

VERİMLİLİK DERGİSİ



T.C. SANAYİ VE
TEKNOLOJİ BAKANLIĞI



Cilt: 58 | Sayı: 2

Determinants of Labor Productivity of Turkish Manufacturing Sectors: The Role of Global Value Chain Participation

Pınar Tat, Abdullah Altun, Halit Yanıkkaya

Toplam Ekipman Etkinliğine Etki Eden Faktörlerin Makine Öğrenim Yöntemleri ile Analizi

Özgül Vupa Çilengiroğlu, İlke Genç

Yeşil Ekonomi Yolunda OECD Ülkelerinde Yenilenebilir Enerji Tüketimi Analizi

Ayşegül Han

Bağımsız Denetim, Güvenilir Bilgi Ortamı ve Operasyonel Verimlilik: Türkiye'de Faaliyet Gösteren İmalat İşletmelerinde Bir Araştırma

Serhat Şamil

Bankaların Kârlılığına Etki Eden Faktörlerin Tespiti: Türk Bankacılık Sektörü İçin Toda-Yamamoto Nedensellik Testi Bulguları

Levent Sezal

Zincir Marketlerde Stok Yönetiminde Fire Oranlarının Azaltılması: Ankara İlinde Bir Uygulama

Rumeysa Güneş, Buğra Akyol, Emel Güven, Tamer Eren

Entelektüel Sermaye Performansının CRITIC ve Gri İlişkisel Analiz Yöntemi ile Ölçülmesi: Metal Eşya Sektörü Örneği

Neilan Soylu, Abdul Khair Zafari

Sağlık Hizmetlerinde Sürdürülebilirlik Düzeyini Belirleyen Faktörlerin Önceliklendirilmesi

Şeyda Çavmak, Doğançan Çavmak, Eda Yaşa Özeltürkay

Mathematical Optimization in Innovation Productivity: A Framework and A Case Study on UAV Border Patrolling in Türkiye

Erdi Daşdemir

JOURNAL OF PRODUCTIVITY



T.C. SANAYİ VE
TEKNOLOJİ BAKANLIĞI



VERİMLİLİK DERGİSİ

Journal of Productivity

T.C. SANAYİ VE TEKNOLOJİ BAKANLIĞI

Stratejik Araştırmalar ve Verimlilik
Genel Müdürlüğü'nün Yayınıdır

ISSN: 1013-1388 e-ISSN: 2757-6973

YIL: 2024 Sayı: 2

Yayın Türü
Yerel-Sürel / Türkçe-İngilizce

Sahibi
T.C. SANAYİ VE TEKNOLOJİ BAKANLIĞI
STRATEJİK ARAŞTIRMALAR VE VERİMLİLİK GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
adına
Genel Müdür
Abdullah BAŞAR

Editör
Doç. Dr. Önder BELGİN

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü
Doç. Dr. Önder BELGİN

Grafik Tasarım ve Uygulama
Fulya KOÇ

Dil Editörleri
Aytunç AYHAN
Şirin Müge KAVUNCU

Yönetim Yeri
T.C. SANAYİ VE TEKNOLOJİ BAKANLIĞI
STRATEJİK ARAŞTIRMALAR VE VERİMLİLİK GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
Adres: Mustafa Kemal Mahallesi Dumlupınar Bulvarı
(Eskişehir Yolu 7. Km) 2151. Cadde No: 154/A
Çankaya 06510 ANKARA
Tel: 0 312 201 65 02
verimlilikdergisi@sanayi.gov.tr
https://dergipark.org.tr/pub/verimlilik

Baskı Yeri
Elma Teknik Basım Matbaacılık
Adres: İvedik OSB Matbaacılar Sitesi 1516/1 Sk. No: 35
Yenimahalle 06378 ANKARA
Tel: 0 312 229 92 65 - Fax: 0 312 231 67 06 elma@elmateknikbasim.com.tr

Baskı Tarihi
30.04.2024

YAYIN KURULU / EDITORIAL BOARD

Doç. Dr. Önder BELGİN - Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı
Doç. Dr. M. Hürol METE - Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı
Dr. Alp Eren YURTSEVEN - Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Kurumu
Dr. Cangül TOSUN - Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı
Dr. Cihan YALÇIN - Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı
Dr. Kağan KARADEMİR - Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı
Dr. Murat MAHMUTOĞLU - Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı
Dr. Onur AYTAR - Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı
Dr. Sinan BORLUK - Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı
Dr. Yücel ÖZKARA - Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı

DANIŞMA KURULU / ADVISORY BOARD

Prof. Dr. Adil BAYKASOĞLU - Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. Ali SINAĞ - Ankara Üniversitesi
Prof. Dr. Birdoğan BAKİ - Karadeniz Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Cengiz KAHRAMAN - İstanbul Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Cory SEARCY - Toronto Metropolitan University
Prof. Dr. Dirk CZARNITZKI - KU Leuven University
Prof. Dr. Ekrem TATOĞLU - Gulf University for Science and Technology & İbn Haldun Üniversitesi
Prof. Dr. Hasan Murat ERTUĞRUL - Anadolu Üniversitesi
Prof. Dr. Halit KESKİN - Yıldız Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. İskender PEKER - Gümüşhane Üniversitesi
Prof. Dr. İsmail EROL - Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi
Prof. Dr. Marina DABIC - University of Zagreb
Prof. Dr. Metin DAĞDEVİREN - Yükseköğretim Denetleme Kurulu
Prof. Dr. Mike DILLON - World Confederation of Productivity Science
Prof. Dr. Mine ÖMÜRGÖNÜLŞEN - Hacettepe Üniversitesi
Prof. Dr. Muammer ZERENLER - Selçuk Üniversitesi
Prof. Dr. Mustafa Zihni TUNCA - Süleyman Demirel Üniversitesi
Prof. Dr. Necati ARAS - Boğaziçi Üniversitesi
Prof. Dr. Özlem ATAY - Ankara Üniversitesi
Prof. Dr. Ramazan AKTAŞ - TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
Prof. Dr. Selçuk PERÇİN - Karadeniz Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Serpil EROL - Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Süphan NASIR - İstanbul Üniversitesi
Prof. Dr. Türkay DERELİ - Hasan Kalyoncu Üniversitesi
Prof. Dr. Yusuf Tansel İÇ - Başkent Üniversitesi
Doç. Dr. Dursun BALKAN - Türk Hava Kurumu Üniversitesi
Dr. Kamran MOOSA - PIQC Institute of Quality

Verimlilik Dergisi'nde yayımlanan yazılarda belirtilen görüşler yazarlarına aittir. Dergide yayımlanan yazılardan, Verimlilik Dergisi'nin adı ve sayısı anılarak alıntı yapılabilir.

Verimlilikle ilgili tüm disiplinlerden gelecek makalelere açık olan Verimlilik Dergisi, 2004 yılından itibaren "Hakemli Dergi" statüsü ile yayımlanmaya başlamıştır. Verimlilik Dergisi, 2008 yılından bu yana TÜBİTAK TR Dizin Sosyal ve Beşeri Bilimler Veri Tabanı'nda taranmaktadır. Verimlilik Dergisi'nde yayınlanması istenen çalışmalara ilişkin süreç yönetimi, TÜBİTAK ULAKBİM DergiPark aracılığıyla yürütülmektedir.

Yazarlar, Verimlilik Dergisi'nde yayımlanan çalışmalarının telif hakkına sahiptirler ve çalışmalarını CC BY-NC 4.0 lisansı altında yayımlanmaktadır.
The authors own the copyright of their works published in Journal of Productivity and their works are published under the CC BY-NC 4.0 license.



İÇİNDEKİLER

CONTENTS	155 170	Determinants of Labor Productivity of Turkish Manufacturing Sectors: The Role of Global Value Chain Participation <i>Türk İmalat Sektörlerinin İş Gücü Verimliliğinin Belirleyicileri: Küresel Değer Zincirine Katılımın Rolü</i> Pınar Tat, Abdullah Altun, Halit Yanıkkaya
	171 184	<i>Toplam Ekipman Etkinliğine Etki Eden Faktörlerin Makine Öğrenim Yöntemleri ile Analizi</i> Analysis of the Factors Affecting the Total Equipment Efficiency with Machine Learning Methods Özgül Vupa Çilengiroğlu, İlke Genç
	185 200	<i>Yeşil Ekonomi Yolunda OECD Ülkelerinde Yenilenebilir Enerji Tüketimi Analizi</i> Analysis of Renewable Energy Consumption in OECD Countries on the Road to Green Economy Ayşegül Han
	201 214	<i>Bağımsız Denetim, Güvenilir Bilgi Ortamı ve Operasyonel Verimlilik: Türkiye’de Faaliyet Gösteren İmalat İşletmelerinde Bir Araştırma</i> Independent Audit, Reliable Information Environment and Operational Productivity: Evidence from Manufacturing Enterprises from Türkiye Serhat Şamil
	215 230	<i>Bankaların Kârlılığına Etki Eden Faktörlerin Tespiti: Türk Bankacılık Sektörü İçin Toda-Yamamoto Nedensellik Testi Bulguları</i> Determining the Factors Affecting the Profitability of Banks: Toda-Yamamoto Causality Test Findings for the Turkish Banking Sector Levent Sezal
	231 246	<i>Zincir Marketlerde Stok Yönetiminde Fire Oranlarının Azaltılması: Ankara İlinde Bir Uygulama</i> Reducing Waste Rates in Inventory Management in Chain Markets: An Application in Ankara Rumeysa Güneş, Buğra Akyol, Emel Güven, Tamer Eren
	247 262	<i>Entelektüel Sermaye Performansının CRITIC ve Gri İlişkisel Analiz Yöntemi ile Ölçülmesi: Metal Eşya Sektörü Örneği</i> Measuring Intellectual Capital Performance Employing CRITIC and Gray Relational Analysis Method: The Case of Metal Products Sector Neilan Soylu, Abdul Khair Zafari
	263 282	<i>Sağlık Hizmetlerinde Sürdürülebilirlik Düzeyini Belirleyen Faktörlerin Önceliklendirilmesi</i> <i>Prioritizing the Determining Factors of Sustainability Level in Healthcare Services</i> Şeyda Çavmak, Doğanca Çavmak, Eda Yaşa Özelürkay
283 304	<i>Mathematical Optimization in Innovation Productivity: A Framework and A Case Study on UAV Border Patrolling in Türkiye</i> İnovasyon Verimliliğinde Matematiksel Optimizasyon: Bir Çerçeve ve Türkiye’de İHA Sınır Devriyesine İlişkin Bir Vaka Çalışması Erdi Daşdemir	

Determinants of Labor Productivity of Turkish Manufacturing Sectors: The Role of Global Value Chain Participation

Pınar Tat¹ , Abdullah Altun¹ , Halit Yanıkkaya¹ 

ABSTRACT

Purpose: This paper investigates the determinants of labor productivity of Turkish manufacturing sectors by taking into account both the global value chain (GVC) participation and the research and development (R&D) expenditure for the period of 1995-2018.

Methodology: To analyze the determinants of labor productivity in Turkish manufacturing sectors, we specify the labor productivity model and estimate this empirical model by the Ordinary Least Squares (OLS) and Two-Stage Least Squares (2SLS) methods.

Findings: Our estimation results indicate that while simple forward GVC participation enhances the labor productivity of Turkish high-tech manufacturing sectors if they trade with developing countries, complex forward GVC participation increases productivity regardless of trading partners. For low-tech sectors, there is no significant impact of GVCs or R&D on productivity. There is no significant impact of backward GVC participation and sectoral R&D intensity on labor productivity. These significant results provide strong evidence for the importance of deeper involvement of high-tech sectors in GVCs for higher sectoral productivity. Given the strong heterogeneity in terms of sectors and trading partners, specific policies should be targeted to benefit from the productivity gains of the global value chains.

Originality: This study contributes to the current studies by focusing on disaggregated measures of GVC participation indices and enlarges the empirical analysis by considering the heterogeneity in trading partners (developed and developing trading partners).

Keywords: Labor Productivity, Simple/Complex GVC Participation, R&D Expenditure, The Turkish Manufacturing Sector.

JEL Codes: F14, F68, O47.

Türk İmalat Sektörlerinin İş Gücü Verimliliğinin Belirleyicileri: Küresel Değer Zincirine Katılımın Rolü

ÖZET

Amaç: Bu makale, 1995-2018 dönemi için hem küresel değer zinciri (KDZ) katılımı hem de araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) harcamalarını dikkate alarak Türk imalat sektörlerinin işgücü verimliliğinin belirleyicilerini incelemektedir.

Yöntem: Türk imalat sektörlerinde işgücü verimliliğinin belirleyicilerini analiz etmek için, işgücü verimliliği modelini belirlemekte ve bu ampirik modeli Sıradan En Küçük Kareler (OLS) ve İki Aşamalı En Küçük Kareler (2SLS) yöntemleri ile tahmin etmekteyiz.

Bulgular: Tahmin sonuçlarımız, gelişmekte olan ülkelerle ticaret yapmaları durumunda basit ileriye dönük KDZ katılımının, Türk ileri teknoloji imalat sektörlerinin işgücü verimliliğini artırırken, karmaşık ileri KDZ katılımının ticari ortaklardan bağımsız olarak üretkenliği artırdığını göstermektedir. Düşük teknoloji sektörleri için KDZ'lerin veya Ar-Ge'nin üretkenlik üzerinde anlamlı bir etkisi yoktur. Geriye dönük KDZ katılımının ve sektörel Ar-Ge yoğunluğunun işgücü verimliliği üzerinde anlamlı bir etkisi yoktur. Bu önemli sonuçlar, daha yüksek sektörel üretkenlik için yüksek teknoloji sektörlerinin KDZ'lere daha derin bir şekilde dahil edilmesinin önemine dair güçlü kanıtlar sunmaktadır. Sektörler ve ticaret partnerleri açısından güçlü heterojenlik göz önüne alındığında, küresel değer zincirlerinin üretkenlik kazanımlarından yararlanmak için belirli politikalar hedeflenmelidir.

