

significant backlog has emerged, with high variance in examination durations leading to a substantial proportion of tardy jobs.

The current job assignment policy aims to distribute workload evenly across examiners by considering only the number of tasks previously assigned and employee availability. However, empirical analysis reveals substantial heterogeneity in examiner processing times, driven by differences in task complexity, NICE classification, text similarity, and examiner-specific expertise. Because the existing assignment policy does not account for these factors, jobs are frequently assigned to examiners whose estimated completion times are high, exacerbating congestion and delaying downstream processing.

This gap reflects a broader limitation in public-sector administrative systems: although machine learning and predictive analytics are increasingly used for document classification and risk scoring, they are rarely integrated with operational decision models that directly influence resource allocation. In particular, to the authors' knowledge, no trademark office has deployed a combined predict-then-optimize framework to assign trademark evaluation jobs in a way that accounts for individual examiner performance and job complexity.

This study addresses this gap by proposing a machine learning powered job-assignment framework designed to reduce backlog and improve workload balance in trademark examination. The contributions of the study are fivefold:

- **Data-driven completion time prediction:** Develop a comprehensive machine learning model to predict trademark evaluation completion times using a feature set of over 250 variables, including NICE codes, text-based indicators, temporal effects, and examiner-specific workload and performance metrics.
- **Integrated predict-then-optimize framework:** Formulate a mixed-integer programming (MIP) model that incorporates these predicted completion times into a rolling-horizon job-assignment scheme, explicitly accounting for examiner availability, capacity, and fairness in workload distribution.
- **Simulation-based performance evaluation:** Build a discrete-event simulation that mirrors TURKPATENT's operational environment, enabling a controlled comparison between the current assignment policy and the proposed predict-then-optimize policy across multiple workload and prediction-accuracy scenarios.
- **Heuristic alternative for scalability:** Propose and analyze a heuristic assignment algorithm that approximates the MIP solution while remaining computationally efficient for large job volumes.
- **Real-world pilot implementation and impact evidence:** Implement the proposed framework in a live pilot at TURKPATENT, demonstrating substantial reductions in tardy jobs and validating the practical effectiveness of predictive assignment in public-sector trademark examination.

## 2. Literature

Machine learning and optimization techniques have been widely applied in administrative, manufacturing, and service systems to improve predictive accuracy and operational efficiency. However, their integrated use in public-sector task assignment remains limited. In this section we summarize the relevant work in three domains: prediction of job durations, job assignment optimization, and process automation in trademark or administrative workflows.

**Predicting Job Completion Times.** Accurate estimation of processing durations is critical for effective resource allocation. Preprocessing stages such as cleaning, resolving discrepancies across data sources, and feature engineering form the foundation of predictive modeling (Zulkepli et al., 2017). Missing values are typically handled through elimination or imputation, although studies show that elimination may yield clearer accuracy assessments (Rosado-Galindo & Dávila-Padilla, 2020). Because predictive performance is sensitive to feature quality, variable selection methods, including wrapper-based search and recursive linear regression, are often used to identify the most informative inputs (Ruiz-Chavez et al., 2018). A variety of machine learning algorithms have been used to model heterogeneous, nonlinear job durations. Generalized Linear Models (GLMs) and their extensions (GEEs, GLMMs) allow flexible link functions for correlated observations (Ram, 2021). Artificial Neural Networks (ANNs) are highly effective for capturing nonlinear dependencies and interaction effects (Khalid et al., 2017). Tree-based methods, such as CART and Random Forests, offer robustness to noise, high-dimensionality, and missing data (Loh, 2011; Anurag, 2018). Hybrid or ensemble approaches, combining multiple models, have shown improved predictive accuracy in complex operational settings (Pospieszny et al., 2018; Lee & Gao, 2021). Empirical evidence from service operations also supports this line of work: Hosseini et al. (2015)

develop a data-mining and predictive-modeling approach for surgical duration estimation in a hospital case study, illustrating how improved duration prediction can support downstream operational planning. These methods are well suited for administrative workflows (such as trademark application evaluation) where processing/completion times vary substantially by task type and employee characteristics. Beyond predicting job completion times, our study also builds on assignment and scheduling literature.

**Predict-then-Optimize.** The predict-then-optimize (PtO) literature studies settings in which predictions are used as inputs to optimization decisions. This stream is partially built on the framework of Bertsimas and Kallus (2019), who use a weighting-based approach to link covariates directly to decisions. Within the broader PtO setting, decision-focused learning (DFL) refers to decision-aware training approaches that optimize predictive models for downstream decision quality rather than prediction accuracy alone (Mandi et al., 2024). A prominent example is Geng et al. (2024), which benchmarks PtO and prediction-only approaches across combinatorial optimization settings and shows that performance gains are highly problem-dependent. In parallel, application-oriented studies demonstrate the practical value of integrating predictive models with workforce optimization in service systems; for example, call center operations have been shown to benefit from combining workload prediction with optimization-based staffing decisions to improve operational efficiency (Kadioğlu & Alataş, 2023). In other work closely related to our setting, Keskin and Zhang (2024) study feature-based scheduling in environments with large backlogs and unknown service times that are learned from data. However, their focus is on dynamic learning-and-scheduling policies, whereas our study develops a deployable two-stage framework tailored to recurring administrative job assignment by combining examiner-specific completion-time predictions with a rolling-horizon optimization model in a high-volume public-sector environment.

**Job Assignment in Service Systems.** The job assignment challenge at TURKPATENT is closely related to the Generalized Assignment Problem (GAP), where jobs must be assigned to agents under capacity constraints while minimizing total cost or processing time (Cattrysse & Van Wassenhove, 1992). Classical approaches include 0–1 goal programming to balance workloads (Zanakis, 1983) and heuristic/metaheuristic methods such as genetic algorithms for large-scale environments (Wilson, 1997). More recent work emphasizes the importance of incorporating worker heterogeneity into scheduling decisions, showing that performance improves when processing times are allowed to vary across worker–task pairs (Özpaçacı et al., 2025). For example, Şimşek et al. (2022) develop an optimization-based personnel assignment model for a public institution, while Koçak et al. (2022) address team scheduling with workload-equity objectives in healthcare-related operations. These studies emphasize the importance of fairness and balanced workload distribution when allocating limited human resources. Workforce planning under uncertainty has also been widely studied using stochastic optimization approaches. Sarı Ay (n.d.), for instance, proposes a two-stage stochastic mixed-integer programming model for workforce decision-making under demand uncertainty and evaluates solution robustness using out-of-sample performance assessment. In parallel, research on scheduling and resource-constrained systems has investigated computational and operational challenges arising in complex planning environments. Torağay and Pouya (2023), for instance, analyze the tradeoff between solution quality and computational effort in scheduling problems through simulation-based experimentation, highlighting the practical need for computationally efficient decision-support methods. Although these studies address important assignment, scheduling, fairness, and computational-efficiency considerations, they do not incorporate employee-specific completion-time predictions into assignment decisions. In contrast, the TURKPATENT environment requires models that incorporate **predicted, employee-specific processing times**, making standard GAP formulations insufficient without integration of predictive elements. In addition to general assignment and prediction models, recent work specifically focusing on administrative and intellectual property (IP) workflows provides further context.

**Automation in Trademark and Administrative Workflows.** Trademark offices worldwide rely on WIPO standards such as NICE and Vienna Classification to guide similarity assessment. WIPO has introduced AI-based image recognition tools for figure classification, demonstrating the feasibility of machine learning in IP workflows. Studies such as Öberg (2020) highlight the potential for time prediction and process mining in administrative processes but do not extend into optimization-based task allocation. To our knowledge, no prior work has jointly applied machine learning-based duration prediction and optimization-based task assignment in the context of trademark examination.

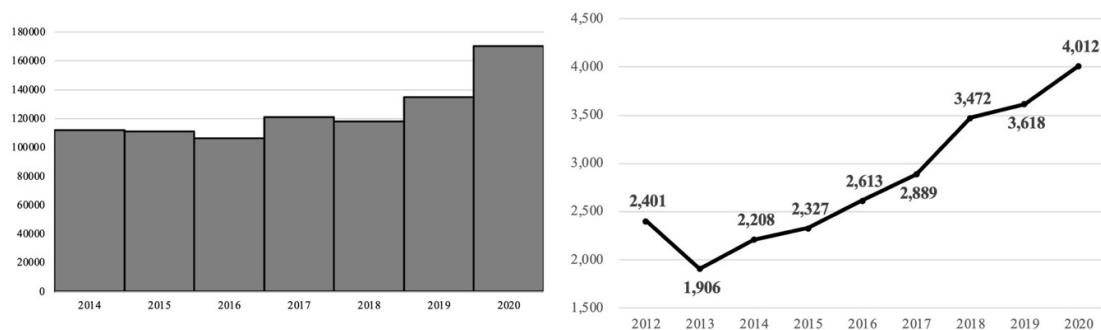
### 3. System Analysis and Problem Definition

**Workflow overview.** The trademark application evaluation process begins with electronic submission and a preliminary formality check. Applications that pass this stage enter substantive examination, where examiners analyze compliance with legal criteria and evaluate similarity using NICE and Vienna classification frameworks.

This phase represents the bulk of processing time and is performed by 58 examiners who often manage multiple jobs simultaneously.

**Capacity and backlog characteristics.** Application volumes have increased steadily, while examiner staffing has remained largely fixed. As shown in Figure 1, incoming workload has risen continuously and the average number of jobs per examiner has nearly doubled over seven years. Examination durations vary widely across jobs and examiners due to differences in classification, text similarity, and individual processing behavior. This variability contributes to congestion and an expanding backlog, as long-duration jobs delay downstream processing.

**Current assignment mechanism.** TURKPATENT currently assigns jobs using a simple cyclic policy: each incoming job is allocated to the next available examiner in rotation. This policy considers only the number of active jobs and examiner availability. It does not incorporate predicted duration, complexity, or examiner performance, leading to assignments that can unintentionally overload slower examiners or concentrate difficult jobs.



**Figure 1.** Number of trademark applications (left) and the workload employee index (right) over the years

**Limitations of the current policy.** The assignment policy treats all jobs as if they require equal effort, ignoring heterogeneity in processing times. It does not prioritize jobs that are at high risk of becoming tardy, despite strict statutory deadlines. The method assumes linear job queues even though examiners work in parallel, and it does not incorporate historical information such as recent processing speed or current workload. Fairness is defined solely by job count rather than total expected workload.

**Formal problem statement.** TURKPATENT seeks to process applications within statutory deadlines while ensuring fairness among examiners. Each day, a heterogeneous set of new jobs arrives, and each job must be assigned to exactly one examiner under fixed staffing, parallel task handling, and statutory deadlines. Given high variability in processing times, the central operational problem is:

*Assign each incoming trademark application to an examiner such that the number of tardy jobs is minimized while maintaining a fair distribution of workload and respecting institutional constraints.*

Solving this problem requires accurate prediction of examiner-specific completion times and an optimization framework capable of integrating those predictions into daily assignment decisions.

## 4. Methodology

This study introduces a two-stage framework that integrates predictive modeling of examination durations with an optimization-based assignment system. The methodology consists of four components: (1) predictive modeling of job completion times, (2) formulation of a mixed-integer programming (MIP) assignment model, (3) development of a computationally efficient heuristic alternative, and (4) a discrete-event simulation to evaluate system performance under realistic scenarios.

### 4.1. Predictive Modeling for Job Completion Times

Examiner performance and job complexity exhibit substantial variation in the TURKPATENT workflow. To account for these factors, we develop a predictive model that estimates the time required to complete each examiner-job pair. These predictions serve as key parameters in the assignment optimization stage.

**Feature engineering.** A comprehensive feature matrix comprising approximately 250 variables was constructed. The feature set includes:

- *Text-based indicators:* multi-hot encodings of common words in brand names to capture similarity-related difficulty.
- *NICE Classification:* forty-five binary indicators representing the goods and services associated with each application.
- *Examiner identifiers:* one-hot encoded examiner IDs to capture individual speed profiles.
- *Temporal features:* indicators for day of the week and national holidays to reflect systematic workload fluctuations.
- *Workload features:* the number of active jobs assigned to an examiner at job arrival and the rolling average completion time of an examiner’s ten most recent jobs.

**Model selection.** Multiple machine learning models were evaluated, including Linear Regression, regularized linear models, Artificial Neural Networks (ANNs), AdaBoost Regression Trees, and Random Forest regressors. To compare these models on a consistent basis, we used several standard regression metrics: coefficient of determination ( $R^2$ ), Mean Absolute Error (MAE), Mean Absolute Relative Error (MARE), and Root Mean Square Error (RMSE). These metrics were computed on validation and test sets to assess both goodness-of-fit and predictive accuracy. In addition, we examined model robustness under chronological train-validation-test splits to account for temporal drift, and we recorded training and inference times to evaluate computational feasibility for daily retraining. These criteria jointly guided the choice of the final prediction model, with detailed comparative results reported in the Computational Experiments section.

**Rolling-window training strategy.** To allow the prediction model to adapt to changes in examiner performance and job mix, we consider a rolling-window training scheme in which models are periodically updated using only the most recent data. The specific window configurations and retraining frequency are evaluated and reported in the Computational Experiments section.

The output of the prediction model is a set of examiner-specific predicted completion times for each job, which serve as input parameters to the assignment model described next.

#### 4.2. Mixed Integer Program Formulation for Job Assignment Model

Task assignment is formulated as a mixed-integer programming (MIP) problem. The model assigns each job in a daily batch to an available examiner while using predicted completion times to minimize tardiness and maintain fairness in workload distribution.

We adopted a rolling-horizon approach which allocates jobs over a five-day planning window. Only assignments for the first day are executed, while remaining tasks return to the batch and are reconsidered with newly arrived jobs on the following day. To prevent the model from concentrating all assignments on the first day, the permissible first-day allocation is constrained between lower and upper bounds  $f_l$  and  $f_u$ , expressed as proportions of the total batch size. For implementation,  $f_l = 0.2$  and  $f_u = 0.3$  were adopted. The working principle of the assignment model can be seen in the Figure 2.

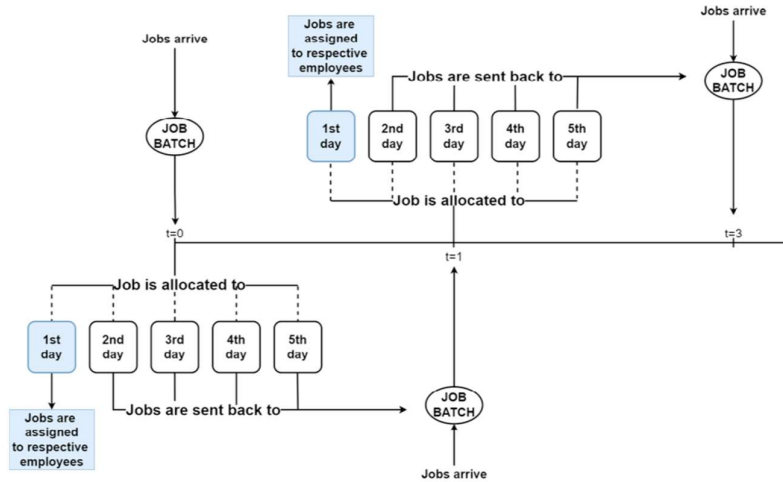


Figure 2. Rolling-window job assignment logic

Table 1 details the sets and parameters used in the mathematical model.

Table 1. Sets and parameters used in the job assignment model

Notation	Description
$I$	Set of employees
$J$	Set of jobs in the batch
$T = \{0, \dots, 4\}$	5-day planning horizon
$P_{ij}$	Predicted completion times (in days) of job $j$ by employee $i$
$R_j$	Remaining time until statutory deadline for job $j$ on Day 0
$CI_i$	Initial job count of employee $i$
$BC$	Balance coefficient
$f_l, f_u$	Lower and upper bounds on first-day assignment proportion

Similarly, Table 2 describes the decision variables used in the model.