Özgünlük: Bu çalışma, KDZ katılım endekslerinin ayrıştırılmış ölçütlerine odaklanarak mevcut çalışmalara katkıda bulunmakta ve ticaret partnerlerindeki (gelişmiş ve gelişmekte olan ticaret partnerleri) heterojenliği dikkate alarak ampirik analizi genişletmektedir.

Anahtar Kelimeler: İş Gücü Verimliliği, Basit/Kompleks KDZ Katılımı, Ar-Ge Harcamaları, Türk İmalat Sektörü.

JEL Kodları: F14, F68, O47.

¹ Gebze Technical University, Department of Economics, Kocaeli, Türkiye

Corresponding Author: Pınar Tat, pinartat@gtu.edu.tr

DOI: 10.51551/verimlilik.1321289

Research Article | Submitted: 30.06.2023 | Accepted: 08.02.2024

Cite: Tat, P., Altun, A., and Yanıkkaya, H. (2024). "Determinants of Labor Productivity of Turkish Manufacturing Sectors: The Role of Global Value Chain Participation", *Verimlilik Dergisi*, 58(2), 155-170.

1. INTRODUCTION

This study investigates the determinants of labor productivity for Turkish manufacturing sectors by considering both the global value chain (GVC) participation and the research and development (R&D) expenditure. Labor productivity is an important proxy for understanding the evolution of value-added and employment through the period. Therefore, it is important to understand the drivers of labor productivity for Turkish manufacturing sectors. Apart from sector and country-level endowments that can affect sectoral productivity, trade structure also has a significant impact on productivity. Given the high ratio of intermediate trade in the globally integrated world production system, the importance of the potential impact of trade on labor productivity becomes more evident.

The concept describing fragmented and integrated production systems and prominent circulation of intermediates is called global value chains. GVC involvement may promote labor productivity by triggering several channels. Firstly, GVC participation provides access to the international markets. While backward GVC participation brings intermediates goods and knowledge/technology spillovers to importer countries (Amiti and Konings, 2007; Halpern et al., 2015), forward GVC participation introduces new management practices, standards, and opportunities to benefit from economies of scale in the production process (De Marchi et al., 2018). These two types of GVC eventually are expected to boost the sectoral labor productivity. Secondly, participating in GVC enables sectors to specialize in a specific task where they have comparative advantages (Grossman and Rossi-Hansberg, 2008). This high-level specialization may bring productivity gains for these globalized sectors. In other words, greater productivity gains are expected through participation in GVC rather than traditional trade (Kummritz, 2016; Taglioni and Winkler, 2016; Antràs et al., 2017). However, the theoretical expectations may not be reached in reality due to the special characteristics and high heterogeneity of the Turkish manufacturing industry as well as different types of GVC participation. Therefore, investigating the determinants of labor productivity of Turkish manufacturing sectors by considering the role of a variety of global value chain participation is an interesting research subject and a worthwhile effort.

The number of sector-level studies examining the connection between GVC involvement and labor productivity is rapidly increasing (Formai and Caffarelli, 2015; Kummritz, 2016; Constantinescu et al., 2019; Jona-Lasinio and Meliciani, 2019; Pahl and Timmer, 2020; Jangam, 2021). Formai and Caffarelli (2015) indicate a positive labor productivity effect of backward GVC participation for the manufacturing sectors of 46 countries. Kummritz (2016) finds that forward GVC participation boosts labor productivity for all sectors of 54 countries. Constantinescu et al. (2019) suggest that backward GVC participation is a significant driver for productivity by using 13 manufacturing sectors of 40 countries. Jona-Lasinio and Meliciani (2019) report that the positive impact of GVC participation on productivity growth is higher in industries having greater intangible capital intensity. Pahl and Timmer (2020) observe the positive effects of backward GVC participation in the manufacturing sectors of 58 countries. Finally, Jangam (2021) the positive impact of GVC participation on labor productivity for the 16 Asia-Pacific countries. As can be seen, studies in the literature generally exploit multi-country datasets mostly including developed countries, while studies conducted for developing countries remain limited.

The current empirical literature about productivity in Türkiye focuses on conventional trade variables (Filiztekin, 2000; Taymaz and Yilmaz, 2006; Ozler and Yilmaz, 2009; Dalgıç et al., 2015). Filiztekin (2000) claims that changing trade policies from import-substituting to trade liberalization boosts the productivity of the Turkish manufacturing industry. Taymaz and Yilmaz (2006) assert that import competing Turkish manufacturing sectors raises their productivity during the liberalization period. Ozler and Yilmaz (2009) also reach the same conclusion for Turkish firms regarding a rapid decline in tariff rates. Dalgıç et al. (2015) claim that both the importing and exporting activities of Turkish firms increase their labor productivity after the trade liberalization.

In one of the few studies that employ GVC measures, Kılıçaslan et al. (2021) show that supplier position in the GVC increases the productivity of Turkish firms. Altun et al. (2023) investigate the impacts of both forward and backward GVC participation on the labor productivity of Turkish firms for the period 1993-2015. They find that while backward GVC participation decreases labor productivity, forward GVC participation increases productivity.

To precisely analyze the impacts of participating in trade activities, researchers should calculate the trade measures correctly. To this end, within the interdependent trade and production structures especially after the 1980s, the studies in international trade have evolved with the enhancement in inter-country input-output tables (WIOD, OECD, EORA) and the new calculation methodologies (Koopman et al., 2014; Wang et al., 2017; OECD, 2021d) through time. We also utilize a variety of different GVC participation indices, which enables us to track true sectoral value-added embedded in trade flows.

This study contributes to the current studies by focusing on disaggregated measures of GVC participation indices and enlarges the empirical analysis by considering the heterogeneity in trading partners (developed and developing trading partners) for the Turkish manufacturing industries. To this end, we look at the impacts of both forward/ backward GVC participation indices and R&D intensity on the labor productivity of Turkish manufacturing sectors for the period 1995-2018. We then employ heterogeneity in trading partners (developed and developing), simple/complex GVC participation, and heterogeneity in manufacturing sectors (high and low-tech). The closest article, Altun et al. (2023), differs from our study in some respects. First, while their study is firm level, our study is sector level. Secondly, they also employ simple and complex GVC participation as well as high- and low-tech disaggregation. We further extend our analysis by considering the heterogeneity in trading partners. Thirdly, unlike them, we employ the Two-Stage Least Squares (2SLS) to evaluate the impacts GVCs on productivity.

The estimation results imply that complex forward GVC participation increases productivity regardless of trading partners, but simple forward GVC participation increases the labor productivity of Turkish high-tech manufacturing sectors if they deal with emerging economies. For low-tech sectors, there is no significant impact of any variable on the productivity of these sectors. Backward GVC participation and sectoral R&D intensity have no significant effect on labor productivity. The significance of deeper involvement in forward GVCs for enhanced sectoral productivity is apparent. Policies should specifically aim at the considerable heterogeneity in sectors and trade partners to benefit from productivity gains of the global value chains.

This study is organized as follows. The next section reviews the related literature. The third section describes the dataset and measures. The fourth section provides the methodology. The fifth section reports the results. The final section presents the conclusion.

2. DATA

This study employs three main databases. Firstly, we employ inter-country input-output tables and value-added from the 2021 release of Trade in Value-Added Statistics (OECD, 2021a). We compute forward and backward GVC participation by using the value-added decomposition methodology of Wang et al. (2017) and calculation steps in UIBE (2017, 2017a, 2017b). *Forward GVC participation* means the ratio of domestic value-added of the sector embedded in its exports to sectoral value-added. If the exported products are processed and consumed within the border of the trading partner, it is called *simple forward GVC participation*. If the exported products are processed and sold to another third country, it is called *complex forward GVC participation*. *Backward GVC participation* means the ratio of foreign value-added embedded in imports to sectoral final demand. If the imported products are processed and consumed within the border of the country, it is called *simple backward GVC participation*. If the imported products are processed and sold to another third country, it is called *complex backward GVC participation*.

Secondly, we utilize R&D statistics in the OECD's Analytical Business Enterprise Research and Development (ANBERD) database (OECD, 2021b). Thirdly, we use data on employees from the OECD's Trade in Employment database (OECD, 2021c).

We calculate the main dependent variable, labor productivity, by dividing value-added by employees. We then take the natural logarithm of labor productivity. We also divide sectoral R&D expenditure by value-added.

As an operational sample, we have 17 manufacturing sectors for the years 1995-2018. It is important to note that we trim upper and lower one percent of all variables we employ in our analysis. In addition, R&D statistics are not available for some sectors and years. To decide the income levels of trading partners, we utilize the historical income classification of countries. Income classification is based on the country's 1995 income level, that is the initial year of our dataset (World Bank, 2020). We also employ the technology classification of OECD based on the R&D intensity of sectors (Galindo-Rueda and Verger, 2016). We categorize sectors mainly into two groups as high and low technology (see Table A1 in Appendix).

Table 1 provides the summary statistics of all measures employed in our analysis. The forward GVC participation of Turkish manufacturing industries is 15%. While the simple part is 10%, the complex part is 5% on average. The backward GVC participation of Turkish manufacturing industries is 24%. While the simple part is 14%, the complex part is 11% on average. We can argue that the production of Turkish manufacturing sectors depends highly on the backward GVC participation. Moreover, Turkish manufacturing sectors specialize in relatively simpler parts of the forward and backward GVCs. While the forward GVC participation of high-tech sectors (17%) is higher than that of low-tech sectors (13%), the backward GVC participations of these two sector groups are nearly the same (24%). Another noteworthy characteristic is higher R&D intensity of high-tech sectors compared to low-tech sectors.

Table 1. Summary statistics

<i>Variables</i>	<i>All sectors</i>		<i>High-tech</i>		<i>Low-tech</i>	
	<i>Mean</i>	<i>SD</i>	<i>Mean</i>	<i>SD</i>	<i>Mean</i>	<i>SD</i>
Ln (labor productivity)	10.39	0.92	10.40	0.69	10.37	1.21
Forward GVC participation	15.03	6.98	16.67	7.35	12.46	5.47
Simple forward GVC participation	10.30	5.00	11.39	5.46	8.55	3.53
Complex forward GVC participation	5.38	3.51	6.29	3.91	3.92	2.02
Backward GVC participation	24.43	10.47	24.68	6.64	24.02	14.70
Simple backward GVC participation	13.82	6.26	13.25	3.96	14.74	8.72
Complex backward GVC participation	10.61	5.71	11.43	4.92	9.28	6.61
R&D (% in VA)	3.12	5.17	4.81	5.98	0.40	0.59
# of Obs.	376		232		144	

Notes: SD means standard deviation, Ln means natural logarithm, GVC participations are in percentages. VA stands for sectoral value-added.

3. METHODOLOGY

To analyze the determinants of labor productivity in Turkish manufacturing sectors, we specify the labor productivity model as in Equation 1.

$$LP_{s,t} = \beta_0 + \beta_1 GVC_{s,t} + \beta_2 R\&D_{s,t} + \beta_3 T_t + \varepsilon_{c,i,t} \quad (1)$$

where s and t stand for sectors and years, respectively. $LP_{s,t}$ stands for the natural logarithm of labor productivity. $GVC_{s,t}$ is forward or backward GVC participation. We also take the simple and complex parts of the forward and backward GVC participation. $R\&D_{s,t}$ is the ratio of R&D expenditure to value added. T_t stands for time dummies to take changes in government policies, other macroeconomic factors, and technological enhancements into account.

The empirical model above is first estimated by the Ordinary Least Squares (OLS). However, the model can suffer from omitted variables, reverse causality, and simultaneity. These may result in endogeneity problems, that is correlation of one or more independent variables with error term, and the OLS estimates can be biased and inefficient. Therefore, we utilize the Two-Stage Least Squares (2SLS) to obtain unbiased and consistent estimates to address these concerns.

In the Two-Stage Least Squares (2SLS) or Instrumental Variables (IVs) estimation technique, the instrumental variables are correlated with the endogenous variables, but they are not correlated with the error term. The F statistics should be higher than the threshold level of 10 to ensure the validity of the instruments used in the model. To check the endogeneity in the model, the Durbin-Wu-Hausman test and the Wooldridge test for strict exogeneity can be employed. We report the Durbin-Wu-Hausman (DWH) test results because it is the most widely used test for endogeneity. DWH p-value is related to the null hypothesis that variables are exogenous. If the DWH p-value is less than 0.1, we can reject the null hypothesis and conclude that variables are endogenous. Therefore, the 2SLS estimates are more appropriate than the OLS estimates. If the DWH p-value is higher than 0.1, we cannot reject the null hypothesis. Still, providing 2SLS estimates can be appropriate.

Due to the unique characteristics of each manufacturing sector, the labor productivity, and the degree of integration, we expect different mechanisms and findings for each sector depending on the trading partner. We categorize our sample according to partner country and sector levels (such as developed/developing partner countries and high-tech-manufacturing and low-tech sectors) to solve the heterogeneity issue.

We follow the idea of previous studies (Autor et al., 2013; Constantinescu et al., 2019; Veeramani and Dhir, 2022). We instrument the GVC participation of the Turkish manufacturing sector with the average GVC participation of similar three countries with the USA, Germany, and Japan. The similarity is based on the GDP per capita in 1995. These similar countries are Russia, Estonia, and Mexico. The reason for the selection of specific destination countries such as the USA, Germany, and Japan are that there is a technological asymmetry between these countries and “factory” economies like Türkiye. The similarity argument is based on the fact that we can reduce the risk of violation of the exclusion restriction through many characteristics such as infrastructure and human capital when we use GDP per capita.¹

¹ As a robustness check, we also assure that there are no free trade agreements between Türkiye and these similar countries. In that case, similar countries are Russia, India, and China. When we use these countries to compute instrumental variables, we reach similar results and the same conclusion. The results are available upon the request.

4. RESULTS

Tables 2 and 3 present the OLS and 2SLS estimation results for the Turkish manufacturing sectors, respectively. Panel I of Table 2 presents the estimations for the specification with total GVC participation. While forward GVC participation is more likely to increase the labor productivity of Turkish manufacturing sectors regardless of the income levels of trading partners, backward GVC participation is more likely to rise the labor productivity of Turkish manufacturing sectors if the trading partner is from developing countries. Panels II and III of Table 2 provide the estimations for the specification with simple and complex GVC participation, respectively. We observe similar results for both simple and complex GVC participation. Even though R&D intensity is significantly positive in some specifications, we cannot reach a strong conclusion regarding this measure.

Table 3 presents the 2SLS estimation results. It is important to note that our instruments are valid, especially for forward GVC participation by looking at the F statistics of the model and the coefficients of instrumental variables in the first stage. Contrary to the OLS results, we cannot find any significant impact of total, simple, and complex GVC participation on the labor productivity of Turkish manufacturing sectors. Given the heterogeneity in our sample, we investigate the reason for this insignificant impact in detailed sub-samples by dividing our sample into high and low-tech sectors. Furthermore, there is no significant effect of R&D intensity on labor productivity. This may be related to low variation in R&D intensity within each manufacturing sector.

Table 2. Labor productivity and global value chains: The OLS estimates

	<i>All partners</i>		<i>Developed partners</i>		<i>Developing partners</i>	
<i>Panel I</i>	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Forward GVC	0.042*		0.067**		0.055**	
	(0.021)		(0.032)		(0.020)	
Backward GVC		0.047*		-0.049		0.066***
		(0.024)		(0.037)		(0.010)
R&D (% in VA)	0.020	0.030*	0.008	0.039**	0.036*	0.050***
	(0.023)	(0.016)	(0.026)	(0.016)	(0.020)	(0.012)
Constant	9.608***	9.287***	9.562***	10.419***	9.848***	9.555***
	(0.283)	(0.349)	(0.312)	(0.530)	(0.268)	(0.213)
Observations	368	376	369	368	376	376
R-squared	0.271	0.423	0.269	0.211	0.245	0.586
<i>Panel II</i>	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Simple forward GVC	0.056**		0.123*		0.067**	
	(0.023)		(0.065)		(0.026)	
Simple backward GVC		0.064		-0.130*		0.100***
		(0.047)		(0.071)		(0.020)
R&D (% in VA)	0.027	0.041**	0.008	0.033*	0.037*	0.055***
	(0.020)	(0.017)	(0.026)	(0.017)	(0.019)	(0.014)
Constant	9.623***	9.303***	9.439***	10.773***	9.856***	9.500***
	(0.288)	(0.459)	(0.353)	(0.646)	(0.267)	(0.221)
Observations	376	376	371	367	376	376
R-squared	0.266	0.351	0.273	0.298	0.233	0.547
<i>Panel III</i>	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Complex forward GVC	0.083***		0.123**		0.232**	
	(0.025)		(0.046)		(0.081)	
Complex backward GVC		0.084*		0.001		0.151***
		(0.044)		(0.041)		(0.032)
R&D (% in VA)	0.017	0.014	0.012	0.024	0.028	0.037***
	(0.022)	(0.021)	(0.023)	(0.021)	(0.020)	(0.012)
Constant	9.791***	9.639***	9.762***	10.002***	9.860***	9.747***
	(0.282)	(0.239)	(0.288)	(0.325)	(0.269)	(0.223)
Observations	376	376	368	368	376	376
R-squared	0.268	0.392	0.252	0.180	0.270	0.549

Notes: Clustered robust standard errors in parentheses. Year dummies are included. *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1.

Table 3. Labor productivity and global value chains: The 2SLS estimates

	<i>All partners</i>				<i>Developed partners</i>				<i>Developing partners</i>			
	<i>First</i>	<i>Second</i>	<i>First</i>	<i>Second</i>	<i>First</i>	<i>Second</i>	<i>First</i>	<i>Second</i>	<i>First</i>	<i>Second</i>	<i>First</i>	<i>Second</i>
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
Panel I												
IV_Forward GVC	1.173*** (0.221)				0.577*** (0.140)				0.636*** (0.107)			
Forward GVC		0.002 (0.028)				-0.006 (0.055)				0.009 (0.048)		
IV_Backward GVC			0.453 (1.081)				1.130*** (0.196)				-0.706 (0.992)	
Backward GVC				-0.135 (0.489)				-0.055 (0.087)				0.087 (0.065)
R&D (% in VA)	0.105 (0.116)	0.028 (0.024)	-0.211 (0.203)	0.013 (0.082)	0.266*** (0.082)	0.030 (0.033)	-0.080 (0.088)	0.037** (0.015)	-0.175*** (0.051)	0.029 (0.020)	-0.120 (0.166)	0.052*** (0.019)
Constant	-1.326 (2.144)	9.978*** (0.247)	12.160 (10.039)	12.081 (8.044)	1.300 (1.320)	10.041*** (0.289)	0.205 (1.664)	10.460*** (0.976)	-2.969** (1.202)	9.975*** (0.229)	12.175 (9.075)	9.388*** (0.451)
Observations	364	364	368	368	363	363	360	360	368	368	368	368
R-squared	0.548	0.198	0.152		0.488	0.184	0.570	0.211	0.625	0.207	0.181	0.559
IV F-stat		28.303		0.176		17.019		33.210		35.230		0.506
DWH pval		0.046		0.255		0.078		0.913		0.176		0.803
Panel II	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
IV_Simple forward GVC	0.973*** (0.243)				0.351*** (0.117)				0.592*** (0.143)			
Simple forward GVC		-0.006 (0.045)				-0.040 (0.127)				-0.010 (0.074)		
IV_Simple backward GVC			-0.330 (1.090)				0.824*** (0.223)				-1.222 (1.048)	
Simple backward GVC				0.272 (0.515)				-0.103 (0.207)				0.073 (0.094)
R&D (% in VA)	-0.026 (0.087)	0.027 (0.022)	-0.207 (0.139)	0.083 (0.101)	0.145** (0.051)	0.034 (0.036)	0.051 (0.059)	0.032*** (0.010)	-0.168*** (0.047)	0.026 (0.021)	-0.256* (0.125)	0.046** (0.021)
Constant	0.096 (1.808)	10.044*** (0.292)	12.335* (5.881)	7.044 (5.622)	2.174** (0.890)	10.183*** (0.485)	2.310* (1.101)	10.612*** (1.430)	-1.883 (1.150)	10.024*** (0.236)	10.319* (5.626)	9.636*** (0.408)
Observations	368	368	368	368	365	365	359	359	368	368	368	368
R-squared	0.489	0.177	0.110		0.410	0.144	0.238	0.300	0.558	0.180	0.206	0.518
IV F-stat		16.050		0.0918		8.975		13.694		17.262		1.361
DWH pval		0.044		0.605		0.117		0.881		0.146		0.754

Table 3. (Continued)

	<i>All partners</i>				<i>Developed partners</i>				<i>Developing partners</i>			
	<i>First</i>	<i>Second</i>	<i>First</i>	<i>Second</i>	<i>First</i>	<i>Second</i>	<i>First</i>	<i>Second</i>	<i>First</i>	<i>Second</i>	<i>First</i>	<i>Second</i>
Panel III	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
IV_Complex forward GVC	2.162*** (0.196)				1.327*** (0.126)				0.750*** (0.080)			
Complex forward GVC		0.060 (0.041)				0.084 (0.078)				0.172 (0.119)		
IV_Complex backward GVC			0.921* (0.476)				0.728*** (0.122)				0.120 (0.393)	
Complex backward GVC				-0.063 (0.119)				-0.095 (0.125)				-0.486 (2.122)
R&D (% in VA)	0.096 (0.065)	0.019 (0.023)	-0.174 (0.105)	0.032 (0.019)	0.105** (0.041)	0.017 (0.028)	-0.046 (0.044)	0.040** (0.016)	-0.014 (0.019)	0.027 (0.020)	-0.125* (0.071)	-0.018 (0.247)
Constant	-2.154** (0.771)	9.850*** (0.225)	1.308 (2.260)	10.257*** (0.755)	-0.937* (0.461)	9.837*** (0.210)	0.277 (0.630)	10.238*** (0.558)	-1.024*** (0.269)	9.897*** (0.233)	1.297 (1.777)	10.803*** (3.990)
Observations	368	368	368	368	362	362	360	360	368	368	368	368
R-squared	0.683	0.256	0.324		0.624	0.243	0.600	0.130	0.718	0.262	0.204	
IV F-stat		121.067		3.748		110.196		35.649		88.001		0.093
DWH pval		0.388		0.061		0.542		0.358		0.391		0.160

Notes: Clustered robust standard errors in parentheses. Year dummies are included. *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$. Depending on the studies (Autor et al., 2013; Constantinescu et al., 2019; Veeramani 2022), we instrument the GVC participation of the Turkish manufacturing sector with the average GVC participation of similar three countries with the USA, Germany, and Japan. The similarity is based on GDP per capita in 1995. These similar countries are Russia, Estonia, and Mexico. In the method of 2SLS, the F statistics should be higher than the threshold level of 10 to ensure the validity of the instrument used in the model. DWH p-value is related to the null hypothesis that variables are exogenous. If the DWH p-value is less than 0.1, we can reject the null hypothesis and conclude that variables are endogenous. Therefore, the 2SLS estimates are more appropriate than the OLS estimates. If the DWH p-value is more than 0.1, we cannot reject the null hypothesis. Still, providing 2SLS estimates can be appropriate.

Given the sectoral heterogeneity in our sample, we divide our sample into high and low-tech sectors. Panel I of Table 4 suggests that forward GVC participation is a significant driver of labor productivity. In other words, participating in forward GVC enhances the labor productivity of high-tech manufacturing sectors, especially if Türkiye trades with developing countries. These results can be explained by the productivity gains through forward GVC participation in the form of knowledge spillovers, strong competition in the international market, hyper-specialization, and scale economies (Baldwin and Gu, 2003; Criscuolo and Timmis, 2017; De Marchi et al., 2018). While we observe a similar pattern for the simple forward GVC participation, participation in complex forward GVC with developed economies also enhances the labor productivity of Turkish manufacturing sectors. Turkish high-tech manufacturing sectors can benefit from experiences in advanced organizational environments, an obligation to adopt international standards, qualification and certification of processes, and better managerial skills through complex forward GVC participation with developed countries. Overall, we strongly argue that producing advanced manufacturing products that can be processed in the trading partner and resold to another third country promotes sectoral labor productivity.

Table 5 presents the results for low-tech sectors. Contrary to the high-tech manufacturing sectors, we cannot find any evidence for the significant impacts of GVC participation on the labor productivity of low-tech sectors. In addition, R&D intensity has no robust and significant impact on labor productivity.

Table 4. Labor productivity and global value chains - High-tech sectors: The 2SLS estimates

	<i>All partners</i>				<i>Developed partners</i>				<i>Developing partners</i>			
	<i>First</i>	<i>Second</i>	<i>First</i>	<i>Second</i>	<i>First</i>	<i>Second</i>	<i>First</i>	<i>Second</i>	<i>First</i>	<i>Second</i>	<i>First</i>	<i>Second</i>
Panel I	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
IV_Forward GVC	1.350*** (0.225)				0.706*** (0.131)				0.724*** (0.128)			
Forward GVC		0.033* (0.018)				0.049 (0.033)				0.063** (0.027)		
IV_Backward GVC			1.449*** (0.341)				1.119*** (0.162)				0.324 (0.231)	
Backward GVC				0.009 (0.028)				0.011 (0.035)				0.039 (0.128)
R&D (% in VA)	0.024 (0.161)	0.039*** (0.007)	-0.442*** (0.104)	0.028* (0.015)	0.189* (0.095)	0.032*** (0.010)	-0.155** (0.068)	0.025** (0.012)	-0.183** (0.077)	0.051*** (0.010)	-0.278*** (0.072)	0.035 (0.034)
Constant	-2.715 (3.153)	9.574*** (0.249)	3.928 (2.554)	9.744*** (0.562)	0.374 (1.934)	9.562*** (0.277)	1.187 (1.224)	9.769*** (0.490)	-3.820* (1.763)	9.716*** (0.216)	2.787 (2.292)	9.669*** (0.761)
Observations	220	220	224	224	219	219	216	216	224	224	224	224
R-squared	0.558	0.607	0.545	0.396	0.498	0.605	0.570	0.363	0.612	0.562	0.625	0.388
IV F-stat		36.040		18.095		28.920		47.794		31.829		1.960
DWH pval		0.651		0.345		0.652		0.015		0.845		0.790
Panel II	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
IV_Simple forward GVC	1.111*** (0.287)				0.412*** (0.115)				0.665*** (0.208)			
Simple forward GVC		0.047* (0.027)				0.101 (0.085)				0.078* (0.040)		
IV_Simple backward GVC			0.440 (0.781)				0.584 (0.405)				-0.226 (0.372)	
Simple backward GVC				0.183 (0.446)				0.154 (0.217)				-0.356 (0.438)
R&D (% in VA)	-0.087 (0.125)	0.043*** (0.008)	-0.187* (0.092)	0.064 (0.090)	0.096 (0.070)	0.030*** (0.011)	-0.021 (0.068)	0.032 (0.024)	-0.180** (0.069)	0.053*** (0.013)	-0.161*** (0.036)	-0.028 (0.075)
Constant	-0.588 (2.841)	9.566*** (0.270)	9.297** (3.733)	7.851 (5.091)	1.986 (1.382)	9.411*** (0.444)	4.530* (2.082)	8.807*** (1.661)	-2.328 (1.919)	9.720*** (0.227)	5.158** (1.937)	11.384*** (1.631)
Observations	224	224	226	226	221	221	217	217	224	224	226	226
R-squared	0.491	0.588	0.196		0.397	0.572	0.173		0.530	0.555	0.557	0.258
IV F-stat		14.995		0.318		12.801		2.077		10.243		0.370
DWH pval		0.777		0.122		0.936		0.032		0.861		0.539