**Table 2.** Decision variables of the job assignment model

Variable	Description
$x_{ijt} \in \{0, 1\}$	= 1 if job $j$ is assigned to employee $i$ on day $t$
$C_{it}$	Job count of employee $i$ on day $t$
$C_{\max}, C_{\min}$	Maximum and minimum job count on employees
$CT_j$	Predicted completion time of job $j$ starting at time 0
$A_j$	Tardiness of job $j$
$z_j \in \{0, 1\}$	=1 if job $j$ is tardy

Finally, the proposed mixed integer linear program is the following:

**Objective:** The primary objective is to minimize the total number of tardy jobs

$$\min \sum_{j \in J} z_j \tag{1}$$

**Constraints:**

1. *Assignment constraint:* Each job must be assigned to exactly one examiner

$$\sum_{i \in I} \sum_{t \in T} x_{ijt} = 1, \forall j \in J \tag{2}$$

2. *First-day workload bounds:* Number of jobs assigned on the first day is bounded by lower/upper bounds.

$$|J|f_l \leq \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{ij0} \leq |J|f_u \tag{3}$$

3. *Completion time computation:* Completion time of job  $j$  is calculated using predicted completion time ( $P_{ij}$ ) plus the day on which it is assigned.

$$CT_j = \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} (P_{ij} + t)x_{ijt}, \forall j \in J \tag{4}$$

4. *Tardiness definition:* A job is marked as tardy if the (predicted) completion time ( $CT_j$ ) is greater than the remaining time ( $R_j$ ) until the deadline.

$$\begin{aligned} A_j &\geq CT_j - R_j, \\ A_j &\leq (CT_j - R_j) + M(1 - z_j), \\ A_j &\leq Mz_j, \forall j \in J \end{aligned} \tag{5}$$

5. *Workload accumulation:* Total workload on an examiner is equal to the initial workload plus the new jobs assigned to them on the first day. Workloads of the following days are computed by adding the workload from the preceding day plus the number of jobs assigned to the examiner on that day.

$$\begin{aligned} C_{i0} &= CI_i + \sum_{j \in J} x_{ij} \quad , \forall i \in I \\ C_{it} &= C_{i,t-1} + \sum_{j \in J} x_{ijt}, \forall i \in I, \forall t \in T \setminus \{0\} \end{aligned} \tag{6}$$

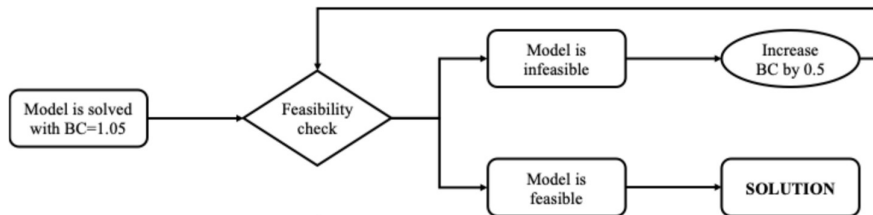
6. *Fairness constraint:* Examiners' workloads must lie within predefined lower and upper bounds to maintain balance.

$$C_{\max} \geq C_{i4}, C_{\min} \leq C_{i4}, C_{\max} \leq BC \cdot C_{\min} \quad , \forall i \in I \tag{7}$$

7. *Non-negativity and integrality:* All variables are non-negative and  $x_{ijt}, z_j$  variables are binary.

$$C_{\max}, C_{\min}, C_{it}, CT_j, A_j \geq 0, x_{ijt}, z_j \in \{0, 1\}, \forall i \in I, \forall j \in J, \forall t \in T \tag{8}$$

The balance coefficient  $BC$  is adjusted to ensure model feasibility; if the fairness constraint cannot be satisfied,  $BC$  is incrementally increased. The working principle can be seen in Figure 3.



**Figure 3.** The working principle of the feasibility check

### 4.3. Heuristic Assignment Algorithm

Although the MIP model provides high-quality solutions, its computation time may be prohibitive under large task volumes or strict runtime limits. A heuristic algorithm is therefore developed to approximate MIP performance while offering substantial computational savings.

The heuristic operates sequentially over jobs in the batch. For each job:

1. Predict the completion time for all examiners using the prediction model.
2. Identify the examiner with the smallest predicted completion time.
3. Apply a fairness restriction: if this examiner's current workload exceeds BC times the minimum workload across examiners, restrict assignment to the subset of examiners whose workloads are within this fairness bound.
4. Assign the job to the examiner in the feasible subset with the smallest predicted completion time.

Algorithm 1 presents the heuristic in pseudocode. This approach balances two objectives: minimizing predicted completion time and maintaining equitable workload distribution. Empirical results show that the heuristic closely approximates the rolling-horizon MIP's performance at a fraction of the runtime.

**Algorithm 1.** Heuristic Algorithm for Job Assignment

```

1:   Let  $W = \{W_1, W_2, \dots, W_n\}$  be the employee list,  $WC = \{WC_1, WC_2, \dots, WC_n\}$  be the job count of
   each employee, and  $J = \{J_1, J_2, \dots, J_m\}$  be the unassigned job list;
2:   while  $J \neq \phi$  do
3:        $BC = \max\{WC\} / \min\{WC\}$  be the balance coefficient;
4:       Let  $CT_j = \{CT_{j1}, CT_{j2}, \dots, CT_{jn}\}$  be the list of predicted job completion times for job  $j$  and
   for each employee.
5:       while Job  $j$  is not assigned do
6:           Get  $k = \operatorname{argmin}(CT_j)$ ;
7:           if  $BC \leq 1.05$  then
8:               Assign job  $j$  to employee  $k$ 
9:                $WC_k \leftarrow WC_k + 1, J \leftarrow J \setminus \{J_j\}$ ;
10:          else if  $BC > 1.05$  then
11:              if  $WC_k \leq \min\{WC\} \cdot 1.025$  then
12:                  Assign job  $j$  to employee  $k$ 
13:                   $WC_k \leftarrow WC_k + 1, J \leftarrow J \setminus \{J_j\}$ ;
14:              else if  $WC_k > \min\{WC\} \cdot 1.025$  then
15:                   $CT_{jk} \leftarrow \operatorname{Inf}$ ;
16:              end if
17:          end if
18:       end while
19:   end while

```

The algorithms are developed under the assumption of a non-idle operational environment in which all employees included in the optimization are active and already participating in the assignment cycle. Accordingly, for Algorithm 1 and constraint (6), every employee considered by the model has a strictly positive workload at the start of each cycle. Under these conditions, the case  $\min\{WC\} = 0$  does not occur.

Employees with zero workload, typically new hires or staff returning from extended leave, are intentionally excluded from the automated optimization during their initial (re)integration phase. These exceptional cases are managed through a separate, manual assignment procedure that gradually builds their workload until they reach the normal operational threshold. Only after attaining a positive baseline workload are they incorporated into the algorithmic framework.

This modeling choice reflects actual operational practice and ensures numerical stability. Consequently, Step 3 of Algorithm 1 and constraint (6) remain well-defined, and neither division by zero nor unintended tightening of constraints due to  $C_{min}=0$  can arise within the modeled system.

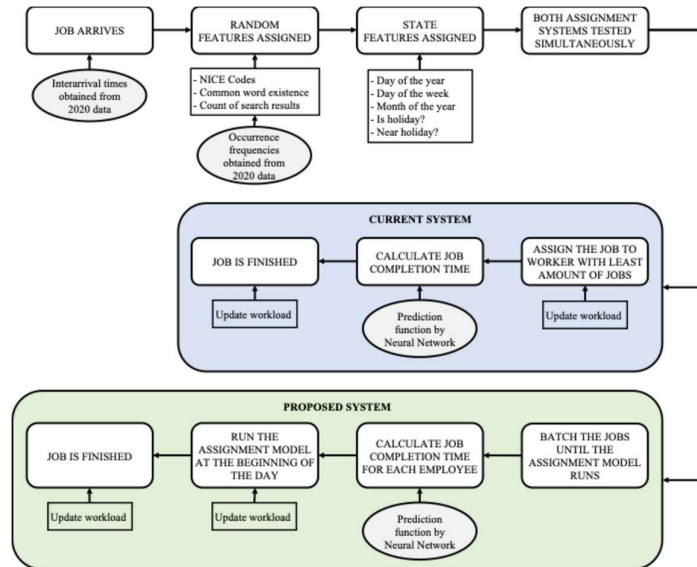
**4.4. Simulation Model**

A discrete-event simulation model was developed to evaluate the performance of the proposed assignment system relative to the existing operational workflow. The simulation aims to provide a controlled comparison between the two systems, with the primary performance measure defined as the total number of tardy jobs. To enable statistical analysis, repeated simulation runs were used.

Job arrivals were simulated starting from 1 January 2020. Feature values for incoming jobs, such as NICE codes and text-based common-word indicators, were generated using probability distributions fitted to historical 2020 data. Temporal and employee-related features were updated on a daily basis. At the start of the simulation, each system was initialized with identical employee states and identical sets of incoming jobs to ensure comparability. Employee states then evolved independently under each assignment policy.

For the existing workflow, all arriving jobs were assigned immediately according to the current (cyclic) assignment policy. Under the proposed system, arriving jobs were added to a batch, predicted completion times were generated for each employee-job pair, and assignments were executed according to the selected assignment policy. Jobs assigned on a given day were removed from the batch, and completed jobs were removed from the system. The simulation advanced in daily iterations while tracking job arrivals, job completions, and resulting employee workloads.

This simulation structure enables a direct comparison of different systems under identical conditions and provides a robust basis for evaluating the operational impact of the proposed assignment approach. The overall simulation workflow is summarized in Figure 4. The performance of the proposed predict-then-optimize system under various workloads, prediction accuracies, and policy structures is evaluated in the Computational Experiments section.



**Figure 4.** Simulation model flow chart

**5. Computational Experiments**

In this section, we first assess the performance of the completion time prediction models, followed by experiments comparing alternative assignment policies under varying workload and prediction accuracy scenarios. We then analyze the relative performance of the heuristic algorithm and examine the effects of rolling-horizon planning. Finally, we analyze the impact of the proposed system compared to the existing assignment policy through simulation studies and operational pilot results.

### 5.1. Choice of Predictive Models

The performance of candidate predictive models was assessed using standard regression metrics: coefficient of determination ( $R^2$ ), Mean Absolute Error (MAE), Mean Absolute Relative Error (MARE), and Root Mean Square Error (RMSE). First, we used random sampling, and models were trained on 70% of the data, with 15% reserved for validation and 15% for testing, using trademark examination data between 01/01/2019–31/12/2021. Table 3 summarizes model performance across these metrics. Linear regression performs poorly across all metrics, suggesting that a purely linear structure is insufficient. The ANN shows a substantial improvement and maintains stable performance across the training, validation, and test sets, signaling good generalization. Given its strong accuracy and complexity trade-off, and relative ease of implementation, we select the ANN as the primary model. In contrast, single decision trees overfit the training data, whereas ensemble methods (AdaBoost and Random Forest) generalize better and achieve the highest test performance. Despite their strong accuracy, we do not select ensemble models as the main approach due to their higher computational and implementation burden relative to the ANN.

**Table 3.** Performance metrics of prediction models

	Data Set	$R^2$	MAE	MARE	RMSE
Linear Regression	Training	0.522	14.872	4.200	21.878
	Validation	0.514	14.847	4.024	21.975
	Test	0.534	14.848	4.043	21.796
ANN	Training	0.835	7.658	1.671	12.856
	Validation	0.801	8.193	1.800	14.071
	Test	0.807	8.199	1.796	14.018
Classification Tree	Training	0.999	0.611	0.269	0.545
	Test	0.791	5.474	0.946	14.574
AdaBoost Regression Tree	Training	0.989	1.635	0.548	3.242
	Test	0.895	4.655	0.987	10.347
Random Forest Regressor	Training	0.986	1.623	0.348	3.664
	Test	0.902	4.347	0.967	9.962
ANN, AdaBoost, Random Forest	Training	0.967	3.496	0.840	5.743
	Test	0.891	5.437	1.224	10.507

Next, we conducted additional experiments using chronological data splits in order to obtain more reliable results for forward-looking job completion time predictions. We varied the time windows for the training, validation, and test sets (e.g., 6-3-3 months and 3-1-1 months) to evaluate the accuracy of the prediction models under realistic temporal conditions. Although we observed a noticeable decline in predictive performance under these time-ordered splits, the resulting model performances are expected to represent the forecasting conditions of the pilot implementation more reliably. Based on these test results, we decided to use an ANN with a three-month training window and a one-month validation window for predicting job completion times in the pilot. To maintain accuracy and respond to potential data drift, the prediction model should be retrained every month using the most recently observed monthly data. The test-set performance metrics of the ANN models trained with the 3-1-1 monthly setup for 2021 are reported in Table 4.

As seen in Table 4, we also observe some month-to-month variation in forecasting performance in 2021, with a pronounced deterioration in July. This timing coincides with announced procedural changes at TÜRKPATENT regarding registration in Madrid Protocol-related international trademark applications (effective July 2021), which may have altered workflow composition and processing patterns. In addition, July 2021 included multiple public holidays in Türkiye and broader pandemic-related normalization changes effective 1 July 2021, all of which may have affected operating rhythms, staffing, and contents of applications. Accordingly, we interpret the July dip as evidence of temporal drift and institutional/calendar-related process change rather than model-specific failure.

**Table 4.** Performance of ANN model with a rolling window chronological training data

Metric	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
$R^2$	0.422	0.435	0.425	0.253	0.456	0.362	0.183	0.31	0.316	0.272	0.316	0.548
MAE	27.941	21.776	28.819	31.425	29.7	25.836	27.087	24.471	24.585	24.98	27.748	25.861
MARE	2.338	0.883	0.589	0.492	0.813	0.577	0.614	1.007	0.484	0.459	0.724	2.176
RMSE	39.896	32.946	39.206	41.142	39.602	34.654	36.543	34.877	32.662	32.884	34.061	31.446

Because the prediction model must be retrained regularly to reflect evolving examiner performance and shifting job characteristics, computational efficiency was also evaluated. The ANN offered an advantageous balance of accuracy, robustness, and training speed. Accordingly, completion time predictions for the assignment models were generated using an ANN trained on a rolling window of recent data, with retraining frequency determined experimentally as monthly.

## 5.2. Choice of Best Assignment Policy

To evaluate and compare the performance of various task-assignment policies, we conducted extensive simulation experiments with five assignment policies: (i) MIP rolling-horizon model with prediction, (ii) MIP rolling-horizon model without prediction, (iii) MIP daily-batch model (corresponds to setting  $f_l = f_u = 1$  in the MIP formulation), (iv) heuristic assignment algorithm, and (v) the current TURKPATENT policy (baseline).

Because prediction accuracy for future tasks cannot be known in advance, experiments included multiple prediction quality scenarios by varying a random additive error to adjust  $R^2$  between 0.65 and 0.90. Additional variation in initial system load and daily arrival volumes was used to test robustness under realistic workload fluctuations. The primary performance metrics were total tardy jobs and tardiness rate relative to statutory deadlines.

### Simulation Experiment 1: Effect of Prediction

This experiment isolates the value of predictive information in the assignment model. Two systems were compared: (i) the MIP rolling-horizon model with prediction, and (ii) the MIP rolling-horizon model with synthetic “no-prediction” durations drawn from a normal distribution (mean=30, **standard deviation (SD)** =1).

Across all scenarios (Table 5), the rolling-horizon model with prediction consistently produced fewer tardy jobs. The gap between predicted and unpredicted variants demonstrates that accurate duration estimates meaningfully improve prioritization and workload balancing decisions.

**Table 5.** Comparison between the systems (i) vs. (ii)

	# of Days	# of Employees	Total # of Jobs	# of Tardy Jobs (Rolling Horizon with Prediction) (i)	# of Tardy Jobs (Rolling Horizon without Prediction) (ii)
<b>Simulation 1</b>	5	5	669	117 (17%)	160 (24%)
<b>Simulation 2</b>	5	5	669	113 (17%)	191 (28%)
<b>Simulation 3</b>	5	5	666	112 (17%)	154 (23%)
<b>Simulation 4</b>	5	5	662	84 (13%)	146 (22%)

### Simulation Experiment 2: Effect of Rolling-Horizon Structure

Here we compare assignment models differing only in their planning structure: (i) the rolling-horizon MIP and (iii) the daily-batch MIP. The rolling-horizon model distributes tasks over a multi-day window, whereas the daily-batch model assigns all tasks immediately.