Table 4. (Continued)

	<i>All partners</i>				<i>Developed partners</i>				<i>Developing partners</i>			
	<i>First</i>	<i>Second</i>	<i>First</i>	<i>Second</i>	<i>First</i>	<i>Second</i>	<i>First</i>	<i>Second</i>	<i>First</i>	<i>Second</i>	<i>First</i>	<i>Second</i>
Panel III	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
IV_Complex forward GVC	2.408*** (0.193)				1.496*** (0.138)				0.845*** (0.089)			
Complex forward GVC		0.087*** (0.028)				0.129*** (0.050)				0.248*** (0.081)		
IV_Complex backward GVC			1.150*** (0.263)				0.653*** (0.131)				0.403*** (0.125)	
Complex backward GVC				0.002 (0.031)				-0.009 (0.054)				0.007 (0.088)
R&D (% in VA)	0.067 (0.067)	0.033*** (0.008)	-0.225** (0.099)	0.031** (0.013)	0.080* (0.043)	0.029*** (0.010)	-0.063 (0.047)	0.031** (0.013)	-0.017 (0.022)	0.043*** (0.008)	-0.155** (0.059)	0.031* (0.018)
Constant	-2.755*** (0.767)	9.667*** (0.198)	0.054 (1.916)	9.875*** (0.280)	-1.279** (0.530)	9.632*** (0.203)	0.663 (0.919)	9.919*** (0.300)	-1.307*** (0.222)	9.751*** (0.198)	-0.198 (0.871)	9.877*** (0.268)
Observations	224	224	224	224	218	218	216	216	224	224	224	224
R-squared	0.707	0.610	0.560	0.409	0.629	0.606	0.596	0.395	0.758	0.581	0.558	0.411
IV F-stat		156.170		19.143		117.219		24.712		90.891		10.410
DWH pval		0.900		0.503		0.913		0.550		0.699		0.589

Notes: Clustered robust standard errors in parentheses. Year dummies are included. *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1. See Notes in Table 3 for detailed explanations regarding instrumental variables.

Table 5. Labor productivity and global value chains - Low-tech sectors: The 2SLS estimates

	<i>All partners</i>				<i>Developed partners</i>				<i>Developing partners</i>			
	<i>First</i>	<i>Second</i>	<i>First</i>	<i>Second</i>	<i>First</i>	<i>Second</i>	<i>First</i>	<i>Second</i>	<i>First</i>	<i>Second</i>	<i>First</i>	<i>Second</i>
Panel I	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
IV_Forward GVC	0.818 (0.434)				0.324 (0.278)				0.494** (0.159)			
Forward GVC		-0.034 (0.111)				-0.087 (0.296)				-0.057 (0.177)		
IV_Backward GVC			-1.463 (2.129)				0.659 (0.499)				-2.123 (1.958)	
Backward GVC				0.132 (0.100)				-0.293 (0.324)				0.091** (0.044)
R&D (% in VA)	1.425 (1.659)	-0.236 (0.631)	0.413 (2.520)	-0.145 (0.190)	1.462 (1.150)	-0.158 (0.929)	-0.112 (1.095)	-0.124 (0.289)	-0.037 (0.547)	-0.287 (0.459)	0.525 (2.394)	-0.139 (0.110)
Constant	1.188 (2.790)	10.379*** (0.428)	22.911 (16.181)	8.250*** (1.412)	2.999 (2.119)	10.599*** (1.157)	2.023 (2.978)	11.864*** (2.370)	-1.811* (0.732)	10.236*** (0.286)	20.888 (14.958)	9.372*** (0.354)
Observations	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
R-squared	0.568		0.146	0.038	0.420		0.295		0.705	0.020	0.172	0.709
IV F-stat		3.547		0.472		1.356		1.748		9.717		1.175
DWH pval		0.073		0.543		0.176		0.576		0.084		0.780
Panel II	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
IV_Simple forward GVC	0.691 (0.351)				0.204 (0.223)				0.487** (0.132)			
Simple forward GVC		-0.075 (0.167)				-0.254 (0.665)				-0.106 (0.222)		
IV_Simple backward GVC			-1.235 (1.911)				0.863* (0.415)				-2.098 (1.836)	
Simple backward GVC				0.177 (0.110)				-0.253 (0.326)				0.104 (0.066)
R&D (% in VA)	0.564 (0.994)	-0.223 (0.560)	0.827 (1.200)	-0.261 (0.191)	0.729 (0.722)	-0.080 (1.016)	-0.132 (0.631)	-0.149 (0.185)	-0.165 (0.314)	-0.283 (0.414)	0.960 (0.966)	-0.215* (0.126)
Constant	1.473 (1.669)	10.538*** (0.564)	14.176 (9.218)	8.352*** (1.208)	2.794* (1.351)	11.137*** (2.206)	0.903 (1.738)	11.091*** (1.768)	-1.321** (0.491)	10.287*** (0.331)	13.273 (8.727)	9.478*** (0.341)
Observations	144	144	142	142	144	144	142	142	144	144	142	142
R-squared	0.545		0.136	0.404	0.374		0.360	0.183	0.690		0.193	0.753
IV F-stat		3.867		0.418		0.837		4.326		13.627		1.307
DWH pval		0.022		0.666		0.138		0.816		0.064		0.867

Table 5. (Continued)

	<i>All partners</i>				<i>Developed partners</i>				<i>Developing partners</i>			
	<i>First</i>	<i>Second</i>	<i>First</i>	<i>Second</i>	<i>First</i>	<i>Second</i>	<i>First</i>	<i>Second</i>	<i>First</i>	<i>Second</i>	<i>First</i>	<i>Second</i>
Panel III	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
IV_Complex forward GVC	1.290*				0.793*				0.497			
	(0.596)				(0.345)				(0.258)			
Complex forward GVC		0.057				0.093				0.148		
		(0.298)				(0.487)				(0.768)		
IV_Complex backward GVC			-0.872				0.441				-1.313	
			(2.715)				(0.619)				(2.224)	
Complex backward GVC				0.611				-1.207				0.406
				(1.294)				(1.816)				(0.369)
R&D (% in VA)	0.835	-0.413	-0.341	0.230	0.699*	-0.430	-0.081	-0.075	0.137	-0.385	-0.260	0.128
	(0.546)	(0.679)	(1.382)	(0.971)	(0.331)	(0.768)	(0.476)	(0.384)	(0.219)	(0.542)	(1.165)	(0.363)
Constant	-0.417	10.002***	6.379	7.565	0.033	9.975***	0.983	12.650***	-0.450	10.045***	5.397	9.274***
	(1.225)	(0.297)	(8.039)	(5.128)	(0.750)	(0.382)	(1.667)	(4.302)	(0.488)	(0.286)	(6.572)	(0.781)
Observations	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
R-squared	0.633	0.153	0.168		0.622	0.149	0.297		0.656	0.158	0.168	
IV F-stat		4.690		0.103		5.292		0.509		3.700		0.348
DWH pval		0.423		0.167		0.421		0.288		0.479		0.210

Notes: Clustered robust standard errors in parentheses. Year dummies are included. *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1. See Notes in Table 3 for detailed explanations regarding instrumental variables.

5. CONCLUSION

Considering the relevance of labor productivity for countries and overwhelmingly integrated world economies, this paper aims to evaluate the determinants of labor productivity of Turkish manufacturing sectors by controlling the GVC participation and R&D expenditures over the period of 1995-2018. It is worthwhile to note that our estimates substantially differ from the OLS and 2SLS estimates, which implies the importance of using instrumental variables to gauge the impacts of GVCs on productivity.

Our IV estimation results clearly show that when high-tech Turkish manufacturing sectors trade with developing countries, simple forward GVC participation increases labor productivity, while complex forward GVC participation increases productivity regardless of the income levels of trading partners. Backward GVC participation and sectoral R&D intensity seem not to have a significant effect on labor productivity. These key results provide strong evidence of the importance of deeper engagement in forward GVCs for the productivity of high-tech sectors. For low-tech sectors, we do not find any evidence for the impact of GVC participation and R&D intensity on the productivity of these sectors. This may be related to the inadequate technological capacity or infrastructure of the low-tech sector to benefit from participating in forward GVCs as well as the lower variation in forward GVC participation in low-tech manufacturing sectors, which may impede to grasp the true impact.

Overall, our results have important policy recommendations regarding the labor productivity of Turkish manufacturing. Given the strong evidence for the beneficial effects of GVC participation on the labor productivity of high-tech sectors, the importance of effective integration in the global supply chains and cross-border trade operations becomes more evident. Given the strong heterogeneity in the sectors and trading partners, specific sectoral policies should be targeted to benefit the productivity gains of global value chains.

Acknowledgements

The third author acknowledges support from the Turkish Academy of Sciences.

Author Contributions

Pinar Tat: Literature review, Conceptualization, Methodology, Data Curation, Analysis, Writing-original draft *Abdullah Altun*: Conceptualization, Methodology, Writing-review and editing *Halit Yanikkaya*: Conceptualization, Methodology, Writing-review and editing

Conflict of Interest

No potential conflict of interest was declared by the authors.

Funding

Any specific grant has not been received from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Compliance with Ethical Standards

It was declared by the authors that the tools and methods used in the study do not require the permission of the Ethics Committee.

Ethical Statement

It was declared by the author(s) that scientific and ethical principles have been followed in this study and all the sources used have been properly cited.



The authors own the copyright of their works published in Journal of Productivity and their works are published under the CC BY-NC 4.0 license.

REFERENCES

- Altun, A., Turan, T. and Yanıkkaya, H. (2023). "Do Turkish Firms Benefit from GVC Participation?", *International Journal of Emerging Markets*. DOI: 10.1108/IJOEM-02-2022-0334
- Amiti, M. and Konings, J. (2007). "Trade Liberalization, Intermediate Inputs, and Productivity: Evidence from Indonesia", *American Economic Review*, **97**(5), 1611-1638.
- Antrás, P., De Gortari, A. and Itskhoki, O. (2017). "Globalization, Inequality and Welfare", *Journal of International Economics*, **108**, 387-412.
- Autor, D.H., Dorn, D. and Hanson, G.H. (2013). "The China Syndrome: Local Labor Market Effects of Import Competition in the United States", *American Economic Review*, **103**(6), 2121-2168.
- Baldwin, J. and Gu, W. (2003). "Export Market Participation and Productivity Performance in Canadian Manufacturing", *Canadian Journal of Economics*, **36**, 634-657.
- Constantinescu, C., Mattoo, A. and Ruta, M. (2019). "Does Vertical Specialisation Increase Productivity?", *The World Economy*, **42**(8), 2385-2402.
- Criscuolo, C. and Timmis, J. (2017). "The Relationship between Global Value Chains and Productivity", *International Productivity Monitor*, **32**, 61-83.
- Dalgıç, B., Fazlıoğlu, B. and Karaoğlan, D. (2015). "Entry to Foreign Markets and Productivity: Evidence from a Matched Sample of Turkish Manufacturing Firms", *The Journal of International Trade & Economic Development*, **24**(5), 638-659.
- De Marchi, V., Giuliani, E. and Rabellotti, R. (2018). "Do Global Value Chains Offer Developing Countries Learning and Innovation Opportunities?", *The European Journal of Development Research*, **30**(3), 389-407.
- Filiztekin, A. (2000). "Openness and Productivity Growth in Turkish Manufacturing", *Ekonomi-tek*, **8**(2), 1-23.
- Formai, S. and Caffarelli, F.V. (2015). "Quantifying the Productivity Effects of Global Value Chains" (No. 1564). Faculty of Economics, University of Cambridge.
- Galindo-Rueda, F. and Verger, F. (2016). "OECD Taxonomy of Economic Activities Based on R&D Intensity", OECD Science, Technology and Industry Working Papers 2016/04.
- Grossman, G.M. and Rossi-Hansberg, E. (2008). "Trading Tasks: A Simple Theory of Offshoring", *American Economic Review*, **98**(5), 1978-1997.
- Halpern, L., Koren, M. and Szeidl, A. (2015). "Imported Inputs and Productivity", *American Economic Review*, **105**(12), 3660-3703.
- Jangam, B.P. (2021). "Global Value Chain Embeddedness, Labour Productivity and Employment in the Asia-Pacific Countries", *Studies in Economics and Finance*, **38**(2), 339-360.
- Jona-Lasinio, C. and Meliciani, V. (2019). "Global Value Chains and Productivity Growth in Advanced Economies: Does Intangible Capital Matter?", *International Productivity Monitor*, **36**, 53-78.
- Kılıçaslan, Y., Aytun, U. and Meçik, O. (2021). "Global Value Chain Integration and Productivity: The Case of Turkish Manufacturing Firms", *Middle East Development Journal*, **13**(1), 150-171.
- Koopman, R., Wang, Z. and Wei, S.J. (2014). "Tracing Value-Added and Double Counting in Gross Exports", *American Economic Review*, **104**(2), 459-94.
- Kummritz, V. (2016). "Do Global Value Chains Cause Industrial Development?", The Graduate Institute of International and Development Studies, Centre for Trade and Economic Integration.
- Organization for Economic Co-operation and Development (OECD). (2021a). "OECD Inter-Country Input-Output Database", <http://oe.cd/icio>, (Accessed: 15.03.2023).
- Organization for Economic Co-operation and Development (OECD). (2021b). "Analytical Business Enterprise Research and Development (ANBERD) Database", <http://oe.cd/anberd>, (Accessed: 15.03.2023).
- Organization for Economic Co-operation and Development (OECD). (2021c). "Trade in Employment Database", https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=TIM_2019_MAIN, (Accessed: 10.05.2023).
- Organization for Economic Co-operation and Development (OECD). (2021d). "Guide to OECD's Trade in Value-added Indicators", 2021 Edition, <https://www.oecd.org/publications/guide-to-oecd-tiva-indicators-2021-edition-58aa22b1-en.htm>, (Accessed: 10.05.2023).
- Ozler, S. and Yilmaz, K. (2009). "Productivity Response to Reduction in Trade Barriers: Evidence from Turkish Manufacturing Plants", *Review of World Economics*, **145**, 339-360.
- Pahl, S. and Timmer, M.P. (2020). "Do Global Value Chains Enhance Economic Upgrading? A Long View", *The Journal of Development Studies*, **56**(9), 1683-1705.