Results in Table 6 demonstrate substantial reductions in tardy jobs under the rolling-horizon model. In contrast, the daily-batch model (despite using the same predicted durations) performs worse because it lacks the flexibility to defer assignments strategically. This emphasizes the benefit of incorporating short-term planning horizons into task assignment decisions.

**Table 6.** Comparison between the systems (i) vs. (iii)

	# of Days	# of Employees	Total # of Jobs	# of Tardy Jobs (Rolling Horizon) (i)	# of Tardy Jobs (Daily Batch) (iii)
--	-----------	----------------	-----------------	---------------------------------------	-------------------------------------

<b>Simulation 1</b>	5	10	1341	0	2 (<1%)
<b>Simulation 2</b>	5	5	656	33 (5%)	77 (11%)
<b>Simulation 3</b>	5	5	660	42 (6%)	83 (12%)
<b>Simulation 4</b>	5	5	651	77 (11%)	112 (17%)
<b>Simulation 5</b>	5	5	1299	113 (8%)	139 (10%)
<b>Simulation 6</b>	5	5	669	113 (17%)	191 (28%)
<b>Simulation 7</b>	5	5	666	112 (17%)	154 (23%)
<b>Simulation 8</b>	5	10	1309	107 (8%)	122 (9%)

**Simulation Experiment 3: Comparison with the Heuristic Method**

We next compare the rolling-horizon MIP with the heuristic algorithm. Though designed as a computationally lightweight approximation of the MIP, the heuristic remains competitive. As shown in Table 7, the heuristic approaches the MIP’s performance in most scenarios. However, the MIP still yields consistently lower tardiness.

**Table 7.** Comparison between the systems (i) vs. (iv)

	# of Days	# of Employees	Total # of Jobs	# of Tardy Jobs (Rolling Horizon) (i)	# of Tardy Jobs (Heuristic) (iv)
<b>Simulation 1</b>	5	5	554	58 (10%)	97 (17%)
<b>Simulation 2</b>	5	5	591	82 (13%)	91 (15%)
<b>Simulation 3</b>	5	5	566	86 (15%)	100 (17%)
<b>Simulation 4</b>	5	5	576	52 (9%)	95 (16%)
<b>Simulation 5</b>	5	5	547	67 (12%)	100 (18%)
<b>Simulation 6</b>	5	5	553	30 (5%)	87 (15%)
<b>Simulation 7</b>	5	5	575	39 (6%)	72 (12%)
<b>Simulation 8</b>	5	5	543	66 (12%)	114 (20%)
<b>Simulation 9</b>	5	5	550	69 (12%)	110 (20%)
<b>Simulation 10</b>	5	5	574	104 (18%)	109 (18%)

**5.3. A Pilot Study: Comparison with the Current Policy**

The impact of the proposed assignment policy was first examined through simulation by comparing it directly with the existing TURKPATENT assignment policy. Under a wide range of workload conditions and prediction-quality scenarios, the rolling-horizon MIP model with prediction consistently produced lower numbers of tardy jobs. As summarized in Table 8, the proposed policy achieved an average reduction of approximately 49.5% in tardy jobs relative to the current policy. These results indicate that incorporating predicted completion times and multi-day planning into the assignment process can significantly enhance overall service performance.

**Table 8.** Simulation results comparing the current policy with the proposed policy

	# of Days	# of Employees	Total # of Jobs	# of Tardy Jobs (Existing System) (i)	# of Tardy Jobs (Rolling Horizon) (ii)	Improvement (%)
<b>Simulation 1</b>	5	5	564	139 (25%)	77 (14%)	44.6%
<b>Simulation 2</b>	5	5	550	105 (19%)	51 (9%)	51.4%
<b>Simulation 3</b>	5	5	552	96 (17%)	50 (9%)	47.9%
<b>Simulation 4</b>	5	5	549	88 (16%)	47 (9%)	46.6%
<b>Simulation 5</b>	5	5	535	108 (20%)	58 (11%)	46.3%
<b>Simulation 6</b>	5	5	539	85 (16%)	29 (5%)	65.9%
<b>Simulation 7</b>	5	5	539	107 (20%)	59 (11%)	44.9%
<b>Simulation 8</b>	5	5	567	82 (14%)	36 (6%)	56.1%
<b>Simulation 9</b>	5	5	543	95 (17%)	51 (9%)	46.3%
<b>Simulation 10</b>	5	5	563	138 (25%)	60 (11%)	56.5%
<b>Simulation 11</b>	5	5	570	110 (19%)	61 (11%)	44.5%
<b>Simulation 12</b>	5	5	557	108 (19%)	63 (11%)	41.7%
<b>Simulation 13</b>	5	5	567	151 (27%)	89 (16%)	41.1%
<b>Simulation 14</b>	5	5	554	125 (23%)	61 (11%)	51.2%
<b>Simulation 15</b>	5	5	562	119 (21%)	51 (9%)	57.1%
<b>Average</b>	5	5	554	110.4 (19.9%)	56.2 (10.1%)	49.5%

To evaluate the practical viability of the approach under realistic operational constraints, a fully automated pipeline was implemented. Each day, at a predetermined time, the system retrieved newly arrived and recently completed jobs, constructed feature vectors for all feasible examiner-job pairs, generated examiner-specific completion time predictions using the ANN model, and executed the rolling-horizon assignment procedure (or heuristic variant, when tested). The resulting assignment recommendations were then communicated to examiners through TURKPATENT's internal information system. In parallel, the system logged prediction accuracy, assignment outcomes, and workload statistics to support monitoring and guide periodic retraining of the prediction model. This automation ensured that the predictive and optimization components operated under real-time data availability and timing conditions similar to those in daily practice.

Building on the simulation results and the automated pipeline, a pilot implementation was launched in early May 2022 with a selected group of eight examiners. The objective was to compare performance under the proposed system with that of the same employees in the preceding month. In April, the pilot group completed 2,359 jobs, of which 865 were tardy, corresponding to a tardiness rate of 36.6%. In May, they completed 2,142 jobs, with 508 tardy, yielding a tardiness rate of 23.7%. This represents a 35.3% relative reduction in tardy jobs for the pilot group. As of 20 June 2022, approximately 50 days into the pilot, a total of 3,910 jobs had been completed, of which 1,425 were processed using the new assignment mechanism. These pilot findings corroborate the simulation evidence, demonstrating that the predict-then-optimize framework can be successfully integrated into daily operations and can deliver substantial reductions in tardiness in a real-world trademark examination environment.

## 6. Conclusion

This study develops and evaluates an integrated predict-then-optimize framework for assigning trademark examination tasks at TURKPATENT. By combining a machine learning model for predicting examiner-specific completion times with a rolling-horizon MIP model, the proposed system provides a data-driven alternative to the current assignment policy. The computational experiments and pilot deployment offer several insights that are relevant both for TURKPATENT and for organizations with similar administrative workflows.

First, the results demonstrate that predictive information is central to improving assignment quality. Simulations show that using examiner-specific predicted durations substantially reduces tardiness compared with both the current policy and models that rely only on average or synthetic duration estimates. This confirms that the variability in workload, task complexity, and examiner performance cannot be effectively managed without individualized predictions. Second, the rolling-horizon approach consistently outperforms single-day assignment strategies. Allowing the model to distribute tasks over a short planning horizon yields more balanced workloads and prevents the accumulation of tasks that would otherwise become tardy.

Third, the heuristic algorithm proves to be an effective complement to the MIP model. While not matching the MIP's performance in all scenarios, the heuristic achieves comparable reductions in tardiness while offering much lower computational cost. This suggests that the heuristic may be suitable for real-time or large-scale applications, or as a fallback when strict computational limits are imposed.

The pilot implementation further validates the simulation findings. The observed 35.3% reduction in tardy jobs for the pilot group demonstrates that the benefits of predict-then-optimize assignment translate effectively into operational practice. The successful deployment of the automated pipeline indicates that the proposed framework can be embedded within existing administrative systems without major disruptions. This is particularly important for public sector organizations, where the need for stable, repeatable, and transparent processes often constrains the adoption of sophisticated decision-support tools.

Despite these promising results, several limitations should be acknowledged. First, prediction accuracy, while robust, remains imperfect, and errors in predicted durations can propagate into assignment decisions. Although the rolling-window training strategy mitigates temporal drift, further improvements in feature engineering or model architecture may enhance accuracy. Second, the optimization model depends on accurate estimates of examiner availability and workload. Unexpected absences, interruptions, or changes in work patterns may reduce the alignment between predicted and actual completion times. Third, the experiments assume that examiner behavior remains unaffected by the new assignment system. While this appeared to hold during the pilot, longer-term behavioral adaptation (for example, changes in pacing, prioritization, or use of internal tools) may influence system performance.

These limitations offer opportunities for future research. More advanced text-based features, such as embeddings derived from transformer models, may improve the modeling of similarity-related complexity. Hierarchical or multitask learning architectures could capture correlations between examiners or task types. Endogenous modeling of examiner behavior, incorporating response to assignments or learning effects, may yield richer insights. Integrating the proposed framework with downstream processes (such as objection handling or appeals) could lead to an end-to-end view of the trademark registration workflow. Finally, applying the framework to other administrative domains, such as patent examination, immigration workflows, or public-benefit case management, would help assess its generalizability.

In conclusion, this study shows that predictive modeling and optimization can significantly improve task assignment in large-scale administrative systems. By leveraging detailed operational data and integrating predictions into a structured assignment framework, the proposed system reduces tardiness, balances examiner workloads, and enhances overall efficiency. The combination of simulation evidence and real-world pilot results provides strong support for broader adoption of data-driven assignment strategies within trademark examination and similar public-sector environments.

**Conflict of interest.** The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this paper.

**Contributions.** Taghi Khaniyev conceptualized and supervised the study, designed the overall predict-then-optimize framework, and led the writing and revision of the manuscript. Elif Rana Yöner and Elif Sena Işık carried out the data preprocessing, feature engineering, and the development and evaluation of the machine learning models for completion time prediction. Bartu Efe Köse and Berfin Özdemir developed the formulation and implementation of the mixed-integer programming model, the heuristic assignment algorithm, and the comparative analysis of assignment policies. All authors contributed to the interpretation of the results, reviewed the manuscript, and approved the final version.

**Acknowledgements.** We are grateful to Habip Asan, Mustafa Kubilay Güzel, Aydan Kalkan, Mustafa Serin, Ender Akdoğan and Tuğba Yılmaz from Turkish Patent and Trademark Office (TURKPATENT) for providing the necessary data for the study and their support throughout the implementation process. We also want to thank Doğa Şahin, Ecem Alkaş and Eren Dolaşık for their contributions to the work.

## References

- Anurag. (2018). *Random forest analysis in ML and when to use it*. Retrieved from <https://www.newgenapps.com/blogs/random-forest-analysis-in-ml-and-when-to-use-it-2/>
- Bertsimas, D., & Kallus, N. (2019). From Predictive to Prescriptive Analytics. *Management Science*, 66(3), 1025–1044. <https://doi.org/10.1287/mnsc.2018.3253>
- Cattrysse, D. G., & Van Wassenhove, L. N. (1992). A survey of algorithms for the generalized assignment problem. *European Journal of Operational Research*, 60(3), 260–272. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(92\)90077-M](https://doi.org/10.1016/0377-2217(92)90077-M)
- Elmachtoub, A. N., & Grigas, P. (2022). Smart “Predict, then Optimize”. *Management Science*, 68(1), 9–26. <https://doi.org/10.1287/mnsc.2020.3922>
- Geng, H., Ruan, H., Wang, R., Li, Y., Wang, Y., Chen, L., & Yan, J. (2024). Benchmarking PtO and PnO Methods in the Predictive Combinatorial Optimization Regime. In *Advances in Neural Information Processing Systems 37 (NeurIPS 2024)*, Datasets and Benchmarks Track. <https://doi.org/10.52202/079017-2108>
- Hosseini, N., Sir, M., Jankowski, C., & Pasupathy, K. (2015). Surgical duration estimation via data mining and predictive modeling: A case study. *AMIA Annual Symposium Proceedings, 2015*, 640–648.
- IBM. (2020). *What are neural networks?* Retrieved from <https://www.ibm.com/cloud/learn/neural-networks>
- Kadioglu, M. A., & Alatas, B. (2023). Enhancing Call Center Efficiency: Data Driven Workload Prediction and Workforce Optimization. *The Eurasia Proceedings of Science Technology Engineering and Mathematics*, 24, 96-100. <https://doi.org/10.55549/epstem.1406245>

- Keskin, N. Bora, & Zhang, C. (2024). Feature-based Scheduling and Dynamic Learning with a Large Backlog. SSRN Working Paper (SSRN 4852356). <https://doi.org/10.2139/ssrn.4852356>
- Koçak, M., Calku, F., Gündaş, M., Poyraz, Z., Yazıcı, E., & Alakaş, H. M. (2022). Ekip çizelgeleme problemi: Filyasyon ekibi çizelgeleme. *Journal of Turkish Operations Management*, 6(2), 1314–1326. <https://doi.org/10.56554/jtom.1101762>
- Loh, W. Y. (2011). Classification and regression trees. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, 1(1), 14–23. <https://doi.org/10.1002/widm.8>
- Mandi, J., Kotary, J., Berden, S., Mulamba, M., Bucarey, V., Guns, T., & Fioretto, F. (2024). Decision-Focused Learning: Foundations, State of the Art, Benchmark and Future Opportunities. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 80, 1623–1701 <https://doi.org/10.1613/jair.1.15320>
- Öberg, J. (2020). *Time prediction and process discovery of administration process*. Digitala Vetenskapliga Arkivet. Retrieved from <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1465971/FULLTEXT01.pdf> (URL updated if needed—replace with correct link if different)
- Ozpacaci, K., Bekli, S., & Kayisoglu, B. (2025). Incorporating Worker Heterogeneity in Flexible Flow Shop Environment. *The Eurasia Proceedings of Science Technology Engineering and Mathematics*, 34, 359-368. <https://doi.org/10.55549/epstem.1755522>
- Pospieszny, P., Czarnacka-Chrobot, B., & Kobylinski, A. (2018). An effective approach for software project effort and duration estimation with machine learning algorithms. *Journal of Systems and Software*, 137, 184–196. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2017.11.066>
- Ram, P. (2021). *Generalized linear models: What does it mean?* Great Learning. Retrieved from <https://www.mygreatlearning.com/blog/generalized-linear-models/>
- Rosado-Galindo, A., & Dávila-Padilla, M. (2020). Tree-based missing value imputation using feature selection. *Journal of Data Science*, 18(4), 451–472. [https://doi.org/10.6339/JDS.202010\\_18\(4\).0002](https://doi.org/10.6339/JDS.202010_18(4).0002)
- Ruiz-Chavez, Z., Salvador-Meneses, J., & Garcia-Rodriguez, J. (2018). Machine learning methods-based preprocessing to improve categorical data classification. In H. Yin, K. Meng, & Y. Gao (Eds.), *Intelligent Data Engineering and Automated Learning – IDEAL 2018* (pp. 297–304). [https://doi.org/10.1007/978-3-030-03493-1\\_32](https://doi.org/10.1007/978-3-030-03493-1_32)
- Sarı Ay, D. (2026). Evaluating Strategic Workforce Decisions in Aggregate Production Planning under Demand Uncertainty: A Two-Stage Stochastic MILP with Out-of-Sample Assessment. *International Journal of Engineering Technologies IJET*, 10(4), 69-80. <https://doi.org/10.19072/ijet.1879062>
- SCIP Optimization Suite. (2022). *SCIP: Solving constraint integer programs*. Retrieved from <https://www.scipopt.org>
- Soysal, S., Dengiz, B., & Atalay, K. (2021). Belirsizlik altında kaynak kısıtlı çok modlu çoklu proje çizelgeleme. *Journal of Turkish Operations Management*, 5(1), 598–614.
- Şimşek, C., Dengiz, B., Karasakal, E., & İç, Y. T. (2022). Personel atama problemi: Bir kamu kurumu uygulaması. *Journal of Turkish Operations Management*, 6(2), 1297–1313. <https://doi.org/10.56554/jtom.1128531>
- Torağay, O., & Pouya, S. (2023). A Monte Carlo simulation approach to the gap-time relationship in solving scheduling problem. *Journal of Turkish Operations Management*, 7(1), 1579–1590. <https://doi.org/10.56554/jtom.1286288>
- Wilson, N. (1997). A genetic algorithm for the generalised assignment problem. *Journal of the Operational Research Society*. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2600431>