- Taglioni, D. and Winkler, D. (2016). "Making Global Value Chains Work for Development", The World Bank.
- Taymaz, E. and Yilmaz, K. (2006). "Productivity and Trade Orientation: Turkish Manufacturing Industry Before and After the Customs Union", Munich Personal RePEc Archive.
- University of International Business and Economics (UIBE) GVC Index Team. (2017). "Data Files Structure of the UIBE GVC Index System", <http://139.129.209.66:8000/d/daedafb854/>, (Accessed: 15.03.2023).
- University of International Business and Economics (UIBE). (2017a). "Data Files Structure of the UIBE GVC Index System", https://v2.fangcloud.com/share/a26979974d538c7e5aeb24b55a?folder_id=63000172546&lang=en, (Accessed: 15.03.2023).
- University of International Business and Economics (UIBE). (2017b). "UIBE Global Value Chain Indexes System – Concept Note", https://v2.fangcloud.com/share/a26979974d538c7e5aeb24b55a?folder_id=63000172546&lang=en, (Accessed: 15.03.2023).
- Veeramani, C. and Dhir, G. (2022). "Do Developing Countries Gain by Participating in Global Value Chains? Evidence from India", *Review of World Economics*, 158(4), 1011-1042.
- Wang, Z., Wei, S. J., Yu, X. and Zhu, K. (2017). "Measures of Participation in Global Value Chains and Global Business Cycles" (No. w23222), National Bureau of Economic Research.
- World Bank. (2020). "World Bank Country and Lending Groups", <https://datahelpdesk.worldbank.org/knowledgebase/articles/906519-world-bank-country-and-lending-groups> (Accessed: 15.03.2023).

APPENDIX

Table A1. Sectors

<i>ISIC Rev.4</i>	<i>Sectors</i>	<i>Technology</i>
D10T12	Food products, beverages and tobacco	Low-tech
D13T15	Textiles, textile products, leather and footwear	Low-tech
D16	Wood and products of wood and cork	Low-tech
D17T18	Paper products and printing	Low-tech
D19	Coke and refined petroleum products	Low-tech
D20	Chemical and chemical products	High-tech
D21	Pharmaceuticals, medicinal chemical and botanical products	High-tech
D22	Rubber and plastics products	High-tech
D23	Other non-metallic mineral products	High-tech
D24	Basic metals	High-tech
D25	Fabricated metal products	Low-tech
D26	Computer, electronic and optical equipment	High-tech
D27	Electrical equipment	High-tech
D28	Machinery and equipment, nec	High-tech
D29	Motor vehicles, trailers and semi-trailers	High-tech
D30	Other transport equipment	High-tech
D31T33	Manufacturing nec; repair and installation of machinery and equipment	High-tech

Notes: The sectors are in the OECD's classification based on ISIC. Rev. 4. We also employ the technology classification of OECD based on the R&D intensity of sectors (Galindo-Rueda and Verger, 2016). We categorize sectors mainly into two groups high and low technology.

Toplam Ekipman Etkinliğine Etki Eden Faktörlerin Makine Öğrenim Yöntemleri ile Analizi

Özgül Vupa Çilengiroğlu¹ , İlke Genç² 

ÖZET

Amaç: Üretim sektöründeki bir firmanın 2018-2019 yılı orijinal verilerinden türetilmiş sıralı ölçekteki Toplam Ekipman Etkinliği (TEE) puanı üzerinde etkili olan değişkenlerin makine öğrenim algoritmaları ile modellenmesi, yorumlanması ve model performanslarının karşılaştırılması çalışmanın temel amacıdır.

Yöntem: TEE puanının modellenmesinde karar ağaçları (CART, CHAID), lojistik regresyon (LogR) ve yapay sinir ağları (YSA) kullanılmıştır. Kurulan modellerin performans değerleri “duyarlılık”, “seçicilik”, “kesinlik” ve “doğruluk” kriterlerine göre hesaplanmıştır. Modelleri yorumlarken karar ağaçları ve YSA sonuçları için yüzdelerden, LogR için odds oranından yararlanılmıştır.

Bulgular: Modellerde TEE puanı üzerinde “saat”, “üretim”, “tecrübe” ve “kayıp metre” değişkenleri incelenmiştir. Performans karşılaştırmasında en iyi sonuç veren algoritmanın sıralı LogR olduğu ve bu modele göre üretimin düşük ve çalışanlarının daha az tecrübeli olduğu firmalarda daha “düşük” TEE puanı elde edilirken, kayıp metresi daha az olan firmalarda daha “yüksek” TEE puanı alma şanslarının olduğu saptanmıştır.

Özgünlük: Literatürde sürekli olarak modellenen TEE puanının kategorik hale getirilerek sınıflar arasındaki farklılığın belirlenmesiyle firmaların kendi konumlarını belirlemesi sağlanmıştır. Böylece firmalar kategorisini belirleyip seçilen modeldeki önemlilik sırasındaki faktörlerini değiştirerek bir üst kategoriye daha hızlı çıkabilecektir. Literatürde kategorik olan TEE puanını makine öğrenim algoritmaları ile çözümleyen modellerin olmaması bu çalışmanın özgünlüğü olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Toplam Ekipman Etkinliği, Karar Ağaçları, Sıralı Lojistik Regresyon, Yapay Sinir Ağları.

JEL Kodları: C02, C35, C44.

Analysis of the Factors Affecting the Total Equipment Efficiency with Machine Learning Methods

ABSTRACT

Purpose: The main purpose of the study was determined as modeling, interpreting and comparing the model performances of the variables with machine learning algorithms. Based on the original data in 2018-2019 from a company operating in the manufacturing sector, variables that are effective on the Overall Equipment Effectiveness (OEE) score in the ordinal scale obtained by the simulation study are used.

Methodology: Decision trees (CART, CHAID), logistic regression (LogR) and artificial neural networks (ANN) were used in modeling the OEE score. The performance values of the established models were calculated according to the criteria of “sensitivity”, “specificity”, “precision” and “accuracy”. While interpreting the models, percentages were used for decision trees and ANN results, and odds ratio was used for LogR.

Findings: In the models, “hour”, “production”, “experience” and “lost meter” variables were examined on OEE score. By comparing the performance criteria, it was determined that the algorithm that gave the best results was ordinal LogR. It has been determined that those with low production and less experience have a “lower” OEE score, and those with less lost meters have a higher chance of getting a “higher” OEE score.

Originality: OEE, which is modeled as a continuous in the literature, was made categorical and the companies were able to determine their own positions by determining the difference between the classes. Thus, companies will be able to move up to the next category faster by determining their category and changing the variables in order of importance in the selected model. The lack of models in the literature that analyze categorical OEE with machine learning has been determined as the originality of this study.

Keywords: Overall Equipment Effectiveness, Decision Trees, Ordinal Logistic Regression, Artificial Neural Networks.

JEL Codes: C02, C35, C44.

¹ Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, İzmir, Türkiye

² Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Veri Bilimi Yüksek Lisans Programı, İzmir, Türkiye

Sorumlu Yazar-Corresponding Author: Özgül Vupa Çilengiroğlu, ozgul.vupa@deu.edu.tr

DOI: 10.51551/verimlilik.1266852

Araştırma Makalesi / Research Article | Geliş / Submitted: 17.03.2023 | Kabul / Accepted: 02.03.2024

Atıf/Cite: Vupa Çilengiroğlu, Ö. ve Genç, İ. (2024). “Toplam Ekipman Etkinliğine Etki Eden Faktörlerin Makine Öğrenim Yöntemleri ile Analizi”, *Verimlilik Dergisi*, 58(2), 171-184.

EXTENDED ABSTRACT

Today, the importance and necessity of machine learning algorithms in collecting, storing, processing, analyzing and interpreting data is indisputable. Machine learning is used in the manufacturing industry to help companies compete, gain superiority, reduce costs or be more efficient. However, in the production sector, some criteria such as Overall Equipment Effectiveness (OEE), which is shown on a ratio scale and as a percentage, are used.

The main motivation of this study is to convert the OEE score, which is on a ratio scale, into an ordinal scale (low, normal, high) and model it with machine learning algorithms, interpret it and compare model performances. In this way, by determining the difference between classes, companies will be enabled to determine their own positions. Thus, companies will be able to move up to the next category faster by determining their category and changing the factors in the order of importance in the selected model. This system is especially important for companies to determine their priorities in terms of success and financial situation in the sector. The absence of models in the literature that analyze the categorical OEE score with machine learning algorithms was determined as the originality of this study.

The data is augmented from original data (n=215) of a company in the plastic production sector in İzmir, Türkiye, between 2018-2019. The derived data (n=700) includes the variables "production (meters)", "lost meters (meters)", "experience (years)", "season", "day" and "downtime (hours)". Performance comparisons of the algorithms (80% train and 20% test) were made with repeated measurements and criteria such as "sensitivity", "specificity", "precision" and "accuracy". In ordinal logistic regression, interpretations are made in terms of odds ratio, while performance comparisons of decision trees, ANNs and models are expressed as percentages.

In CART and CHAID algorithms, the effects of "hour" and "lost meter" variables on the OEE score were found to be negative, while the effects of "production" and "experience" variables on this score were found to be positive.

Since the OEE score is in three different categories in ordinal logistic regression models, two different logistic regression models were established. In the first model, the low category of OEE was taken as reference, and in the second model, the high category of OEE was taken as reference. Accordingly, in the first model, it was determined by the odds ratio that the chances of getting "normal" and "high" OEE scores were higher in cases where production was high, lost meters were low and work experience was high. Likewise, thanks to the second model, this interpretation was made for a "low" OEE score, similar and compatible with the first model.

In the established single and multi-layer ANN models, the activation function was determined as hyperbolic tangent in the hidden layer and softmax in the output layer. When the importance of the variables on the OEE scores was examined, it was determined that the most important variable in the ANN model was "production".

In comparing model performances, logistic regression and decision tree (CHAID) were found to be the best models for precision, logistic regression and ANN for sensitivity, and logistic regression for accuracy and specificity. Considering these performances, it was determined that logistic regression gave the best results.

Different machine learning algorithms can be used depending on industries. In this study, the category and interpretation of the OEE score of a company in the manufacturing sector in the logistic regression model is shown. If companies know their OEE category, they can use machine learning algorithms appropriate to their data set and purpose to rise from that category or stay the same by keeping the variables that affect the OEE score under control. They can also make improvements in their decision-making processes by looking at the impact strength of the effective variables. Accordingly, it is also recommended that in future studies, different sectors should be selected, the algorithm or model of that sector should be determined, and models containing time series should be established with the data to be collected annually. In addition, using logistic regression for category transitions or improvements can be planned for future studies, as well as modeling different decision trees with higher visuality, where companies can interpret their parameters more easily, with categorical OEE.

1. GİRİŞ

Günümüz dünyasında teknoloji vazgeçilmez ve çok hızlı gelişen bir unsur haline gelmiştir. Hızlı gelişen bu teknoloji ile verilerin toplanması ve depolanması daha kolay bir şekilde gerçekleşmektedir. Veriler teknoloji ve bilgisayarın etkileşimiyle daha kolay ve hızlı elde edilirken aynı zamanda tüm dünyada daha büyük boyutlarda depolanmaya başlanmıştır. Uluslararası Veri Şirketi (International Data Corporation, IDC) verilerin yıl bazında çok yüksek oranda büyüyeceğini ve hatta önümüzdeki 5 yılda yaklaşık 5 kat artabileceğini öngörmektedir. Bununla birlikte bu şirket verilerle iletişimde olan kullanıcı sayısının çok daha fazla olacağı da hesaplanmıştır (Ersöz ve Çınar, 2021).

Teknolojinin gelişmesi ile verilerin depolanması sonucunda özellikle veri sahiplerinin verileri işleme ve yorumlama konusunda acil ihtiyaçları oluşmuştur. Bununla birlikte verilerin işlenmesi, düzenlenmesi, sınıflandırılması, istatistiksel olarak çözümlenmesi ve yorumlanması makine öğrenim algoritmalarının önemini ve gerekliliğini ortaya çıkarmıştır.

Makine öğrenimi, eğitim bilimleri, fen bilimleri, mimarlık, mühendislik, sağlık, sosyal, beşerî ve idari bilimler, ziraat ve spor gibi pek çok farklı bilimlerde kullanılmaktadır. Son yıllarda teknolojinin verdiği rahatlık ile bilimler arası alanlarda verilerin toplanması ve depolanması düşük maliyetlerde olabilmektedir. Hatta verilere erişim ve yayılım internet sistemleri sayesinde kolaylıkla yapılabilmektedir. Bu da farklı alanlarda verilerin makine öğrenim algoritmaları ile incelenmesine olanak sağlamaktadır. Özellikle büyük veri seti ile çalışan birçok firma söz konusu verilerden anlamlı, değişkenler arasında ilişkileri ortaya koyan, değişkenleri karşılaştıran, bu değişkenlerle model kuran ve gerçek zamanlı tahmin yapan sonuçlar bulmayı hedeflemektedir. Firmaların temel amacı sektördeki diğer firmalarla rekabet etmek ve üstünlük sağlamak, maliyeti düşürmek, depolama ve üretim alanında daha verimli çalışma sonuçları ortaya çıkartmaktır (Ersöz ve Çınar, 2021).

Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de üretim sektöründe oluşan bu büyük veriler tek başına bir anlam ifade etmemekte ancak veriler işlendiği zaman, belirli kurallara göre elde edilen sonuçlar özellikle veriye yönelik yöntemlerin seçilmesi ile anlam kazanmaktadır (Samoli ve diğerleri, 2020: 1). Veri bilimi içerisinde olan makine öğrenim yöntemleri ile üretim sektöründe ham madde alımları, depolama durumları, müşteri davranışları ve eğilimleri, talep tahminleri, makine ve ekipmanlara ait performans tahminleri çözümlenmeye çalışılmaktadır. Elde edilen sonuçlarla özellikle şirketlerin finans durumları ve sektördeki başarıları belirlenmiş olmaktadır.

Rekabetin ve her türlü maliyetin günden güne arttığı günümüz piyasalarında özellikle firmaların maliyetlerini düşürmek için makine ve ekipmanlarının etkin kullanımı önem taşımaktadır. Bu amaçla tüm üretim firmalarının ana hedefi özellikle makine ve ekipman performanslarının artırılması şeklindedir. Bu hedefi de “Toplam Ekipman Etkinliği (TEE)” kavramını içselleştirerek gerçekleştirebilirler. TEE kavramı farklı kayıp durumlarına göre ilk kez Nakajima (1988) tarafından literatüre girmiştir. TEE; 2000 yılların sonuna kadar gerçekleştirilen üretim ile ideal üretim arasındaki oran olarak olarak tanımlanırken, 2010 yılından sonra üretim firmaları TEE’i verimlilik ve ölçme aracı olarak kullanmışlardır (Braglia ve diğerleri, 2009; Garza-Reyes ve diğerleri, 2010; Tsarouhas, 2013; Becker ve diğerleri, 2015; Çelik, 2020). TEE’nin performans artırımında bu puan üzerindeki faktörlerin etkisi önemlidir. TEE’nin amacını oluşturan performans artırımında makinelerin verimliliğini engelleyen faktörler yok edilmeli ya da kontrol altına alınmalıdır. Bu faktörler temel düzeyde altı büyük kayıp (ekipman, montaj ve ayarlama, düşük hız, boşa çalışma ve küçük duruşlar, işlem, makine istikrarlı duruma geçme zamanı) olarak adlandırılmaktadır. Bu kayıpları engellemek için de TEE üç boyuta indirgenmiştir (TEE=kullanılabilirlik x performans x kalite). Buna göre TEE, bireysel ekipmanın veya tüm süreçlerin performans etkinliğini ölçmek için öğelerin kullanılabilirliğine, performansına ve kalitesine dayalı niceliksel bir ölçüm sağlamaktadır (Reyes, 2015). Bununla birlikte süreç iyileştirmelerini belirlemek ve uygulamak için TEE formülünü yeniden düzenleyen çalışma da bulunmaktadır (Abdelbar ve diğerleri, 2019). Literatürdeki bu çalışmaların hepsinde TEE yüzde olarak gösterilmekte ve uygulamada kabul görmüş değerlerle karşılaştırılarak makine ve ekipman etkinliği ölçütü olarak belirtilmektedir. (Muchiri ve Pintelon, 2008; Görener, 2012; Nayak ve diğerleri, 2013; Acar ve Çakırkaya, 2018). Nakajima (1988) literatürde kabul gören ideal TEE değerini de %85 olarak göstermiş ve kullanmıştır (Görener, 2012).

TEE kavramının kullanım alanı çok geniştir. Bu kavram 1990’lardan itibaren üretim süreçlerindeki bakımda yer alırken 2000 yılların başından itibaren üretim süreçlerinde verimlilikte kullanılmıştır. 2000 yılların ikinci yarısından sonra kaynak verimliliğine odaklanan TEE, 2010 ve sonrasında tedarik zinciri verimliliği üzerine olan çalışmalarda yer almıştır (Corrales ve diğerleri, 2020). Tüm dünyada etkisini gösteren sürdürülebilir kaynaklar konusundaki çalışmalarda TEE kavramı 2015 yılından günümüze kadar özellikle kaynak kayıpları belirlemede, karayolu taşımacılığında ve Endüstri 4.0 ile ilişkilendirilmiştir (Domingo ve Aguado, 2015; Ghafoorpoor Yazdi ve diğerleri, 2018; García-Arca ve diğerleri, 2018; Munoz-Villamizar ve diğerleri, 2018). Bununla birlikte bu kavram hala üretim sektöründe popülerliğini sürdürmektedir.

Üretim sektöründe kullanılan makine öğrenim yöntemlerinde sürekli verilerin yanısıra kategorik verilerin çözümünde de kullanılan birçok istatistiksel algoritma bulunmaktadır. Bu sektörde TEE gibi birçok ölçüt, kategorik hale getirilerek sınıflar arasındaki geçişler gösterilebilir. Özellikle firmaların sektördeki başarı ve finans durumlarında önceliklerini belirlemeleri son yıllarda büyük önem kazanmıştır. Kısıtlı süre veya bütçe durumunda bir anda gerçekleştiremeyecek ilerlemelerin ya da değişimlerin kategoriler arasında geçişleri bu sistemde daha kolay görünebilmektedir. Kategoriler arasında maliyet, insan ve ekipman talepleri farklı olabilir. Firmaların birden bu parametreleri aynı anda artırmaları mümkün değildir. Ancak firmalar için kategoriler arasında geçişlerin sağlanması ile finansal, zamansal ve olanaksal olarak daha kolay ve akılcı çözümler yaratılabilir. Böylece hammadde alımları, depolama durumları, müşteri davranış ve eğilimleri, talep tahminleri ve makine ile ekipman durumları kategorilere göre önceliklendirilebilir ya da düzenlenebilir.

Bu çalışmanın ana motivasyonu oransal ölçekte olan TEE verilerini sıralı ölçüğe çevirerek makine öğrenim algoritmaları ile modellenmesi, yorumlanması ve model performanslarının karşılaştırılması olarak belirlenmiştir. Çalışma kapsamında ilk olarak oransal ölçekteki TEE ile birlikte makine öğrenim yöntemlerinin kullanıldığı literatür taraması verilmiştir. Daha sonra kategorik hale getirilerek sınıflar arasındaki geçişi gösteren sıralı ölçek sisteminde üretim yapan uluslararası bir şirketin gerçek verileri baz alınarak türetilmiş TEE puanı üzerinde etkili olan değişkenlerin makine öğrenim algoritmaları (lojistik regresyon, karar ağaçları (CART, CHAID), yapay sinir ağları) ile çözümlenmesi yapılmıştır. Elde edilen bulgularda performans karşılaştırılması yapılırken test ve eğitim verilerinin kullanılması ile duyarlılık, seçicilik, kesinlik ve doğruluk gibi istatistiksel ölçütler kullanılmıştır. Son olarak sıralı ölçekteki TEE verilerinin algoritmalar sonucundaki performans yorumları literatür ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Makine öğreniminde kullanılan çeşitli yöntemlerinin açıklandığı çalışmalarda son yıllarda kullanılan denetimli ve denetimsiz algoritmaların avantaj ve dezavantajlarına yer verilmiştir. Buna göre genellikle sınıflandırma için karar ağaçları kullanılırken sınıflandırma ve modelleme için lojistik regresyon kullanılmaktadır (Reddy ve Babu, 2018). Sıralı sınıflandırmada makine öğrenim algoritmalarının yer aldığı birçok alan çalışması bulunmaktadır. Sıralı ölçüğün ele alındığı ve örneklem genişliğinin 100 ile 500 arasında değişen simülasyon verisinde yapay sinir ağları modellerinin performansları karşılaştırılmıştır (Costa ve Cardoso, 2005). Daha sonra sınıflayıcı ölçekteki girdi değişkeni için yine simülasyon verisinde CART karar ağacı algoritması kullanılmıştır (Piccarreta, 2008). Sıralı sınıflandırmanın ele alındığı yazılım hata tahminleri verisinde makine öğrenim algoritmalarından rastgele orman, destek vektör makineleri, Naive Bayes ve k-en yakın komşu yöntemlerinden yararlanılmıştır (Kıyak Öztürk ve diğerleri, 2019).

Bunun yanısıra üretim verilerinin incelenmesinde TEE değerinin oransal ölçekteki uygulamaları literatürde sıklıkla bulunmaktadır. Özellikle TEE değerinin hesaplanarak yapılan düzeltmeler sonucunda bu değer nasıl değiştiği ve çeşitli yöntemlerle elde edilen TEE sonuçlarına ait çalışmaların farklı alanlardaki uygulamaları incelenmiştir. Son yıllarda küçük ve orta ölçekli firmalarda ekipman etkinliğinin iyileştirilmesi üzerine olan çalışmalarda farklı sonuçlar elde edilmektedir. Örneğin, tekstil sektöründe deri işleme makinelerinde bulunan TEE değerlerinin üretim öncesinde yapılan iyileştirmeler ile %5 oranında arttırılabileceği bulunmuştur (Patel ve Deshpande, 2016). İstanbul'da küçük işletmeli bir ahşap kapı üretim hattında TEE yaklaşımı ekipman iyileştirmesinde kullanılmıştır. Kritik ekipmanların belirlenmesi sayesinde iyileştirme çabalarının %64,7'den %72,4'e çıktığı bulunmuştur (Yaşın ve Daş, 2017). Ekipman etkinliği iyileştirilmesinin yanında bir de çalışma ve duruş sürelerini dikkate alan çalışmalar işletmelerde kendini göstermektedir. Koruyucu ve önleyici bakım faaliyetleri için TEE'nin hesaplanması, makarna üretimi yapan bir üretim hattının çalışma ve duruş süreleri dikkate alınarak incelenmiştir. Yapılan bu çalışmada yüklenme, performans ve kalite seviyesine bakarak TEE değeri %90,8 olarak hesaplanmış ve plansız duruşlarda iyileştirme yapılabileceği tespit edilmiştir (Acar ve Çakırkaya, 2018). Gaziantep bölgesinde faaliyet gösteren bir sentetik iplik üreticisinin yalın üretim sürecine geçişinde büküm ve aktarma makinelerindeki arızaların giderilmesi ve duruşların azaltılması ile TEE değerinin %58,2'den %73,5'e çıktığı tespit edilmiştir (Akçacı ve Özyurt, 2021).

Bununla birlikte farklı yöntemler kullanılarak yapılan TEE çalışmalarının sayısı ve çeşitliliği günden güne artmaktadır. TEE yöntemi ile toplam ekipmana ait maliyet kaybı farklı yönleri ile karşılaştırılmıştır (Wudhikarn, 2016). Ayıklama, düzenleme, temizleme, standartlaştırma ve disiplin aktiviteleri ile tanımlanan 5S uygulaması bir çelik üreticisi firmasında ekipman etkinliğine olan etkisi için araştırılmıştır. Araştırma sonucunda yıllık TEE değerinin yaklaşık %1,024 düzeyinde performansı artırdığı tespit edilmiştir (Çelik, 2019). Deterjan üretimi yapılan bir firmada Triz yöntemi ile TEE değerinin artırılacağı ancak bu artışın çok da büyük boyutlarda olmayacağı (%34'den %37'e) vurgulanmıştır (Özkan ve diğerleri, 2019). Makine performanslarının tercih seçim yöntemi ile değerlendirmesinde TEE'nin önemli bir araç olduğu ancak başka kriterler daha eklendiğinde performansın arttırılabileceği modellerin geliştirilebileceği de vurgulanmıştır (Sarı, 2019). Son olarak planlı duruş süresinin önemi bir çelik firmasının üretim hattında TEE'nin yüksek çıkması ile bulunmuştur (Çelik, 2020).

TEE'nin farklı firmalardaki çeşitli uygulamalarının daha da artması ile türetilmiş verileri içeren çalışmalar önem kazanmaktadır. Aslında varolmayan ama olabilecek durumların değerlendirilmesi ya da maliyete sebep olabilecek durumların türetilmiş veri ile çözümlenmesi hem zaman hem de para kaybını önleyen çalışmalar olarak dikkate alınmaktadır. Literatürde türetilmiş veriler kullanılarak TEE tahmini çalışmaları da yapılmaktadır. Çarpıcı bir şekilde TEE yöntemi M/M/1/N kuyruk çalışmasında türetilmiş verilerde tahminleme için uygulanmıştır (Paprocka, 2015).