World Intellectual Property Organization (WIPO). (n.d.-a). *Global Brand Database*. Retrieved from <https://www3.wipo.int/branddb/en/index.jsp>

World Intellectual Property Organization (WIPO). (n.d.-b). *WIPO International Classifications*. Retrieved from <https://www.wipo.int/classifications/en/>

Zanakis, S. H. (1983). A staff-to-job assignment (partitioning) problem with multiple objectives. *Computers & Operations Research*, 10(4), 357–363. [https://doi.org/10.1016/0305-0548\(83\)90014-2](https://doi.org/10.1016/0305-0548(83)90014-2)

Zulkepli, F. S., Ibrahim, R., & Saeed, F. (2017). Data preprocessing techniques for research performance analysis. In *Advances in Intelligent Systems and Computing* (pp. 157–162). [https://doi.org/10.1007/978-981-10-3779-5\\_20](https://doi.org/10.1007/978-981-10-3779-5_20)



# Journal of Turkish Operations Management

## Kişisel ve işyeri ortamı solunabilir ve toplam toz maruziyetlerinin çok ölçütlü karar verme yaklaşımıyla değerlendirilmesi

Ayşe Erim<sup>1\*</sup>, Ergün Eraslan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>İş Sağlığı ve Güvenliği, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, 06010 Ankara, Türkiye  
ayseerim1979@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0009-0007-0935-9975>

<sup>2</sup>Endüstri Mühendisliği, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, 06010 Ankara, Türkiye  
eraslan@aybu.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-5667-0391>

\*Ayşe Erim

### Makale Bilgisi

#### Makale Geçmişi:

Geliş: 31.05.2025  
Revize: 03.08.2025  
Kabul: 07.08.2025

#### Anahtar Kelimeler:

Toz ölçümü,  
Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP),  
Çok kriterli karar verme,  
İş hijyeni numune alma metodolojisi,  
Maruziyet modelleme

### Özet

Toz maruziyeti, iş yerlerinde çalışanların sağlığını tehdit eden önemli bir mesleki risktir. Bu çalışmada; toz maruziyetlerini etkileyen etmenler için kriterlerin belirlenmesinde bir maruziyet değerlendirme aracı olan TREXMO (TRanslation of EXposure MOdels) maruziyet modeli kullanılmıştır. İş yeri ortamında bulunan kişisel toz maruziyetini sistematik olarak ele almak gerekir. Mesleki maruziyet modelindeki kriterler kullanılarak karar vericilerin (KV) puanlaması sonucu uzman görüşü ile AHP Metodu (Analitik Hiyerarşi Yöntemi) kullanılarak toz maruziyetlerini artıran kriterler ağırlıklandırılmıştır. Bu çalışmada, toz maruziyetini etkileyen dört temel kriter (tehlike Sınıfı, çalışan Sayısı, havalandırma, çalışma Süresi) AHP yöntemiyle analiz edilmiştir. Sonuçlar, tehlike sınıfının en önemli kriter olduğunu (ağırlık: 0.533), ardından havalandırma (0.255), çalışma süresi (0.144) ve çalışan sayısının (0.068) geldiğini göstermiştir. Ayrıca, ki-kare testi kullanılarak iki kategorik veri karşılaştırılmıştır. 23.044 kişisel solunabilir toz maruziyeti sonuçlarının sınır değerinin üstünde ve altındaki 4 kategoriye göre dağılımları incelenmiştir. Bu bulgular, iş yerlerinde toz kontrol stratejilerinin geliştirilmesine yönelik rehber bir çerçeveyi sunmaktadır.

## Assessment of personal and workplace ambient respirable and total dust exposures using a multi-criteria decision-making approach

### Article Info

#### Article History:

Received: 31.05.2025  
Revised: 03.08.2025  
Accepted: 07.08.2025

#### Keywords:

Dust measurement,  
Analytical Hierarchy Process (AHP),  
Multi-criteria decision making,  
Occupational hygiene sampling  
methodology,  
Exposure modeling

### Abstract

Dust exposure is an important occupational risk that threatens the health of workers in workplaces. During the research; TREXMO (TRanslation of EXposure MOdels) exposure model, a peer-reviewed exposure assessment tool, was used to determine the criteria for factors affecting dust exposures. Personal dust exposure in the workplace needs to be addressed systematically. The weighting of the criteria increasing dust exposures was compared using the AHP Method (Analytic Hierarchy Process) with the expert opinion resulting from the scoring of decision makers (DM) using the criteria in the occupational exposure model. In this study, four basic criteria (hazard class, number of employees, ventilation, working time) affecting dust exposure were analyzed by AHP Method. The weights of the criteria were calculated and their effects on dust exposure were prioritized. The results showed that hazard class is the most important criterion (weight: 0.533), followed by ventilation (0.255), working time (0.144) and number of employees (0.068). Additionally, two categorical data were compared using chi-square tests. The distribution of 23,044 personal respirable dust exposure results above and below the limit values according to 4 categories. These findings provide a guiding framework for the development of dust control strategies in workplaces.

## 1. Giriş

Endüstriyel üretim süreçlerinde ortaya çıkan tozlar, solunum yolu hastalıkları başta olmak üzere pek çok mesleki sağlık sorununun temel kaynağını oluşturmaktadır. İş yerlerinde tozla mücadele stratejilerinin etkinliği, maruziyeti tetikleyen faktörlerin doğru analiz edilmesine ve bu faktörlere yönelik hiyerarşik bir kontrol mekanizması kurulmasına bağlıdır. Toz maruziyeti, madencilik, inşaat, tarım ve tekstil gibi sektörlerde çalışanlar için ciddi sağlık riskleri oluşturan bir mesleki tehlikedir. İnce toz partikülleri, solunum yoluyla akciğerlere ulaşarak silikozis, pnömokonyoz, asbestozis ve akciğer kanseri gibi kronik hastalıklara neden olabilir (WHO, 2017; NIOSH, 2020). Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO), toz maruziyetinin kontrol altına alınmasının iş sağlığı ve güvenliği için kritik olduğunu vurgulamaktadır (ILO, 2018).

Toz ve partiküller (aerosol): Çalışma ortamında sağlığa zararlı olabilen ve havada katı parçacık, lif, duman, is veya sıvı damlacık şeklinde bulunan süspansiyonlarını ifade eder.

Toz ve partiküller, aerodinamik davranışları ve insan solunum yollarındaki birikme yerleri ile karakterize edilir. Solunum yollarında biriktikleri bölgeye göre toz ve partiküllerin boyut fraksiyonları, solunabilir, torakal, alveole ulaşan, ekstratorakal ve torakibronşiyal boyut fraksiyonlarıdır:

Solunabilir (inhale edilen) fraksiyon: Ağız ve burun yoluyla solunarak alınan asılı haldeki tüm toz ve partikül fraksiyonlarının kütesidir.

Torakal (göğüs) fraksiyon: Gırtlığı (larynx) geçerek solunan toz ve partikül fraksiyonlarının kütesidir.

Alveole ulaşan (respire edilen) fraksiyon: Silier hücrelerin olmadığı solunum yolunda biriken, solunan toz ve partikül fraksiyonlarının kütesidir.

Ekstratorakal (Göğüs üstü) Fraksiyon: Gırtlığı (larynx) geçmeden biriken solunan solunan toz ve partikül fraksiyonlarının kütesidir.

Torakibronşiyal Fraksiyon: Gırtlığı (larynx) aşarak aşağı inen, fakat silier hücrelerin olmadığı solunum yolunda birikmeyen solunan toz ve partikül fraksiyonlarının kütesidir. (TS EN 481, 1996)

İşyeri ortamında görülen ve çalışanlarda meslek hastalığı oluşturan en yaygın kirleticiler; kömür tozu, pamuk tozu, sert ağaç tozu, kristalin silika, asbest, lifsi, alkali ve inert toz olarak adlandırılmaktadır.

İşveren, çalışanlarının sağlık ve güvenliğini tehlikeye atacak, işyerinde bulunan tozlardan kaynaklanan olumsuz etkileri belirlemek üzere, (İş Sağlığı ve Güvenliği [İSG] Kanunu, 2012; İSG Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği, 2012) hükümlerine uygun şekilde risk değerlendirmesi yapmakla yükümlüdür.

Tozlu işlerde yapılacak risk değerlendirmesinde;

- Toz ve partikül fraksiyonlarının türü,
- Sağlık ve güvenlik yönünden tehlike ve zararları,
- Çalışanın bu kirleticilere maruz kalım süresi ve sıklığı,
- Toz ve partikül ölçüm sonuçlarına göre havadaki konsantrasyonların mesleki maruziyet sınır değerlerine göre karşılaştırması,
- Çalışanların sağlık gözetim sonuçları

dikkate alınması gereken hususların başında gelir.

Sağlıklı ve güvenli çalışma ortamları oluşturulması açısından; iş sağlığı ve güvenliğini etkileyecek risklere yönelik faktörlerin tespiti, analizi ve değerlendirilmesi; mümkünse bertarafı ve kontrol altına alınması gerekliliği mevzuat

ile belirlenmiştir. İşveren, mevzuat açısından işyeri atmosferinde bulunan, kullanılan veya herhangi bir şekilde işlem gören kimyasal maddelerin etkilerinden kaynaklanan mevcut veya ortaya çıkması muhtemel risklerden çalışanların sağlığını korumak ve güvenli bir çalışma ortamı sağlamak amacıyla maruziyet ölçümlerini yaptırır ve ölçüm sonuçlarının mesleki maruziyet sınır değerleri (OELV/Occupational Exposure Limit Values) ile karşılaştırılması sonucu alınacak önlemler yapılan risk değerlendirmesi ile belirlenir.

AHP, karmaşık karar problemlerini hiyerarşik bir yapıya indirgeyerek kriterlerin ağırlıklarını belirleyen, matematiksel ve psikolojik temellere dayalı bir yöntemdir (Saaty, 1980). İş sağlığı ve güvenliği alanında risk değerlendirme ve önceliklendirme amacıyla sıkça kullanılmaktadır (Badri et al., 2012; Aminbakhsh et al., 2013).

İş hijyeni; çalışma ortamında bulunan sağlık tehlikelerinin önceden tahmini, tanınması, değerlendirilmesi ve kontrol edilmesi ile çalışanların sağlık ve iyilik durumunun korunması ve toplum güvenliğinin sağlanmasını amaçlayan disiplindir. İş hijyeni ölçümlerinin doğru ve güvenilir yapılması ve bu ölçümler neticesinde gerekli önlemlerin alınması çalışanların sağlıklı ve güvenli bir çalışma ortamında çalışması ve bu çalışma ortamının sürdürülmesi açısından önemlidir.

İş güvenliği alanında, AHP yaygın olarak kullanılmaktadır (San He, Huilan Xu, Jianxiong Zhang, Peiqiang Xue San, 2023). Literatüre baktığımızda inşaat projelerindeki güvenlik risklerini önceliklendirmek ve potansiyel tehlikeleri belirlemek amacıyla kullanılmıştır (S.Aminbakhsh, M.Gunduz, R.Sonmez, 2013). Bir başka çalışmada, iş kazalarının güvenlik, sağlık ve ekonomi üzerindeki etkisi incelenmiştir (A.Pinto, I. L.Nunes, R.A. Ribeiro, 2011). Çeşitli risk analizi ve değerlendirme yöntemleri nicel yöntemin kullanım oranının, nitel yöntemin kullanım oranının ve hibrit yöntemin kullanım oranının ne kadar olduğunu göstermektedir (P.K. Marhavalas, D. Koulouriotis, V.Gemeni, 2011). Aynı zamanda çalışma koşullarını, işçi davranışını ve kaza olasılığını birbirine bağlayabilen bir işçi mesleki risk modeli oluşturulmuştur (I. A. Papazoglou, O. N. Aneziris, L. J. Bellamy, 2017). Endüstriyel kazaları önlemek için açık ocak madenciliğinin operasyonel risklerini analiz etmede kullanıldığı da görülmüştür (Y.A. Kasap, E. Suba, 2017).

Bu çalışma, endüstriyel çalışma ortamlarında çalışan sağlığını tehdit eden temel risk faktörlerinden biri olan toz maruziyetini ele almaktadır. Çalışmanın metodolojik kurgusu iki aşamalı bir doğrulama üzerine inşa edilmiştir. İlk aşamada, uzman görüşlerine dayalı ikili karşılaştırma matrisleri oluşturularak AHP yöntemi ile kriterlerin önem katsayıları belirlenmiştir. AHP, karar verme sürecindeki subjektif yargıları matematiksel bir tutarlılık indeksi (CI) çerçevesinde normalize ederek kantitatif verilere dönüştürmüştür. İkinci aşamada ise, teorik ağırlıklandırılmaların saha gerçekleriyle uyumunu test etmek amacıyla kategorik veriler üzerinden Ki-kare bağımsızlık testi uygulanmıştır. Bu karşılaştırmalı yaklaşım, maruziyet senaryolarının sadece teorik varsayımlarla değil, aynı zamanda istatistiksel anlamlılık düzeyleriyle de desteklenmesini sağlamıştır.

Çalışma kapsamında; Tehlike Sınıfı, Çalışan Sayısı, Havalandırma ve Çalışma Süresi olmak üzere dört temel kriter belirlenmiştir. Bu kriterlerin maruziyet üzerindeki göreceli önem ağırlıkları AHP yöntemi kullanılarak hesaplanmış; elde edilen bulgular saha verilerinden türetilen Ki-kare testi sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçları, toz kontrol stratejilerinin geliştirilmesinde hangi parametrelerin önceliklendirilmesi gerektiğine dair bilimsel bir çerçeve sunmaktadır.

## 2. Literatür Taraması

### 2.1. Sektörel Bazda Yapılmış Toz Ölçümlerinin Değerlendirilmesi

Madencilik faaliyetlerinde solunabilir (respire edilen) toz ve solunabilir kristalin silikaya maruz kalması yaygındır ve pnömokonyoz, kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOAH), interstisyel pulmoner fibrozis, silikoz, akciğer kanseri ve böbrek hastalığı gibi sağlık sorunlarına yol açar. David Gbondo ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada Batı Avustralya'da iki yüzey lityum madeninden 2017 ve 2023 yılları arasındaki dönemde solunabilir toz için mesleki maruziyet verileri kullanılmıştır. İdari ve destek, madencilik, kırma ve işleme ve bakım olmak üzere dört departmandaki çalışma gruplarından toplam 1122 numune toplanmıştır. Çalışma, yedi yıllık çalışma süresince solunabilir (respire edilen) toz maruziyetinde 0,472 mg/m<sup>3</sup>'ten 0,151 mg/m<sup>3</sup>'e bir düşüş olduğunu, 2019 ve 2022'de ise hafif bir artış olduğunu göstermiştir. 2019-2021 yılları arasında solunabilir kristalin silika konsantrasyonunda bir düşüş, ardından 2021'den sonra bir artış gözlemlenmiştir. Ortalama solunabilir kristalin silika konsantrasyonu, 2023 yılında mesleki maruziyet sınırı değerini aşmıştır (David Gbondo, vd., 2024).

Anja Stajniko vd., İsveç'te metal geri dönüşüm tesislerinde yapılan çalışmada 139 geri dönüşüm işçisinde toz ve metal maruziyetini değerlendirmek için kesitsel bir çalışma yürüttüler. Çalışma uygulamalarını gözlemler, anketler ve toz ve metal maruziyetlerini kişisel hava örnekleme (inhale edilen ve respire edilen toz) ve biyomonitörleme (kan ve vardiya öncesi/sonrası idrar) kombinasyonunu kullanarak değerlendirdiler. Sonuçlara bakıldığında, geri dönüşüm işçilerinin inhale edilen toz seviyelerinin 6,2 kat daha yüksek olmasına; %14'ünün solunabilir toz için 5 mg/m<sup>3</sup> maruz kalma sınırını ve bazılarının da Pb, Cu, As, Cd ve Sb sınırlarını aştığı görülmüştür. İşçilerin kan ve/veya idrar seviyelerinde bilinen insan toksisitesi olan metallere Pb, Hg, Al, Sb, Fe ve Mn ile bilinmeyen toksisitesi olan Y, Lu, In, Ga, W ve Te metalleri saptanmıştır (Anja Stajniko vd., 2026).