Literatürde dünya TEE sınıflamasında bu değerinin %85 ve üstünde olması istenilen bir durumdur. Ancak firmalarda bu oranın elde edilmesi özellikle "kullanılabilirlik", "performans" ve "kalite" ölçütlerinin yüksek olarak istenilmesinden kaynaklı olarak her zaman çok mümkün değildir (Singh ve diğerleri, 2018). TEE oranını bu değerlerde tutan firmaların sayısı da çok sınırlıdır. Bu yüksek oranlar üretim firmalarında çalışılan hatların etkin olduğunu, hatta problem olmadığını veya varsa bile düzeltildiğini göstermektedir. Bir makarna üretim tesisindeki makinelerin TEE değeri %90,8 olarak belirlenerek ideal değer olan %85'in üzerinde olduğu için üretim hattının etkin çalıştığı tespit edilerek kalite değerinin daha da iyileştirilebileceği önerisi verilmiştir (Acar ve Çakırkaya, 2018). İmalat endüstrisinde klima verileri üzerine yapılan çalışmada ise TEE değerinin %81 ile %86 arasında olduğu tespit edilmiştir (Purba ve diğerleri, 2018). Plastik kalıplama makinesinin ekipman etkinliğinin artırılması üzerine yapılan çalışmada TEE yapılan düzeltmeler ile %86,95'ten %95,62'ye çıkarılmıştır (Udomraksasakul ve Udomraksasakul, 2018).

Sıralı ölçekteki TEE için makine öğrenim algoritmaları ve performans karşılaştırma çalışmaları sınırlı iken oransal ölçekteki TEE'nin hesaplanmasında birçok farklı makine öğrenim algoritmaları kullanılmaktadır. Performans karşılaştırmaları için "Ortalama Mutlak Hata, MAE", "Ortalama Mutlak Ölçekli Hata, MASE", "Ortalama Mutlak Yüzde Hatası, MAPE", "Hata Kareler Ortalaması, MSE", "Hata Oranı", "Doğruluk Yüzdesi" ve "Bileşenler Katsayısı, R²" gibi doğruluk ölçütlerinden biri kullanılabilir (Tablo 1).

Bununla birlikte sıralı ölçekteki modellerin kurulması ve yorumlanması her zaman için sürekli ve hatta ikili olan sınıflayıcı ölçekteki verilere göre daha zor ve karmaşıktır. Özellikle makine öğrenim yöntemlerinde sıklıkla kullanılan lojistik regresyonda kategori sayısı artıçça kurulan ve yorumlanacak olan modellerin sayısı da artmaktadır. Aynı durum karar ağaçlarındaki katsayılar ve yapay sinir ağaçlarındaki fonksiyonlar için de geçerlidir. Literatürde sıralı ölçekteki TEE değerinin makine öğrenim algoritmaları sonucundaki yorumlarının az ve yetersiz olması bu çalışmanın önemliliğini vurgulamıştır.

Tablo 1. Oransal ölçekteki TEE hesaplamasında kullanılan makine öğrenme algoritmaları

<i>Araştırmacı</i>	<i>Amaç</i>	<i>Yöntem</i>	<i>Tahmin/ Karşılaştırma</i>	<i>Sonuç</i>
Hassani ve diğerleri (2019)	Otomotiv kablo üretim endüstrisinden alınan veriler ile TEE tahmini ve performans karşılaştırılması	DVM, RO, XGBoost, DO	TEE değeri MAE ve MAPE	DO RO
Eroğlu (2019)	Dokuma endüstrisinde her bir süreç için TEE tahminleri	ÇDR	Hata Oranı (%17,31)	
Him ve diğerleri (2020)	Bakım simülasyonu verileri ile makine arızasına ait TEE tahmini	KA: CART	TEE değeri	
Engelmann ve diğerleri (2020)	Küçük ve orta ölçekli bir şirketin türetilmiş verisinde TEE tahmini ve performans karşılaştırılması	KA, LogR, NB, DVM	Doğruluk	KA: % 92.8
Acosta ve diğerleri (2020)	Üretim modellerinde TEE tahmini	DVM	Doğruluk	DVM: %99,9
Dobra ve Jósvai (2022)	Yarı otomatik montaj hattı seri üretiminin ürün değiştirme süreçlerine üzerine etkisinde TEE tahmini	KA	TEE değeri	
Yılmaz ve Kuvat (2023)	Kutu fabrikasının oluklu mukavva bölümünün TEE tahmini	ÇDR, GA, RO, RR, Lasso Reg., Elastik Net ÇDR	MSE ve R ²	ÇDR

Destek Vektör Makinesi: DVM, Lojistik Regresyon: LogR, Rassal Orman: RO, Çoklu Doğrusal Regresyon: ÇDR, Karar Ağacı: KA, Naive Bayes: NB, Genetik Algoritma: GA, Ridge Regresyon: RR; K Kümeleme: KK, Derin Öğrenme: DO

3. YÖNTEM

Çalışma kapsamındaki veriler İzmir ilinde plastik üretim sektöründen alınan 2018-2019 yılları arasındaki orjinal veriler (n=215) baz alınarak türetilmiştir. Çalışmada türetilmiş veriler kullanıldığından etik kurul izni gerekmemiştir. Türetilmiş veri için ilk olarak her ay ve tüm veri için sürekli olan orjinal bağımsız değişkenlerin tanımlayıcı istatistikleri Minitab 21 paket programında bulunmuş (ortalama, standart sapma, ortanca vb..) ve bu değişkenlerin TEE puanı ile olan korelasyon matrisi elde edilmiştir. Bu korelasyon matrisindeki ilişkiler dikkate alınarak her ay için sürekli bağımsız değişkenlerin parametre değerleri normal dağılım kullanılarak elde edilmiştir. Parametre değerleri için önceden bulunmuş tanımlayıcı istatistiklerden yararlanılmıştır. Makine öğrenim algoritmalarında kullanılacak olan örneklemelerde veri sayısının büyük olması performans karşılaştırmaları için önemlidir. Performans karşılaştırmasında örneklemden rassal olarak elde edilen yeni örneklemelerin performans kriterleri elde edilecek ve bu kriterlere göre karşılaştırma yapılacağından veri setinde tekrarlara düşmemek adına veri setinin büyük olması önemlidir. Sonuçta eğitim ve test verilerinin daha güvenilir olması adına türetilen yeni verinin örneklem genişliği, orjinal verinin yaklaşık üç katından fazla olacak şekilde 700 örneklem biriminden ve 6 farklı bağımsız değişkenden oluşturulmuştur. Veri setinde sonuç değişkeni üretim verilerine ait 0 ile 100 arasında değişen "Toplam Ekipman Etkinliği (TEE)" puanlarıdır. TEE puanları işletmede günlük olarak kalite mühendisi tarafından her makine için kullanılabilirlik, performans ve kalite ölçütleri dikkate alınarak yüzde olarak hesaplanmıştır. Kullanılabilirlik ölçütü içinde ekipmana ait sebepler, performans ölçütünde çalışma hızına ait planlanmış duruş ile gerçekleşen durum arasındaki farklar ve kalite ölçütü içinde de işlenen parçalardan oluşan kayıplar dikkate alınmıştır. Açıklayıcı değişkenler için firmanın çalışma zamanında öngördüğü faktörlerden "üretim (metre)", "kayıp metre (metre)", "tecrübe (yıl)", "mevsim", "gün" ve "duruş saati (saat)" değişkenleri çalışmaya dahil edilmiştir. Bu değişkenlerden "üretim"; günlük olarak fabrikanın üretim hattındaki makinelerden çıkan masa örtüsü metresi, "kayıp metre"; günlük olarak fabrikanın üretim hattındaki makinelerden çıkan defolu&bozuk masa örtüsü metresi, "tecrübe"; verinin elde edildiği gün çalışan personelin bu işte uzmanlaştığı yıl, "mevsim"; verinin işlendiği ay, "gün"; verinin işlendiği gün ve son olarak da "saat"; verinin işlendiği gündeki duruş süresi olarak tanımlanmıştır. TEE puanı çözümlemesinde makine öğrenim algoritmalarının performans karşılaştırmaları %80 eğitim ve %20 test verileri kullanarak tekrarlı ölçümler (30 farklı örneklem) ile duyarlılık, seçicilik, kesinlik ve doğruluk gibi ölçütler ile SPSS 24 paket programında %5 anlamlılık düzeyinde yapılmıştır.

TEE verisinin istatistiksel çözümlenmeleri için kullanılan yöntemler büyük veri ve veri madenciliği kavramı ile açıklanmaktadır. 1990'ların başlarından beri kullanılan veri madenciliği disiplinler arası bir çalışma alanı olduğundan yapay zekâ ve istatistik çalışmalarında yer almaktadır. Özellikle istatistik ve bilgisayar kullanımının birleştiği makine öğrenmesi (ML), verileri ayrıştırmak, bu verileri öğrenmek ve öğrendiklerine göre bilinçli kararlar vermek için algoritmalar kullanan bir sistem olarak tanımlanmaktadır (Grossfeld, 2020). Ayrıca makine öğrenmesi ile kullanılan algoritmalar sayesinde karar verme süreçleri otomatikleşerek yeni modellerin üretilebiliyor olması bir avantaja dönüşebilmektedir (Şapcı ve Taşlı Pektaş, 2021).

Literatürde basitçe denetimli ve denetimsiz olarak ayrılan makine öğrenim yöntemleri çok detaylı bir şekilde incelenmektedir. Denetimli öğrenmede veri kaynağından sınıflandırma yöntemiyle seçilen eğitim (girdi) verisi ile eğitilen modelin test (çıkıtı) verisinde performansına bakan öğrenme algoritmaları bulunmaktadır. Denetimli öğrenmede tahmin modelleri geliştirmek için girdi verisi kategorik ise sınıflandırma (destek vektör makinesi, karar ağaçları, k-en yakın komşu, Naive Bayes, lojistik regresyon, yapay sinir ağları) yöntemleri kullanılırken girdi verisinin sürekli olduğu durumda ise regresyon (doğrusal regresyon modeli, karar ağaçları, yapay sinir ağları) yöntemleri kullanılmaktadır. Girdi verilerinin sıralayıcı ölçekte olduğu kategorik verilerde uygulanan en popüler yöntem lojistik regresyon modeli, karar ağacı algoritmaları ve yapay sinir ağlarıdır. Lojistik regresyon çıktı (bağımsız) değişkenlerine göre girdi (bağımlı) değişkeninin beklenen değerlerinin olasılık olarak elde edildiği sınıflama ve atama işlemi yapmaya yardımcı istatistiksel bir yöntemdir. Lojistik regresyon modeli, değişkenlere ait katsayıların "en çok olabilirlik" yöntemiyle tahmin edildiği bir yöntemdir. Bu modelde katsayıların anlamlılığı için "olabilirlik oran testi" ya da "Wald testi" kullanılırken, katsayıların yorumlanması için de "odds" ve "odds oranı (OR)" ölçütlerinden yararlanılmaktadır. Odds bir olayın gerçekleşme olasılığının o olayın gerçekleşmeme olasılığına oranı olarak tanımlanmaktadır. Odds oranı ise ilgilenilen olayın odds'unun referans kategorisindeki olayın odds'una oranı şeklindedir. Odds oranı üç farklı aralıkta hesaplanabilir. Bu oran, 0 ile 1 arasında ise bağımsız değişkenin bağımlı değişken için "koruyucu" faktörde olduğunu, 1'e eşit olduğu durumda ise değişkenler arasında bir fark olmadığını ifade etmektedir. Bununla birlikte yorumlamada esas çarpıcı durum odds oranının 1'den büyük olduğunda değişkenler arasında anlamlı bir fark olduğunu ifade etmesi ve bu farkın matematiksel olarak bir kat ile gösterilmesidir. Karar ağacında çok sayıda örneklem olduğu veri kümesi belirli kurallar dahilinde daha küçük ve homojen kümelere bölünerek (Gini, Twoing, Entropi, ki-kare) araştırmacılar tarafından daha anlaşılır olması için görsel hale gelmiş algoritmalar. Karar ağaçları; kök düğüm, iç düğüm, dal ve yaprak düğümlerinden oluşur. Kök düğüm, veri setindeki tüm örnekleri içerir (büyük ağaç oluşturma). Daha sonra ağaç dallanır ve yeni düğümler oluşur. Her dalda, yeni bir düğüm

oluşur veya bölünme durumu sona ererse yaprak düğümler oluşur (budama ve optimum ağacın belirlenmesi). En sonunda yaprak düğümlerin oluşması ile karar ağacı sona erer. Yapay sinir ağları yönteminde ise çok sayıda girdi değişkeni ile çalışılarak ağırlıklandırma yapılır. Bu ağırlıklandırmalar ile yapay sinir ağına gelen net girdi toplama fonksiyonu ile bulunur ve aktivasyon fonksiyonuna gönderilir. Sonunda girdi değişkenleri kullanılarak çıktı değişkeni oluşturulur. Hem karar ağacında hem de yapay sinir ağlarında çıktı değişkeni üzerinde en etkili girdi değişkenleri yüzde olarak gösterildiğinden araştırmacılar tarafından sıklıkla tercih edilen yöntemlerdir.

Bu çalışmada TEE'ne ait girdi verilerinin sıralayıcı ölçekte olduğu kategorik verilerde uygulanan sıralı lojistik regresyonda sınıflama ve atama modeli oluşturulurken yorumlar odds oranından yapılmıştır. Karar ağacında ise belirli kurallar dahilinde veri kümesi daha alt gruplara bölünerek basit istatistiksel yorumlar yüzde ile yapılmış ve görselleştirmeler elde edilmiştir. Son olarak yapay sinir ağlarında TEE'nin kategorilerinde önemli bulunan girdi değişkenlerinin önem seviyeleri yüzde ile ifade edilmiştir. Performans karşılaştırması için modellerin sonuçları tablo ve grafikler ile verilmiştir.