## 2.2. Mesleki Maruziyet Modelleri

Mesleki maruziyet modelleri, insanların kimyasallara maruziyetine ilişkin bilimsel olarak sağlam değerlendirmelerin vazgeçilmez bir parçasıdır. Kimyasalların Kaydı, Değerlendirilmesi, İzni ve Kısıtlanması (REACH-Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemical: Avrupa Birliği'nin kimyasallara ilişkin mevcut birçok mevzuatı tek bir çatı altında toplayan bir AB tüzüğüdür) mevzuatının 2007 yılında yürürlüğe girmesinden bu yana, kimyasal güvenlik değerlendirmeleri gerçekleştirmek ve tehlikeli maddelere yönelik maruz kalma senaryoları oluşturmak için maruziyet modelleri yaygın olarak kullanılmaktadır (ECHA, 2012a). İşyerinde kimyasallara mesleki maruziyete erişim sağlamak için her biri karmaşıklık ve ihtiyatlılık açısından farklı olan çeşitli modeller mevcuttur (Money, 2003; Tielemans vd., 2007; BAuA, 2015b). Mesleki maruziyet modelleri karmaşıklıkları, amaçları ve kullanıcının ihtiyaç duyduğu uzmanlık düzeyi bakımından önemli ölçüde farklılık göstermektedir. Aynı modeldeki farklı parametreler, aynı maruziyet durumu için farklı maruziyet tahminlerine yol açabilir.

## 2.3. TREXMO Maruziyet Değerlendirme Aracı

TREXMO, Institut Universitaire işbirliği ile geliştirilmiş, hakem onaylı bir maruziyet değerlendirme aracıdır. Araç geçici olarak CHUV (Le Centre hospitalier universitaire vaudois) sunucusunda bulunmaktadır. Avrupa Kimyasallar Ajansı (European Chemicals Agency, ECHA), işyerinde kimyasallara mesleki maruziyeti değerlendirmek için, her biri karmaşıklık ve ihtiyatlılık açısından farklılık gösteren çeşitli modeller önermektedir. TREXMO aracı, ART v.1.5, STOFFENMANAGER® v.5.1, ECETOC TRA v.3, MEASE v.1.02.01, EMKG-EXPO-TOOL ve EASE v.2.0 olmak üzere yaygın olarak kullanılan altı mesleki maruziyet modelini entegre etmektedir. TREXMO aracı, bu altı modelin parametreleri arasında yarı otomatik bir çeviri sağlayarak eşzamanlı kullanımlarını kolaylaştırır (Savic, N., Racordon, D., Buchs, D., Gasic, B. ve Vernez, D., 2016).

ECHA, tescil gerektiren çok sayıda endüstriyel kimyasalla başa çıkabilmek için kademeli bir yaklaşımı savunmaktadır. Kademe 1 modelleri, maruziyetin basit ama ölçülü bir tahminini sağlayan tarama araçları olarak kullanılır. Kademe 2 modelleri, daha fazla girdi parametresi gerektiren derinlemesine ve daha karmaşık bir maruziyet değerlendirmesi için kullanılır (ECHA, 2012a). Bununla birlikte, ilgili model parametrelerinin belirsiz olduğu veya maruziyet senaryosunun yorumlanmasının zor olduğu durumlarda Kademe 1 modellerinin Kademe 2 modellerine tercih edilebileceği ileri sürülmüştür (Riedmann ve ark., 2015).

STOFFENMANAGER® (Marquart vd., 2008), Avrupa Kimyasal Hedef Risk Değerlendirmesi Ekotoksikoloji ve Toksikoloji Merkezi (ECETOC TRA; ECETOC, 2012), Metals' EASE (MEASE; EBRC, 2010) veya EMKG-EXPO-TOOL gibi birkaç farklı Kademe 1 modeli mevcuttur (BAuA, 2015a). Gelişmiş REACH Aracı ART; (Fransman vd., 2013) gibi sadece az sayıda karmaşık Kademe 2 modeli bulunmaktadır. Bu modeller, örneğin ART'de mekanistik model tahmini ve maruziyet ölçümü veya ECETOC TRA'da rafine bir ilk maruziyet tahmini gibi farklı yaklaşımların bir kombinasyonuna dayanmaktadır (daha fazla ayrıntı için bkz. Tablo 1).

Birçok maruziyet senaryosu için, hangi spesifik modelin kullanılması gerektiği ve hatta Kademe 1 veya 2 yaklaşımının daha uygun olup olmadığı açık değildir. Çoğu durumda, kullanıcı birkaç uygun model arasından seçim yapabilir. Her biri muhtemel verilen maruziyet senaryosu için farklı maruziyet tahminleriyle sonuçlanacaktır (Hofstetter vd., 2012). Kademe 1 ve Kademe 2 modelleri için maruziyet senaryoları, parametreler ve model ile ilişkili belirsizlik seviyeleri hakkında çok az bilgi mevcuttur (ECHA, 2012b; Hesse vd., 2015; Riedmann vd., 2015).

Bir maruziyet senaryosuyla ilgili belirsizlik kaynakları arasında işyeri kat planlarının ve oda hacimlerinin yaklaşık değerleri veya bildirilmeyen risk yönetimi önlemleri (örn. yerel egzoz havalandırması) yer alabilir (Hesse vd., 2015).

**Tablo 1.** Dahil edilen modellerin gözden geçirilmesi ve belirleyicilerinin sınıflandırılması, (EBRC, 2010), (ECETOC, 2012), (Fransman W, Cherrie J, Van Tongeren M ve diğerleri, 2013)

Model	Açıklama
EASE v.2.0	Model üç belirleyiciye dayanmaktadır: - Bir maddenin havada uçucu olma eğilimi, - Bir maddenin kullanılma şekli, - ve kontrol araçları. Bir karar ağacı, bu belirleyicileri, kullanıcıyı ilgili maruz kalma aralığına yönlendiren seçim kategorileri olarak uygular. Uygulanabilirlik: Lifli ve lifsiz tozlar (hem aşındırıcı hem aşındırıcı olmayan), sıvılar, gazlar ve buharlar
EMKG EXPO-TOOL	MS Excel tabanlı bir araç. EMKG EXPO-TOOL COSHH'ye dayalıdır. İşyerlerinde soluma maruziyetini tahmin etmek için geliştirilmiştir. Maruz kalmanın, maddenin maruz kalma potansiyeli ve kontrol stratejisi tarafından belirlendiği varsayılmaktadır. Uygulanabilirlik: Aşındırıcı olmayan tozlar ve sıvılar (püskürtme için kullanılmaz)
ECETOC TRA v.3	MS Excel tabanlı bir araç. ECETOC TRA ilk olarak PROC, Fugacity bandı (fug), Yerel Egzoz Havalandırma verimliliği (LEV) ve Kullanım Sektörü'ne (SU) dayalı olarak başlangıç maruziyetini tahmin eder. Daha sonra kirletici maddenin ( $\gamma$ ), Genel Havalandırmanın (GV) ve Solunum Koruyucu Ekipmanın (RPE) uygun fraksiyonu girilerek veya seçilerek ilk maruz kalma tahminine boyutsuz bir puan uygulanır. ECETOC TRA tahminlerinin tam vardiya maruz kalma dağılımının yüzde 90'ını temsil ettiği kabul edilmektedir. Uygulanabilirlik: Tozlar (hem aşındırıcı olmayan hem de aşındırıcı) ve sıvılar
MEASE v.1.02.01	Metal endüstrisinin özel ihtiyaçlarını karşılamak üzere geliştirilmiş MS Excel tabanlı bir araçtır. ECETOC TRA'ya benzer şekilde, maruziyet, boyutsuz bir puanla değiştirilen ilk maruziyet tahmini ile hesaplanır. Ayrıca, model metal nesnelere ve sulu çözeltiler için ek fugasite aralıkları ve karşılık gelen bir dizi etkinlik değeri ile Risk Yönetimi Önlemleri (RMM) kullanır. Uygulanabilirlik: Tozlar, sıvılar, sulu çözeltiler, gazlar ve dumanlar.
STOFFENMANAGER® v.5.1	STOFFENMANAGER® web tabanlı bir kaynak-reseptör modelidir ve ART'ye benzer şekilde, maruziyeti mekanistik skorlar ve ölçüm verilerinin bir kombinasyonuna dayanarak hesaplar. İçsel Emisyon (E) (katı partiküller için tozluluk ve sıvılar için buhar basıncı ve ağırlık fraksiyonu), Taşıma (H), Yerel Kontrol (LC), Dağılım (D), Arka plan kaynakları (a), Ayırma (Sep), RPE ve maruz kalma süresi (t) için maruz kalma belirleyicilerini içerir. STOFFENMANAGER® ayrıca farklı yüzdelerle dilimlerde maruziyet tahminleri sağlar. Uygulanabilirlik: Toz (hem aşındırıcı olmayan hem de aşındırıcı) ve sıvılar (hem düşük hem de yüksek uçucu) (Landberg HE, Berg P, Andersson L ve diğerleri. (2015)
ART v.1.5	ART, web tabanlı bir kaynak-reseptör Kademe 2 modelidir. Bileşenleriyle (örn. kaynak veya Yakın Alan (NF) bölgesi) ilişkili dokuz, bağımsız, temel değiştirici faktör (MF) tanımlar: Madde emisyon potansiyeli (E), Faaliyet emisyon potansiyeli (H), Yerel Kontrol (LC), Segregasyon (Seg), Seyreltme (D), Ayırma (Sep), Yüzey kirliliği (Su), Kişisel davranış (P) ve RPE. ART, mekanik olarak modellenmiş (boyutsuz) maruziyet ve ölçüm verilerine dayanarak 8 saatlik bir çalışma vardiyası için çok görevli faaliyetler için maruziyeti (dağılımı) hesaplar. Uygulanabilirlik: Toz (hem aşındırıcı olmayan hem de aşındırıcı) ve sıvılar (hem düşük hem de yüksek uçucu) (Schinkel J, Fransman W, McDonnell PE, ve diğerleri. (2014)

## 2.4. Toz Maruziyetini Etkileyen Kriterler

Toz maruziyetini etkileyen faktörler, iş sağlığı ve güvenliği literatüründe kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Bu bölümde, analiz edilen dört kriterin toz maruziyetine etkileri, literatürdeki bulgulara dayalı olarak detaylı bir şekilde ele alınmıştır.

İş yerinin tehlike sınıfı, faaliyetlerin doğası gereği toz üretim potansiyelini belirler. Madencilik, taş ocakçılığı ve inşaat gibi sektörler, yüksek toz üreten faaliyetleriyle bilinir ve çalışanların maruziyet riskini artırır (Smith et al., 2020). Türkiye’de, İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu’na göre iş yerleri tehlike sınıflarına ayrılmakta ve bu sınıflandırma, toz maruziyeti gibi risklerin değerlendirilmesinde temel bir ölçüt olarak kullanılmaktadır (Resmi Gazete, 2012). Chen vd. (2019), tehlike sınıfının toz maruziyetinde en belirleyici faktör olduğunu vurgulamış; yüksek riskli sektörlerde maruziyetin %30 daha fazla olduğunu rapor etmiştir. Ayrıca, tehlikeli iş kollarında toz kontrol önlemlerinin yetersizliğinin, maruziyeti daha artırdığı öne sürülmüştür.

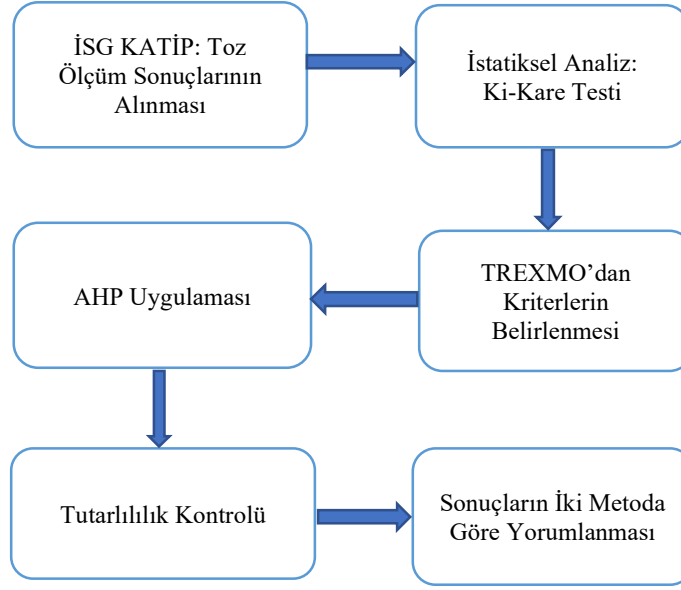
İş yerindeki aktivite yoğunluğu toz üretimini etkileyebilir. Literatürde, daha fazla çalışanın daha fazla toz üreten faaliyetlere yol açabileceği belirtilse de, bu etki genellikle dolaylıdır ve kontrol önlemlerine bağlıdır. Çalışan sayısının toz maruziyetine etkisinin diğer kriterlere göre daha az belirgin olduğu ve genellikle ikinci planda kaldığı gözlenmektedir.

Havalandırma sistemleri, toz partiküllerini ortamdaki uzaklaştırarak maruziyeti azaltmada kritik bir rol oynar. Etkin havalandırmanın toz konsantrasyonlarını %50’ye varan oranlarda azalttığı bilinmektedir. Amerikan İş Sağlığı ve Güvenliği İdaresi (OSHA), havalandırma toz kontrolünde temel bir mühendislik çözümü olarak önermektedir (OSHA, 2019). Kapalı alanlarda yetersiz havalandırmanın, toz maruziyetini ciddi şekilde artırdığı bilinmektedir; Zhang vd. (2024) havalandırmanın toz kontrolünde en etkili yöntemlerden biri olduğunu vurgulamıştır. Ayrıca, havalandırma sistemlerinin tasarımı ve bakımı, etkinliğini doğrudan etkileyen unsurlardır.

Çalışanların toza maruz kalma süresi, maruziyet düzeyini doğrudan etkiler. Uzun çalışma saatleri, kümülatif maruziyeti artırarak sağlık risklerini yükseltebilir. Avrupa Birliği İş Sağlığı Direktifleri, maruziyet sürelerinin sınırlandırılmasını ve iş rotasyonunu teşvik etmektedir (EU-OSHA, 2021). Gonzalez et al. (2020), çalışma süresinin toz maruziyetinde önemli bir faktör olduğunu, ancak tehlike sınıfı ve havalandırma gibi kriterlere kıyasla daha az etkili olduğunu belirtmiştir. Tegegnetwork Y., et al. (2021), çalışma süresinin toz maruziyetinde önemli bir faktör olduğunu ve yaptığı çalışmada; ahşap çalışanlarının %17.7’sinin haftada 40 saatten fazla çalıştığı, %69.8’inin ise en az bir kronik solunum semptomu yaşadığı belirlenmiştir. Çalışma, uzun çalışma saatlerinin solunum semptomlarıyla ilişkili olduğunu ortaya koymuştur. Vardiyalı çalışma sistemleri, iş sürekliliğini sağlarken bireysel maruziyet süresini sınırlama açısından potansiyel avantajlar sunmaktadır. Özellikle tehlikeli veya tozlu ortamlarda uygulanan kısa vardiya döngüleri, çalışanların aynı ortamda geçirdiği süreyi azaltarak toplam maruziyeti sınırlayabilir (Ergün & Karakaya, 2023). Knauth (1997), ergonomik prensiplere uygun olarak tasarlanmış vardiya sistemlerinin yalnızca verimliliği artırmakla kalmayıp, aynı zamanda çalışanların maruziyet ve yorgunluk düzeylerini de azaltabileceğini belirtmektedir. Bununla birlikte, vardiyalı çalışmanın olumlu etkilerinin görülebilmesi için vardiya süresi, rotasyon sıklığı, dinlenme aralıkları ve iş yükü gibi etmenlerin dikkatle düzenlenmesi gerekmektedir (Wedderburn, 2000). Türkiye’de yapılan bazı saha çalışmalarında da, uygun şekilde yapılandırılmış vardiya sistemlerinin çalışanların iş sağlığı açısından olumlu etkiler yarattığı ve maruziyet süresinin azaltılmasına katkı sağladığı rapor edilmiştir (TÜRK-İŞ, 2021).

## 3. Metodoloji

Bu çalışma, Ocak 2016 - Mart 2022 tarihleri arasında iş hijyeni alanında yetkilendirilmiş laboratuvarlarca ölçülerek ÇSGB İSG-KATİP sistemine kaydedilen yaklaşık 50.000 veri arasından filtrelenen 23.044 adet kişisel alveole ulaşan (respire edilen) toz maruziyeti sonucunu kapsamaktadır. Çalışmada analiz edilen veriler, ÇSGB İSG-KATİP sisteminden resmi izinle alınmış olup; gizlilik prensipleri gereği kişi/kurum bilgileri saklı tutularak sadece bu akademik araştırma kapsamında kullanılmıştır. Araştırmanın metodolojik çerçevesi Şekil 1 üzerinde gösterildiği üzere, gerçek saha verilerinin istatistiksel yöntemler ve çok kriterli karar verme modelleriyle harmanlandığı bütünsel bir yapıyı temsil etmektedir.



Şekil 1: Çalışmanın Algoritmik Adımları

### 3.1. Veri Analiz Süreci

Değişkenler arasındaki istatistiksel bağımlılığı ve gözlemlenen değerlerin beklenen frekanslardan sapma düzeyini belirlemek amacıyla parametrik olmayan Ki-Kare testi uygulanmıştır. Olasılık tabloları üzerinden yürütülen bu süreçte, hesaplanan farkların büyüklüğü sektörel faaliyetler ile toz maruziyet düzeyleri arasındaki ilişkinin gücünü ortaya koyan temel bir gösterge olarak kabul edilmiştir. Elde edilen bu ampirik bulgular, TREXMO standartlarına dayalı kriterlerle eşleştirilerek Şekil 1'de gösterilen AHP modeline veri sağlamıştır. Hiyerarşik tutarlılık kontrolleriyle geçerliliği matematiksel olarak doğrulanan bu bütünlük yaklaşım; toz maruziyet risklerinin hem geçmiş saha verilerine hem de uzman odaklı karar mekanizmalarına dayalı olarak çok boyutlu bir çerçevede yorumlanmasına olanak tanımıştır.

### 3.2. AHP ve Uygulamaları

AHP ile toza maruziyet kriterlerinin belirlenmesi ve matris oluşumunda 4 kriter (tehlike sınıfı, çalışan sayısı, havalandırma, çalışma süresi) üzerinden değerlendirme yapılmış ve bu çalışmanın sonucunda kriterlerin ağırlıklandırılması yapılmıştır. Çok ölçütlü karar verme tekniklerinden biri olan AHP ilk olarak 1968 yılında Myers ve Alpet tarafından ortaya konulmuş (Saaty 1990) ve 1977 yılında Thomas Saaty tarafından Pennsylvania Üniversitesi Wharton School'da karar verme problemlerinin çözümünde kullanılabilir bir yöntem olarak geliştirilmiştir. 1970'lerde geliştirilen AHP, karar almada nicel ve nitel ölçütleri değerlendirebilen, grup veya bireyin tercihlerini, deneyimlerini, sezgilerini, bilgilerini, yargılarını ve düşüncelerini karar sürecine dahil edebilen, karmaşık problemlerin hiyerarşik bir yapı içinde ele alınarak çözülmesini sağlayan bir Çok Ölçütlü Karar Verme yöntemidir. Karar verici hem objektif hem de subjektif düşüncelerini karar sürecine dahil edebilmektedir (V Belton & T Gear, 1983; V Belton & T Stewart, 2002; P Goodwin & G Wright, 1998).

Bu yöntemle belirlenen kriterler ağırlıklandırılır ve alternatifler, karar vericinin bir dizi ikili karşılaştırma yapmasına dayalı olarak birbirlerine göre puanlanır. AHP, iş dünyası, mühendislik, sağlık hizmetleri ve eğitim dahil olmak üzere birçok alanda karar verme için yaygın olarak kullanılmaktadır.

AHP özetle beş adımdan oluşur:

1. Hiyerarşinin yapılandırılması
2. Kriterlerin ikili olarak karşılaştırılması
3. Kriter ağırlıklarının hesaplanması
4. Alternatiflerin değerlendirilmesi

5. Alternatifleri sıralamak için ağırlıkların ve puanların birleştirilmesi (V Belton & T Gear,1983; V Belton & T Stewart, 2002; P Goodwin & G Wright, 1998).

#### 4. Toz Maruziyeti ile İlgili Kriterlerin Ağırlıklandırılması ve Çalışmanın Bulguları

Ülkemizde toza maruz kalımı incelerken uzman görüşüne dayalı uygulama esas alınmıştır. Uygulama yapılırken karar vericiler için toza maruziyeti artıran kriterler belirlenmiş ve bu kriterlerin belirlenmesinde güncel olarak kullanılan uluslararası kabul görmüş mesleki maruziyet modellerinden yararlanılmıştır.

##### 4.1. Kriterlerin Ağırlıklandırılması

Bu araştırmada kapsamında toz maruziyetini artıran kriterler belirlenirken, literatürde kabul görmüş TREXMO maruziyet modelinde yer alan temel parametrelerden yararlanılmıştır. Belirlenen bu kriterlerin ağırlıklandırılması ve AHP yönteminin işletilebilmesi amacıyla; metal, otomotiv, telekomünikasyon ve kamu gibi farklı endüstri kollarında faaliyet gösteren büyük ölçekli firmalarda görevli uzmanlardan oluşan bir karar verici grubu oluşturulmuştur. Bu grup, sektörde 11 ile 25 yıl arasında değişen kıdemli tecrübeye sahip, üst düzey yöneticiler ve A Sınıfı İş Güvenliği Uzmanlarından meydana gelmektedir. Kriterlerin puanlanmasında, toza maruz kalma riskini artırma derecesine göre 1 (en düşük) ile 9 (en yüksek) arasında değişen bir ölçek kullanılmış; dört farklı KV'den elde edilen verilerin aritmetik ortalaması alınarak nihai puanlar hesaplanmıştır.

**Tablo 2.** KV'lerin Verdiği Ortalama Puanlar

	<b>KRİTER</b>	<b>DM-ORT</b>
<b>K1</b>	Maddenin/ müstahzarın ürün tipi	5
<b>K2</b>	Tozluluk (Dustiness)	7
<b>K3</b>	Ağırlık fraksiyonu (yüzde içerik) Not: çalışılan malzemedeki toz içeriği	6
<b>K4</b>	Nem içeriği	4
<b>K5</b>	Çalışanın solunum bölgesinden (ağız ve burun) kaynağa olan mesafe	8
<b>K6</b>	Yüzey kirliliği / Kaçak emisyon kaynakları	5
<b>K7</b>	<b>Çalışma/aktivite süresi</b>	<b>6</b>
<b>K8</b>	<b>İşyeri Tehlike Sınıfı</b>	<b>8</b>
<b>K9</b>	<b>Havalandırma türünün etkisi</b>	<b>6</b>
<b>K10</b>	İşyeri büyüklüğü/hacmi	4
<b>K11</b>	<b>Çalışan sayısı</b>	<b>3</b>

Yetkilendirilmiş laboratuvarlar, iş hijyeni ölçüm sonuçlarını İSG-KATİP sistemine aktarırken aynı zamanda iş yerlerine dair spesifik tanımlayıcı bilgileri de sisteme kaydetmektedir. Bu veri setinde yer alan ve maruziyet riskini doğrudan etkilediği bilinen parametreler, araştırmanın AHP modeline temel teşkil edecek kriterlerin seçiminde belirleyici olmuştur. İş yeri bilgileri ile TREXMO maruziyet modelinde yer alan kriterler karşılaştırılmış; sistemdeki verilerin modeldeki parametrelerle tam anlamıyla örtüştüğü saptanmıştır. Bu metodolojik uyum doğrultusunda; veri setinde kayıtlı olan iş yeri tehlike sınıfı (K8), çalışan sayısı (K11), ölçüm alanındaki havalandırma koşulları (K9) ve çalışanların fiili çalışma süreleri (K7), eldeki veri setinde olan bilgilerle örtüştüğü için AHP yöntemini uygulamak üzere kriter olarak seçilmiştir. Böylece hem yasal bildirim sistemindeki nesnel veriler hem de literatürde kabul görmüş maruziyet modelleri ortak bir paydada buluşturularak analizin bilimsel geçerliliği güçlendirilmiştir.

#### 4.1.1. K8 (İşyeri Tehlike Sınıfı) Kriteri:

Türkiye’de iş sağlığı ve güvenliği alanında köklü bir değişim yaratan (İSG Kanunu, 2012), 4857 sayılı İş Kanunu’nun 81. maddesini yürürlükten kaldırarak "tehlke sınıfı" kavramını hukuk sistemine dahil etmiştir. Kanun kapsamında tehlike sınıfı; işin özelliği, kullanılan maddeler, ekipmanlar, üretim yöntemleri ve çalışma ortamı gibi hususlar dikkate alınarak belirlenen risk grubunu ifade etmektedir. Kanununun 9. maddesi uyarınca iş yeri tehlike sınıflarının belirlenmesinde; 5510 sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu’nun 83. maddesine atıfla, kısa vadeli sigorta kolları prim tarifesini ve yürütülen asıl iş esas alınmaktadır. Bu sınıflandırma, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü başkanlığındaki bir komisyonun görüşleri doğrultusunda hazırlanan tebliğ ile güncel olarak takip edilmekte ve yasal çerçeveye oturtulmaktadır (İSG Kanunu, 2012).

#### 4.2. AHP Metodu ile Kriterlerin Ağırlıklandırılması

Bu çalışmada, toz maruziyetini artıran kriterlerin ağırlıkları AHP ile hesaplanmıştır.

##### 4.2.1. Karşılaştırma Ölçeği:

Uygulamada AHP için uzmanlar tarafından kabul gören Tablo 2’de belirtilen ve Saaty tarafından kullanılan Tablo 3’te verilen 1-9 temel ölçeğinden yararlanılmıştır. Bu ölçek iki seçenek veya kriterin karşılaştırılmasında uygun bir değer bulunması için kullanılır. Tercih tablosu tek sayılardan oluşmaktadır. Tercih tablosunda yer alan çift sayılar ise uzlaşma değerleridir (Saaty 1990).

#### Önem Değerleri Değer Tanımları

Tablo 3. Karşılaştırma Ölçeği

ÖNEMİ	TANIM	AÇIKLAMA
1	Eşit öneme sahip	Her iki seçenekte eşit değerde öneme sahiptir
2	Zayıf ya da hafif	
3	Biraz önemli	Bir ölçüt diğerine göre biraz daha önemli sayılmıştır
4	Makul artı	
5	Fazla önemli	Bir ölçüt diğerine göre çok daha önemli sayılmıştır
6	Güçlü artı	
7	Çok fazla önemli	Ölçüt diğer ölçüte göre kesinlikle çok daha önemli sayılmıştır.
8	Çok çok güçlü	
9	Son derece önemli	Bir ölçütün diğerine göre son derece önemli olduğu çeşitli bilgilere dayandırılmıştır.

##### 4.2.2 İkili Karşılaştırma Matrisi

İşyerlerinde toz maruziyetlerini etkileyen kriterlerin ikili karşılaştırmasında uzman görüşlerinin ortalaması alınmıştır. Satır elemanları sütun elemanlarına göre Tablo.3 Karşılaştırma Ölçeği baz alınarak karşılaştırılmıştır:

- Tehlike sınıfı çalışan sayısına göre daha önemlidir ve ölçek tablosunda 6 ile belirtilmiştir.
- Tehlike sınıfı havalandırma kriterine göre biraz daha önemlidir ve 4 ile belirtilmiştir.
- Tehlike sınıfı çalışma süresi kriterine göre biraz daha önemlidir ve 3 ile ifade edilmiştir.
- Havalandırma çalışan sayısı kriterine göre biraz daha önemlidir ve satır sütun karşılaştığından dolayı bu kriter 1/4 ile belirtilmiştir.
- Yine çalışma süresi çalışan sayısına göre biraz daha önemlidir ve satır sütun karşılaştığından dolayı bu kriter 1/3 ile ifade edilmiştir.
- Havalandırma çalışma süresi kriterine göre çok daha önemlidir ve 5 ile ifade edilmiştir.

### 4.2.3 Uzman Görüşlerinin Birleştirilmesi ve Grup Karar Verme Süreci

AHP yönteminde birden fazla karar vericinin (uzman grubunun) dahil olduğu durumlarda, bireysel yargıların tek bir grup kararına dönüştürülmesi için literatürde yaygın olarak kabul gören Geometrik Ortalama Yöntemi (Geometric Mean Method) tercih edilmiştir. Bu yöntemin seçilme nedeni, ikili karşılaştırma matrislerinin ters simetrik yapısını koruması ve bireysel yargıların uç değerlerinden kaynaklanabilecek sapmaları minimize etmesidir. Her bir KV, Saaty'nin 1-9 ölçeğini kullanarak kriterler arasındaki ikili karşılaştırmaları bağımsız olarak gerçekleştirmiştir. Grup kararı, her bir matris hücresi ( $a_{ij}$ ) için aşağıdaki formül uygulanarak hesaplanmıştır:

$$a_{ij}^{grup} = \sqrt[n]{\prod_{k=1}^n a_{ij}^k}$$

Şekil 2: Matris Formülü

Burada n karar verici sayısını,  $a_{ij}$  ise k uzmanın i ve j kriterleri arasındaki tercih değerini temsil eder.

Sürecin metodolojik güvenilirliğini artırmak amacıyla "Yeniden Değerlendirme Temelli Uzlaşı Yaklaşımı" benimsenmiştir.

Her uzmanın verdiği puanlar üzerinden Tutarlılık Oranı (Consistency Ratio - CR) hesaplanmıştır. Uzlaşı sağlanan ve CR değerleri kabul edilebilir sınırlar içinde kalan bireysel matrislerin geometrik ortalaması alınarak "Grup İkili Karşılaştırma Matrisi" oluşturulmuştur. Bu yaklaşım, analizin yalnızca basit bir ortalamadan ibaret kalmamasını sağlamış; uzmanların kolektif deneyimini, uç değerlerin etkisinden arındırılmış, istatistiksel ve mantıksal bir bütünlükle yansıtmıştır.

Tablo 4. Ana Kriterlerin İkili Karşılaştırma Matrisi

	C1	C2	C3	C4
C1 (Tehlike Sınıfı)	1	6	4	3
C2 (Çalışan Sayısı)	1/6	1	1/3	1/3
C3 (Havalandırma)	1/4	4	1	3
C4 (Çalışma Süresi)	1/3	3	1/5	1

Normalleştirilmiş matris üzerinden ağırlıklar hesaplanmıştır.

İkili karşılaştırma matrisinin normalleştirilmesi sonucunda her bir kriterin sistem içindeki göreceli ağırlıkları ( $w_i$ ) hesaplanmıştır. AHP analizinin bilimsel geçerliliğini ve uzman yargılarının mantıksal sürekliliğini doğrulamak amacıyla CR hesaplaması yapılmıştır. Saaty (1980) tarafından önerilen metodoloji uyarınca, rastgelelik indeksi ile karşılaştırılan tutarlılık katsayısının  $CR < 0,10$  olması beklenmektedir.

Bu eşik değerinin altında kalan sonuçlar, ikili karşılaştırmaların tutarlı olduğunu ve hesaplanan ağırlıkların nihai modelde güvenle kullanılabileceğini kanıtlamaktadır.

Tablo 5. Ağırlık Matrisi

	C1	C2	C3	C4	W Kriter Ağırlıkları
C1 (Tehlike Sınıfı)	0,57	0,43	0,72	0,41	<b>0,533</b>
C2 (Çalışan Sayısı)	0,10	0,07	0,06	0,05	<b>0,068</b>
C3 (Havalandırma)	0,14	0,29	0,18	0,41	<b>0,255</b>
C4 (Çalışma Süresi)	0,19	0,21	0,04	0,14	<b>0,144</b>
Tutarlılık oranı	<b>0,094</b>				

Rastgele tutarlılık indeksi (RI) n=4 için 0.90'dır (Saaty, 1980):

$CR = CI / RI \approx 0.085 / 0.90 \approx 0.094$

Yapılan hesaplamalar neticesinde, ana kriterlerin ikili karşılaştırma matrisine ait CR 0,094 olarak saptanmıştır. Saaty (1980) tarafından literatürde kabul edilen  $CR < 0,10$  eşik değeri ile karşılaştırıldığında;  $0,094 < 0,10$  olduğu görüldüğünden, oluşturulan matrisin istatistiksel olarak tutarlı olduğu sonucuna varılmıştır. Bu bulgu, karar verici uzman grubunun kriterler arasındaki önem derecelerini mantıksal bir süreklilik ve yüksek güvenilirlik düzeyinde takdir ettiğini kanıtlamaktadır. Elde edilen tutarlılık düzeyi, analiz sonuçlarının iş yerlerinde toz maruziyeti kontrolü ve risk önceliklendirmesi için bilimsel açıdan geçerli bir temel sunduğunu doğrulamaktadır. Hesaplanan oranın eşik değerinin altında kalması, karar verme sürecinde herhangi bir yargı çelişkisi bulunmadığını ve belirlenen kriter ağırlıklarının modelin ilerleyen aşamalarında güvenle kullanılabilceğini teyit etmiştir.

**Tablo 6.** Kriter Ağırlıkları

		W/Kriter Ağırlıkları
K1	C1 (Tehlike Sınıfı)	0,533
K2	C2 (Çalışan Sayısı)	0,068
K3	C3 (Havalandırma):	0,255
K4	C4 (Çalışma Süresi)	0,144

Karar seçeneklerinin önem seviyeleri sırasıyla ilk olarak 0,533 ile tehlike sınıfı en önemli kriter olarak karşımıza çıkmaktadır. Önem sırasına bakıldığında ikinci olarak 0,255 ile havalandırma, 0,144 ile çalışma süresi ve son olarak 0,068 ile çalışan sayısıdır.

SPSS yazılımında Ki-kare testi ile yapılan değerlendirmelerden 23044 kişisel maruziyet solunabilir toz sonuçlarının tehlike sınıfı baz alınarak analizi yapılmıştır. Ölçüm sonuçları mesleki maruziyet sınır değerine göre 4 kategoride dağılımına bakılarak incelenmiştir. Tehlike sınıflarından az tehlikeli, tehlikeli ve çok tehlikeli işyerinde yapılan ölçüm sonuçları gruplandırılarak, mesleki maruziyet sınır değerleri ile karşılaştırması yapılmıştır.

#### 4 Kategorik Veri:

1. Sınır değerinin %20 altı,
2. Sınır değerinin %20 ile %50 si arasında,
3. Sınır değerinin %50 altı ile sınır değeri arası,
4. Sınır değer üstü

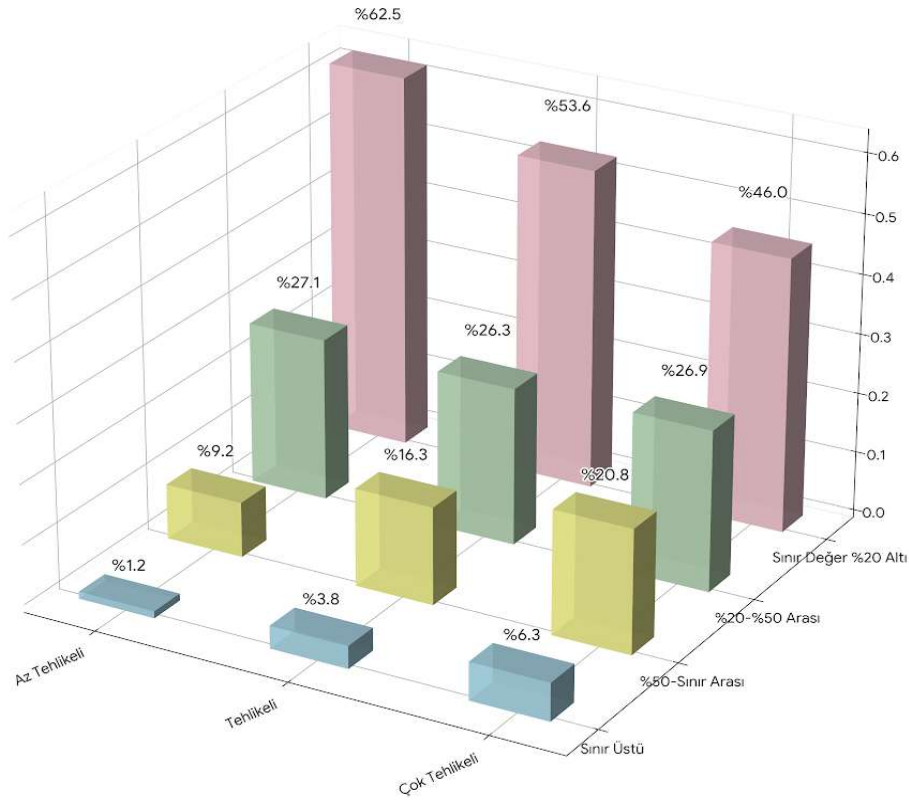
Mesleki maruziyet sınır değerlerinin (MMSD) kategorizasyonunda, "TS EN 689:2018+AC – İş Yerindeki Maruziyet: Kimyasal Maddelerin Solunmasıyla Maruziyetin Ölçülmesi" standardında tanımlanan stratejik yaklaşımlar esas alınmıştır. İş sağlığı ve güvenliği disiplininin temelini oluşturan proaktif yaklaşım gereği, maruziyetin sadece sınır değeri aşma durumu değil; bu değer %20 ve %50'si gibi kritik eşiklere olan yakınlığı da risk değerlendirmesinin bir parçası olarak kabul edilmektedir. Bu doğrultuda, çalışmadaki kişisel solunabilir toz ölçüm sonuçları; olası maruziyet eğilimlerini ve uygunsuzluk risklerini daha hassas bir ölçekte analiz edebilmek amacıyla %20 MMSD ve %50 MMSD eşikleri dikkate alınarak dört ayrı kategoride sınıflandırılmıştır. Sonuçlar aşağıdaki grafiklerde verilmiştir:

**Tablo 7.** Ki-kare testi kullanılarak iki kategorik verinin karşılaştırılması / 23044 kişisel solunabilir toz maruziyet ölçüm sonuçlarının sınır değer üstünde ve altındaki 4 kategoriye göre dağılımı

Kategori 1	Kategori 2	Kategori 3	Kategori 4
Sınır değerinin %20 altı ( $x < 1 \text{ mg/m}^3$ )	Sınır değerinin %20 ile %50 si arasında ( $1 < x < 2,5 \text{ mg/m}^3$ )	Sınır değerinin %50 altı ile sınır değeri arasında ( $2,5 < x < 5 \text{ mg/m}^3$ )	Sınır değer üstü ( $x > 5 \text{ mg/m}^3$ )
12193	6135	3775	941

Veri seti bütüncül olarak incelendiğinde, ölçümlerin büyük bir çoğunluğunun (%52,9) Kategori 1 olarak tanımlanan düşük risk grubunda yer aldığı görülmektedir. Buna karşın, sınır değerini aştığı (Kategori 4) 941 adet ölçüm sonucu saptanmıştır. Özellikle Kategori 2 ve Kategori 3'te yer alan toplam 9.910 veri, sınır değer henüz aşılmamış olsa da proaktif yaklaşımla kontrol altına alınması gereken önemli bir maruziyet düzeyini işaret

etmektedir. Bu kategorik dağılım, bir sonraki aşamada uygulanan Ki-kare testi analizleri için temel veri kaynağını oluşturmuştur. Verilerin yüzde değerleri ile tehlike sınıfları üzerinden 4 kategoriye göre karşılaştırması aşağıdaki şekilde verilmiştir.

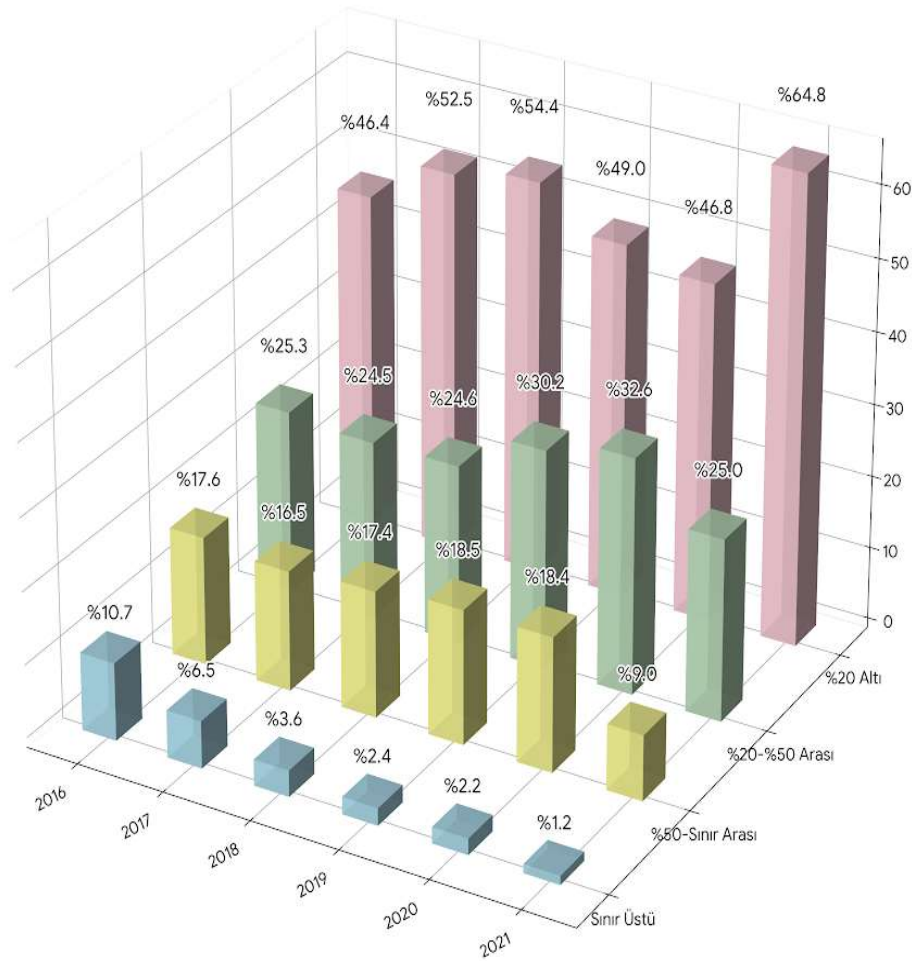


**Şekil 2:** Tehlike Sınıfına Göre Kişisel Maruziyet Solunabilir Toz Sonuçlarının Sınır Değerin Üstünde ve Altındaki 4 Kategoriye Göre Dağılımı

İş yerlerinin tehlike sınıfları ile solunabilir toz maruziyet düzeyleri arasındaki ilişki analiz edildiğinde, tehlike sınıfı arttıkça sınır değerlerin aşılma eğiliminin de belirgin bir artış gösterdiği saptanmıştır. "Çok Tehlikeli" sınıfta yer alan iş yerlerinde, sınır değer üzerinde ( $x > 5 \text{ mg/m}^3$ ) ölçüm sonuçlarının oranı %6,3 iken; bu oran "Tehlikeli" sınıfta %3,8'e, "Az Tehlikeli" sınıfta ise %1,2'ye gerilemektedir. Bu durum, iş yerinin tehlike derecesi ile yüksek maruziyet riski arasında istatistiksel bir paralellik olduğunu ortaya koymaktadır.

Öte yandan, proaktif yaklaşım çerçevesinde kritik kabul edilen "Sınır Değerin %50'si ile Sınır Değer Arasındaki" ( $2,5 < x < 5 \text{ mg/m}^3$ ) maruziyet aralığında da benzer bir dağılım gözlemlenmiştir. Çok tehlikeli iş yerlerinde bu gruptaki ölçümlerin oranı %20,8 olarak kaydedilirken, az tehlikeli iş yerlerinde bu oran %9,2'ye düşmektedir. Sınır değer %20'sinin altındaki ( $x < 1 \text{ mg/m}^3$ ) en düşük maruziyet kategorisinde ise, az tehlikeli iş yerlerinin %62,5 ile en yüksek paya sahip olduğu görülmektedir. Elde edilen bu veriler, özellikle çok tehlikeli ve tehlikeli sınıflarda yer alan işletmelerin, sınır değer aşımı gerçekleşmeden önce kontrol tedbirlerini artırmaları gerektiğini ve tehlike sınıfı bazlı risk yönetiminin önemini kanıtlamaktadır.

Ki-kare testi ile veriler analiz edilirken İSG\_KATİP'de yer alan diğer bilgilerinde sonuçlara etkisi incelenmiştir. Bu bilgilerden yıl bazında dağılımlar, işyerinde havalandırma bilgisine göre dağılımlar ve toz türlerine göre sınır değerler üzerinden birbirine etkileri incelenmiş ve değerlendirilmeler yapılmıştır.



**Şekil 3:** Kişisel Solunabilir Toz Ölçümlerinin Sınır Değer Bazında Dağılımı

2016 yılında sınır değerinin üstünde olan ölçüm oranı %10,7 iken, bu oran kademeli bir düşüşle 2021 yılında %1,2'ye gerilemiştir. Bu sonuçlar incelendiğinde ölçümlerdeki toz maruziyetlerinin sınır değer bazında ilerleyen yıllara göre azaldığı gözlemlenmiştir. Bu da işletmelerde beş yıllık süreçte önleyici tedbirlerin sonuçlara etki ettiğini göstermektedir. 2021 yılında sınır değeri geçen ölçüm sayısı %1,2 ile en az düzeydedir. Ayrıca sınır değerinin %20 sinin altına bulunan ölçüm sayısı %64,8 oranıyla en çok 2021 yılında görülmüştür. Bu da bize gelişen teknoloji, alınan önlemler, iş hijyeni standartlarındaki genel yükseliş ve önleme kültürünün yıllara göre arttığının bir kanıtını sunmaktadır.

2020-2021 dönemindeki keskin iyileşme, pandemi dönemindeki çalışma düzeni değişiklikleri veya işletmelerin mevzuat gereklerini uygulama başarısı olarak tartışılabilir.

## 5. Sonuç ve Öneriler

AHP analizi kapsamında gerçekleştirilen ikili karşılaştırmalar, uzman yargıları ve teorik varsayımlar temelinde yürütülmüş; elde edilen bulgular karar vericilerin öngörülerıyla tam uyum sergilemiştir. Tüm kriterler için hesaplanan tutarlılık oranlarının Saaty tarafından önerilen 0,1 eşik değerinin altında kalması, uzman yargılarının mantıksal bir süreklilik arz ettiğini ve modelin güvenilirliğini teyit etmektedir. Analiz sonuçlarına göre; toz maruziyetini etkileyen en kritik faktörün 0,533 ağırlık puanı ile "Tehlike Sınıfı" olduğu saptanmıştır. Bu bulgu, tehlike sınıfının maruziyet üzerindeki belirleyici etkisini vurgulayan Smith ve ark. (2020) ile Chen ve ark. (2019) tarafından yapılan çalışmalarla paralellik göstermektedir. Modelde ikinci öncelikli faktör olarak belirlenen "Havalandırma" (0,255), literatürdeki toz kontrol stratejilerini desteklerken; "Çalışma Süresi" (0,144) ve "Çalışan Sayısı" (0,068) maruziyet üzerinde daha sınırlı etkiye sahip değişkenler olarak saptanmıştır.

Tehlike sınıfının en önemli kriter olarak ortaya çıkması, 23.044 adet kişisel alveole ulaşan toz ölçüm verisi üzerinde uygulanan Ki-Kare testi sonuçlarıyla da desteklenmektedir. Kategorik veriler arasındaki bu istatistiksel ilişki, yasal tehlike sınıflandırmasının toz maruziyeti ile doğrudan korelasyon içinde olduğunu doğrulamaktadır. Kriterler arasındaki etkileşimler ise toz maruziyetinin kümülatif ve karmaşık doğasını açıkça ortaya koymaktadır. Örneğin; taş ocakçılığı gibi yüksek tehlike sınıfına sahip işletmelerde yetersiz havalandırmanın maruziyet riskini iki katına çıkardığı, bu durumun uzun çalışma süreleriyle birleştiğinde çalışan sağlığı üzerinde yıkıcı bir etki yarattığı gözlenmiştir. Ayrıca, çalışan sayısındaki artışın toz üreten faaliyetlerin koordinasyonunu güçleştirerek kontrol mekanizmalarını zayıflatabildiği saptanmıştır.

İnşaat ve yenileme çalışmaları sırasında yayılan toz, inşaat sektöründeki en önemli mesleki tehlikelerden biridir. Yıkım, malzeme işleme, öğütme ve cilalama, malzemelerin inceltmesi ve elenmesi sırasında önemli miktarda silika içeren toz emisyonu meydana geldiği bilinmektedir. Bujak ve arkadaşlarının 2001-2005 yıllarında inşaat sektöründe çalışanlarda yapmış olduğu toz ölçüm sonuçlarında (3717 adet) en yüksek solunabilir toza maruz kalma seviyeleri, cilalama (4.76 mg/m<sup>3</sup>), yenileme (3.88 mg/m<sup>3</sup>) ve kaynak (3.75 mg/m<sup>3</sup>) ile uğraşan işçilerde olduğu tespit edilmiştir (Bujak-Pietrek, Stella, Szadkowska-Stanczyk, Irena, 2009).

Farmasötik endüstrisinde aktif toz halindeki ilaçların üretimi sırasında tozlu işlemler, potansiyel olarak operatörün toza maruz kalmasına neden olur. Chapmartin ve arkadaşları, ilaç endüstrisinde toz haline getirilmiş aktif maddeler içeren üretim süreçleri için mesleki maruziyet verilerini toplamış ve dokuz ilaç üretim tesisinde (ilaç şirketleri ve fason üretim kuruluşları) toplam 377 atmosferik (ortam ve kişisel toz ölçümü) numune alınmıştır. 0,01mg/m<sup>3</sup> ila 135 mg/m<sup>3</sup> arasında değişen toplam (inhale edilen) toz maruziyetleri tespit edilmiş ve özellikle açık sistemlerde gerçekleştirilen manuel görevler (yükleme, boşaltma, mekanik eylemler) olmak üzere bazı potansiyel olarak kritik durumlar ve işlemler vurgulanmıştır (C. Champmartin & F. Clerc (2014)).

İkinci kriter olan havalandırma sistemlerinin tasarımı ve düzenli bakımı önemli adımlardan biridir. İş yerleri, çalışanları sistemlerin doğru kullanımı konusunda eğitmelidir. Tekstil fabrikalarında, pamuk tozunu kontrol etmek için merkezi havalandırma sistemleri ve filtreleme üniteleri kullanılabilir.

Çalışma süresi kriterine bakılacak olursa; uzun vardiyalar yerine iş rotasyonu ve mola sürelerinin artırımı uygulanmalıdır. Vardiyalı sistemler, maruziyet süresini dengeleyebilir. Uzun süreli maruziyet, kümülatif riskleri artırır, ancak etkisi tehlike sınıfı ve havalandırmaya kıyasla daha azdır (Gonzalez et al., 2020).

Çalışan sayısı kalabalık iş yerlerinde toz üreten faaliyetler koordine edilmeli ve alan etkin kullanılmalıdır. Üretim tesislerinde, çalışan yoğunluğunu azaltmak için iş süreçleri optimize edilebilir.

AHP metodolojisinin matematiksel temeli, kriterlerin nesnel bir hiyerarşiyle ağırlıklandırılmasına ve sonuçların denetlenebilirliğine olanak tanımıştır. Sonuç olarak, elde edilen bu ağırlıklandırma verileri iş yerlerinde stratejik risk yönetimi için temel bir rehber niteliğindedir. Özellikle madencilik ve inşaat gibi silika tozu maruziyetinin literatürde %30 daha fazla olduğu kanıtlanan (Chen et al., 2019) çok tehlikeli sektörlerde; yerel egzoz havalandırma sistemleri ve su püskürtme gibi tekniklerin önceliklendirilmesi, hem iş sağlığı ve güvenliği performansının artırılmasına hem de ulusal kaynakların daha verimli kullanılmasına katkı sağlayacaktır.

Bu araştırma, toz maruziyeti üzerine geniş kapsamlı bir veri seti sunmasına rağmen bazı kısıtlılıklara sahiptir. Çalışma, İSG-KATİP sisteminde standart olarak kayıt altına alınan tehlike sınıfı, çalışan sayısı, havalandırma ve çalışma süresi parametreleriyle sınırlandırılmıştır; dolayısıyla toz maruziyeti üzerinde doğrudan etkisi bulunan kişisel koruyucu donanım (KKD) kullanım disiplini, toz kaynağına olan fiziksel mesafe ve çalışma alanının hacmi gibi mikro ölçekli değişkenler modele dahil edilememiştir. Ayrıca, AHP yönteminde kullanılan uzman yargıları yüksek tecrübeli bir grup tarafından verilmiş olsa da, metodolojinin doğası gereği subjektif unsurlar içerebilmektedir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda, modele "çalışan eğitimi" ve "makine yaşı" gibi ek kriterlerin dahil edilmesi veya bulanık (Fuzzy) AHP gibi yöntemlerle subjektifliğin minimize edilmesi önerilmektedir. Bunun yanı sıra, mevcut veri setinin makine öğrenmesi algoritmalarıyla eğitilerek belirli sektörler için "toz maruziyeti tahminleme modelleri" geliştirilmesi ve maruziyet verilerinin çalışanların sağlık kayıtlarıyla (SFT, akciğer grafisi) eşleştirilerek epidemiyolojik analizlerin yürütülmesi, tozla mücadelede daha entegre ve koruyucu politikaların geliştirilmesine zemin hazırlayacaktır.

## Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Ayşe Erim, makalenin giriş ve literatür taraması ile sonuçlar ve tartişma kısmına, Prof. Dr. Ergün Eraslan araştırma sürecinin izlenmesi ve kontrolü, literatür taraması ile sonuçlar ve tartişma kısmına katkı yapmışlardır.

## Çıkar Çatışması

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

## Kaynaklar

6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, (2012). T.C. Resmî Gazete, (28339), 30 Haziran 2012.

Aminbakhsh, S., Gunduz, M. ve Sonmez, R. (2013). Safety risk assessment using analytic hierarchy process (AHP) during planning and budgeting of construction projects. *Journal of Safety Research*, 46, 99-105.

Anja Stajanko vd. (2026). Metal and dust exposure in workers from the metal recycling industry in Sweden: Cross-sectional Green Metal Waste study. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 271.

Badri, A., Nadeau, S. ve Gauthier, C. (2012). Risk-factor-based approach for health and safety risks. *Journal of Loss Prevention*, 25(6), 946-957.

BAuA. (2015a). *Einfaches Maşnahmenkonzept Gefahrstoffe (EMKG)* (Sürüm 2.2). Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Erişim adresi: baua.de

BAuA. (2015b). *REACH kapsamında 1. kademe maruziyet değerlendirme modellerinin değerlendirilmesi (ETEAM) projesi*. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Erişim adresi: baua.de

Belton, V. & Gear, T. (1983). On a short-coming in Saaty's method of analytic hierarchies. *Omega*, 11, 228-230.

Belton, V. & Stewart, T. (2002). *Çok kriterli karar analizi: Bütünleşik bir yaklaşım*. Kluwer.

Bujak-Pietrek, S. ve Szadkowska-Stanczyk, I. (2009). Dust exposure assessment among construction workers in Poland. *Medycna Pracy*, 247-257.

Champmartin, C. ve Clerc, F. (2014). Inhalable dust measurements as a first approach to assessing occupational exposure in the pharmaceutical industry. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 85-92.

Chen, X., Li, Y. & Zhang, H. (2019). Occupational silica exposure in mining industries: A review. *Journal of Occupational Health*, 61(5), 324-331. doi.org

EBRC. (2010). *Araçlar: MEASE. MEASE-The Metals' EASE*. Kimya Endüstrileri için Hizmet. Erişim adresi: ebrc.de

ECETOC. (2012). *ECETOC TRA versiyon 3: İyileştirmelerin arka planı ve gerekçesi* (Teknik Rapor No. 114). Avrupa Kimyasalların Ekotoksikolojisi ve Toksikolojisi Merkezi.

ECHA. (2012a). *Bilgi gereklilikleri ve kimyasalların güvenlik değerlendirmesine ilişkin kılavuz. Bölüm R.14: Mesleki maruziyet değerlendirmesi*. Avrupa Kimya Ajansı.

ECHA. (2012b). *Bilgi gereklilikleri ve kimyasalların güvenlik değerlendirmesine ilişkin kılavuz. Bölüm R.19: belirsizlik analizi*. Helsinki, Finlandiya: Avrupa Kimya Ajansı.

Ergün, A. ve Karakaya, A. (2023). Çalışma süresi ve vardiyalı çalışmanın iş sağlığına etkileri: Sistematik derleme. *Türk İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi*, 5(2), 89-101. doi.org

Fransman W, Cherrie J, Van Tongeren M ve diğerleri (2013). Gelişmiş Erişim Aracı Aracı (ART) için mekanistik

bir model geliştirilmesi. Zeist, Hollanda: Uygulamalı Bilimsel Araştırma Örgütü TNO.

Gbondo, D., Zhao, Y., Pham, M. & Rumchev, K. (2024). Trends in exposure to respirable dust and respirable crystalline silica among lithium mine workers in Western Australia. *Safety and Health at Work*, 15(4), 481-490. [1]

Goodwin, P. & Wright, G. (1998). *Yönetim kararları için karar analizi*. John Wiley.

Hesse S, Hahn S, Schroeder K ve diğerleri (2015). REACH (ETEAM) projesi kapsamında Kademe 1 maruziyet değerlendirme modellerinin değerlendirilmesi. Kademe 1 modellerinin belirsizliğine ilişkin alt çalışma raporu. Dortmund, Almanya: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. ISBN 978-3-88261-159-5.

Hofstetter E, Spencer JW, Hiteshew K ve diğerlerç (2012). Sprey boyadan kaynaklanan toluene mesleki maruziyetin değerlendirilmesinde önerilen REACH maruziyet modelleme araçlarının ve yakın alan, uzak alan modelinin değerlendirilmesi. *Ann Occup Hyg*; 57: 210-20.

I.A. Papazoglou, O. N. Aneziris, L. J. Bellamy, et al., Quantitative occupational risk model, *Single Hazard* 160 (2017) 162-173

ILO (2018). "Occupational Safety in Mining." International Labour Organization

İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği. (2012, 29 Aralık). *Resmî Gazete* (Sayı: 28512). Erişim adresi: [resmigazete.gov.tr](http://resmigazete.gov.tr)

Kasap, Y.A. ve Suba, E. (2017). Risk assessment of occupational groups working in open pit mining. *Anal. Hierarchy Process*, 16(2), 38-46.

Knauth, P. (1997). Designing better shift systems. *Applied Ergonomics*, 28(1), 31-34. doi.org

Landberg HE, Berg P, Andersson L ve diğerleri (2015). Birden fazla kullanıcının maruz kalma ve risk aracı kullanımının karşılaştırılması ve değerlendirilmesi: Stoffenmanager 5.1. *Ann Occup Hyg*; 59:821-35.

Marhavalas, P.K., Koulouriotis, D. ve Gemeni, V. (2011). Risk analysis and assessment methodologies in the worksites: On a review, classification and comparative study of the scientific literature of the period 2000-2009. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 24(5), 477-523.

Marquart H, Heussen H, Le Feber M ve diğerleri (2008). 'Stoffenmanager', bir maruziyet süreci modeli kullanan web tabanlı bir kontrol bandı aracı. *Ann Occup Hyg*; 52: 429-41.

Money CD. (2003). İşyeri sağlık risklerinin başarılı bir şekilde kontrol edilmesine yönelik yaklaşımların geliştirilmesinde Avrupa deneyimleri. *Ann Occup Hyg*; 47: 533-40

NIOSH (2020). "Occupational Respiratory Disease Surveillance." National Institute for Occupational Safety and Health

OSHA (2019). "Dust Control Guidelines." Occupational Safety and Health Administration

Pinto, A., Nunes, I.L. & Ribeiro, R.A. (2011). Occupational risk assessment in construction industry-overview and reflection. *Safety Science*, 49(5), 616-624.

R., Perez, L., & Martinez, J. (2020), *Long-term exposure to occupational dust and its cumulative risk: A review of the factors affecting workers' health*. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 62(4), 235-241.

Riedmann RA, Gasic B, Vernez D. (2015), ECETOC TRA v3, Stoffenmanager 4.5 ve ART 1.5 mesleki maruziyet modellerinin duyarlılık analizi, baskın faktörleri ve sağlamlığı. *Risk Anal*; 35: 211-25

S.Aminbakhsh, M.Gunduz, R.Sonmez, Safety risk assessment using analytic hierarchy process (AHP) during planning and budgeting of construction projects, *J. Saf. Res.* 46 (2013) 99-105

Saaty T L (1990). Physics as a decision theory. *European Journal of Operational Research*, 48(1): 98-104

- Saaty, T.L. (1980). *The analytic hierarchy process*. McGraw Hill. (Yeniden basım: RWS Publications, 2000).
- Saaty, T.L. (1994). How to make a decision: The analytic hierarchy process. *Aestimum*, 1-22. doi: 10.13128/Aestimum-7138
- San He, Huilan Xu, Jianxiong Zhang, Peiqiang XueSan, Risk assessment of oil and gas pipelines hot work based on AHP-FCE, *Petroleum*, Volume 9, Issue 1, March 2023, Pages 94-100
- Savic, N., Racordon, D., Buchs, D., Gasic, B. ve Vernez, D. (2016). TREXMO: Düzenleyici Mesleki Maruziyet Modellerinin Kullanımını Desteklemek için Bir Çeviri Aracı. *Ann. Occup. Hyg.*, 60(8), 991-1008. doi: 10.1093/annhyg/mew042
- Schinkel J, Fransman W, McDonnell PE ve diğerleri. (2014). Gelişmiş REACH Aracının (ART) Güvenilirliği. *Ann Occup Hyg*; 58:450–68
- Smith, R. A., Jones, M. B., & White, J. R. (2020). Hazard classification in industrial environments: Dust exposure risks in high-risk sectors. *Safety and Health at Work*, 11(2), 140-147. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2020.04.002>
- Tegegnetwork Y., (2021). “Assessment of dust exposure and chronic respiratory symptoms among workers in medium scale woodwork factories in Ethiopia; a cross sectional study” PubMed
- Tielemans E, Warren N, Schneider T ve diğerleri (2007). Mesleki maruziyetin yasal değerlendirmesi için araçlar: gelişim ve zorluklar. *J Exp Sci Environ Epidemiol*; 17(Suppl. 1): S72-80
- TS EN 481. (1996, Ekim). *İşyeri atmosferi-havadaki partikül ölçümleri için boyut fraksiyonu tarifler*. Türk Standardları Enstitüsü.
- TÜRK-İŞ. (2021). *Vardiyalı, uzun süre ve fazla çalışma ile ilgili sağlık ve güvenlik etkileri raporu*. Türkiye İşçi Sendikaları Konfederasyonu Yayınları. Erişim adresi: [turkis.org.tr](http://turkis.org.tr)
- Wedderburn, A. A. I. (2000). Shift work and health – the need for a new approach. European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions. <https://www.eurofound.europa.eu/publications/report/2000/shift-work-and-health-the-need-for-a-new-approach>
- WHO (2017). "Occupational and Environmental Health." World Health Organization
- Zhang, X., et al. (2024). *Journal of Cleaner Production*, Volume 434, 1 January 2024, 140196
- Zhang, Y., Wang, L., & Li, J. (2021). Ventilation systems for dust control in industrial environments: Engineering solutions for occupational health and safety. *Journal of Environmental Engineering*, 147(3), 04021014. Gonzalez,