4. BULGULAR

TEE çözümü için ilk olarak orjinal verinin (n=215) tanımlayıcı istatistikleri elde edilmiştir. Buna göre üretim metresi (67663±24501), TEE puanı (84,90±14,05), saat (2,53±2,83) ve kayıp metre (10728±13524) değişkenleri için ortalama ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır. Aynı veri setinde çalışma günü olarak en yüksek günün perşembe (%19,5) ve en düşük günün de cumartesi (%13) olduğu, %59'unun 10 yıldan fazla bir tecrübeye sahip olduğu ve %30 ile en fazla sonbahar ayında, %19 ile de en az kış ayında üretim gerçekleştiği bilgisi elde edilmiştir. Ayrıca medyan değerleri saat için 1,9 saat, kayıp metre için 7660 metre ve üretim için 79510 metre olarak hesaplanmıştır. Ek olarak TEE dışındaki tüm değişkenlerin birbiri ile olan çoklu bağlantısı için korelasyon katsayı değerlerine bakılmış, saat dışında tüm değişkenler birbiri ile bağlantısız olarak bulunmuştur. Saat değişkeninin de buna göre makine öğrenim yöntemlerinde modellenmesi sağlanmıştır.

Tablo 2. Tanımlayıcı istatistikler (frekans, f, %) ve ki-kare testi p-değerleri

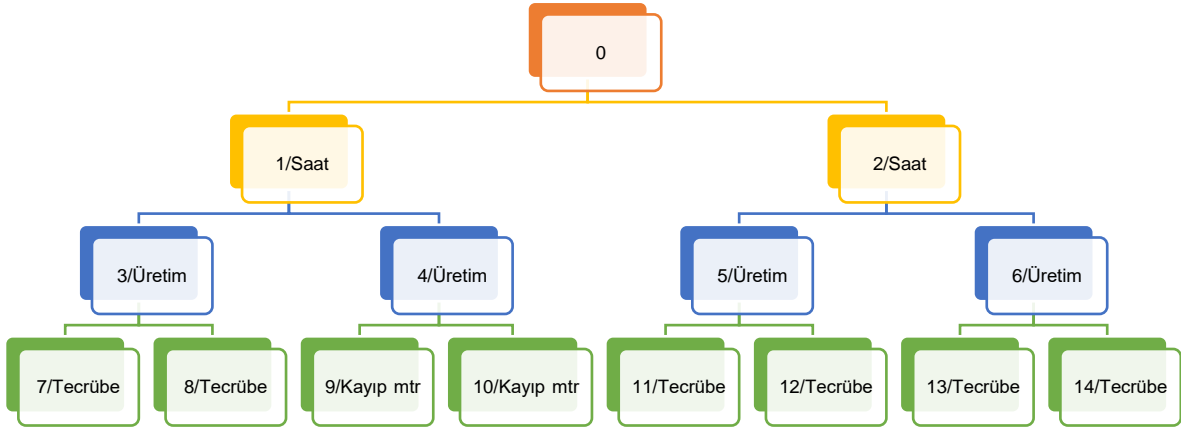
Değişken	f(%)	≤83(f ₁ =219)	84-91(f ₂ =243)	≥92(f ₃ =238)	p-değeri
		(%31,3)Düşük	(%34,7)Normal	(%34,0)Yüksek	
Üretim					
0 (düşük)	347(49,6)	178(81,3)	96(39,5)	73(30,7)	0,000*
1 (yüksek)	353(50,4)	41(18,7)	147(60,5)	165(69,3)	
Kayıp mtr					
0 (düşük)	484(69,1)	85(38,8)	165(67,9)	234(98,3)	0,000*
1 (yüksek)	216(30,9)	134(61,2)	78(32,1)	4(1,7)	
Tecrübe					
<10 yıl	288(41,1)	155(70,8)	49(20,2)	84(35,3)	0,000*
>10 yıl	412(58,9)	64(29,2)	194(79,8)	154(64,7)	
Mevsim					
Kış	125(17,9)	35(16,0)	43(17,7)	47(19,7)	0,000*
İlkbahar	203(29,0)	73(33,3)	60(24,7)	70(29,4)	
Yaz	157(22,4)	62(28,3)	64(26,3)	31(13,0)	
Sonbahar	215(30,7)	49(22,4)	76(31,3)	90(37,8)	
Gün					
Pazartesi	105(15,0)	56(25,6)	28(26,7)	21(20,0)	0,000*
Salı	113(16,1)	57(26,0)	29(11,9)	27(11,3)	
Çarşamba	133(19,0)	37(16,9)	36(14,8)	60(25,2)	
Perşembe	136(19,4)	28(12,8)	62(25,5)	46(19,3)	
Cuma	117(16,7)	16(7,3)	47(19,3)	54(22,7)	
Cumartesi	96(13,7)	25(11,4)	41(16,9)	30(12,6)	
Saat					
0 (düşük)	350(50,0)	56(25,6)	71(29,2)	223(93,7)	0,000*
1 (yüksek)	350(50,0)	163(74,4)	172(70,8)	15(6,3)	

Daha sonra türetilmiş veri (n=700) oluşturulmuş ve bu veri setini oluşturan örnekleme ait değişkenlerin istatistikleri elde edilmiştir. Sürekli veriler için normallik testi (Shapiro Wilk) uygulanmış ve normal olmayan değişkenler kategorik hale getirilmiştir. Buna göre TEE puanı 1: düşük (≤83; %31,3), 2: normal (84-91; %34,7) ve 3: yüksek (≥92; %34,0) olmak üzere sıralı ölçekteki kategoriye dönüştürülmüştür. "Üretim", "kayıp metre" ve "saat" değişkenleri de medyan değerlerine göre ikili kategorik değişken haline (medyan değerinden düşük ya da yüksek olmasına göre) getirilmiştir. Mevsim (4 kategori) ve gün (6 kategori)

değişkenleri de kategorilere ayrılmıştır (Pazar hariç). TEE puanı ile değişkenler arasında istatistiksel ilişki %95 güvenle ki-kare ile tespit edilmiştir ($p=0,00<0,05$) (Tablo 2).

TEE puanı ve ilişkili değişkenler için makine öğrenim yöntemleri kullanılarak modeller kurulmuştur. Buna göre CART ve CHAID algoritmaları sonucunda kurulan karar ağaçlarında “üretim”, “kayıp metre”, “tecrübe” ve “saat” değişkenleri gözlemlenmiştir. Her iki karar ağacının algoritmalarında ilk dallanma duruş zamanlarını dikkate alan “saat” değişkeni üzerinden gerçekleşmiş olup iki algoritmada da 12. düğüme kadar olan dallanma ve düğümlere ait yüzdelerin aynı olduğu gözlemlenmiştir (Tablo 3). CHAID algoritmasında ise CART algoritmasından farklı olarak 13. ve 14. düğüm oluşmuştur (Şekil 1). Bununla birlikte CART karar ağacı için 8 (7., 8., 9., 10., 11., 12., 13. ve 14.), CHAID için ise 7 (6., 7., 8., 9., 10., 11. ve 12.) terminal düğüm bulunmuştur.

CART ve CHAID karar ağaçlarında değişkenlerinin TEE puanı üzerindeki pozitif ve negatif yöndeki ilişkileri gösterilmiştir. İlk olarak saat değişkeninin 2. düğümündeki “düşük” kategorisinde verilerin %63,7’lik oranı ile “yüksek” TEE kategorisinde yer aldığından bu değişkeninin TEE puanı üzerindeki etkisinin negatif yönlü olduğu tespit edilmiştir. Sırasıyla sonraki dallanmalar “üretim” ve “kayıp metre” değişkenleri üzerinden gerçekleşmiştir. 9. ve 10. düğümler dikkate alındığında “kayıp metre” değişkeni yüksekse TEE’nin “yüksek” kategorisinde gözlemin olmaması ve “kayıp metre” değişkeni düşükse TEE’nin “düşük” kategorisinde gözlemin olmaması bu değişkeninin TEE puanı üzerindeki etkisinin negatif yönde olduğunu göstermiştir. Üretim değişkeninin yönü ise 5. ve 6. düğümler ile bulunmuştur. Üretim değişkeninin “yüksek” kategorisine göre dallanma olduğunda (6. düğümde) %88,8’lik gibi büyük bir oranla TEE’nin “yüksek” kategorisine düştüğü tespit edilmiştir. Bu da “üretim” değişkeninin TEE puanı üzerindeki etkisinin pozitif yönde olduğunu göstermiştir (Tablo 3). CHAID karar ağacında CART karar ağacından farklı olarak, 6. düğümün “tecrübe” değişkeni üzerinden dallanma gerçekleştirerek bu değişkenin TEE puanı üzerindeki etkisinin pozitif yönde olduğudur (Şekil 1, Tablo 3).



Şekil 1. CART ve CHAID için karar ağacı modeli

Sonuç olarak “saat” ve “kayıp metre” değişkenlerinin TEE puanı üzerindeki etkisi negatif yönde bulunurken “üretim” ve “tecrübe” değişkenlerinin bu puan üzerindeki etkisinin pozitif yönde olduğu CART ve CHAID karar ağaçları ile tespit edilmiştir.

TEE puanı için kurulan sıralı lojistik regresyon modellerinde bu puan üç (düşük, normal, yüksek) farklı kategoride olduğundan iki farklı lojistik regresyon modeli kurulmalıdır. İlk kurulan sıralı lojistik regresyon modelinde (Tablo 4) TEE’nin düşük kategorisi (≤ 83) referans olarak alınırken diğer sıralı lojistik regresyon modelinde (Tablo 5) TEE’nin yüksek kategorisi (≥ 92) referans olarak alınmıştır. Modelde referans alınan kategori, diğer kategorilerle karşılaştırılarak model içerisinde bölümler oluşmaktadır. Buna göre TEE’nin düşük kategorisinin referans olduğu birinci lojistik regresyon modelinde TEE’nin normal ve yüksek kategorisi için “üretim”, “kayıp metre” ve “tecrübe” değişkenlerinden oluşan iki ayrı yorumlanabilir bölüm vardır. Aynı şekilde TEE’nin yüksek kategorisinin referans olduğu ikinci lojistik regresyon modelinde de TEE’nin bu sefer düşük ve normal kategorisi için “üretim”, “kayıp metre” ve “tecrübe” değişkenlerinden oluşan iki ayrı bölüm bulunmaktadır.

Tablo 3. Karar ağaçları (CART ve CHAID) için istatistikler (frekans, f, %)

Düğüm No	Düğüm Değişkeni	Düşük	Normal	Yüksek	Toplam f(%)
0		219(31,3)	243(34,7)	238(34,0)	700(100)
1	Saat yüksek	163(46,6)	172(49,1)	15(4,3)	350(50,0)
2	Saat düşük	56(16,0)	71(20,3)	223(63,7)	350(50,0)
3	Üretim düşük	127(76,5)	39(23,5)	0(0,0)	166(23,7)
4	Üretim yüksek	36(19,6)	133(72,3)	15(8,2)	184(26,3)
5	Üretim düşük	51(28,2)	57(31,5)	73(40,3)	181(25,9)
6	Üretim yüksek	5(3,0)	14(8,3)	150(88,8)	169(24,1)
7	Tecrübe <10 yıl	88(95,7)	4(4,3)	0(0,0)	92(13,1)
8	Tecrübe >10 yıl	39(52,7)	35(47,3)	0(0,0)	74(10,6)
9	Kayıp mtr yüksek	36(39,6)	55(60,4)	0(0,0)	91(13,0)
10	Kayıp mtr düşük	0(0,0)	78(83,9)	15(16,1)	93(13,3)
11	Tecrübe <10 yıl	42(58,3)	14(19,4)	16(22,2)	72(10,3)
12	Tecrübe >10 yıl	9(8,3)	43(39,4)	57(52,3)	109(15,6)
13	Tecrübe <10 yıl	3(4,1)	3(4,1)	68(91,9)	74(10,6)
14	Tecrübe >10 yıl	2(2,1)	11(11,6)	82(86,3)	95(13,6)

Sıralı lojistik regresyonda bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki yorumu için odds oranından (OR) yararlanılmaktadır. Buna göre TEE'nin düşük kategorili sıralı lojistik regresyon modelinde üretimi yüksek olanların üretimi düşük olanlara göre yaklaşık $(1/0,080)=12,5$ kat daha "normal TEE" puanı alma şansı ile yaklaşık $(1/0,042)=23,8$ kat daha "yüksek TEE" puanı alma şansı olduğu bulunmuştur. Kayıp metresi düşük olanların kayıp metresi yüksek olanlara göre yaklaşık 5,8 kat daha "normal TEE" puanı alma şansı ile yaklaşık 186,5 kat daha "yüksek TEE" puanı alma şansı olduğu da tespit edilmiştir. Son olarak tecrübesi yüksek olanların tecrübesi düşük olanlara göre yaklaşık $(1/0,086)=11,6$ kat daha "normal TEE" puanı alma şansı ile yaklaşık $(1/0,191)=5,2$ kat daha "yüksek TEE" puanı alma şansı olduğu odds oranı ile bulunmuştur (Tablo 4).

Tablo 4. Sıralı lojistik regresyon modeli (TEE: referans: düşük-1)

	B	Sd	Wald	p değeri	OR %95 GA
TEE: normal-2					
Üretim					
0 (düşük)	-2,531	0,288	77,047	0,000	0,080(0,045-0,140)
Kayıp metre					
0 (düşük)	1,759	0,273	41,635	0,000	5,808(3,404-9,912)
Tecrübe					
0 (düşük)	-2,458	0,256	91,999	0,000	0,086(0,052-0,141)
TEE: yüksek-3					
Üretim					
0 (düşük)	-3,162	0,313	101,899	0,000	0,042(0,023-0,078)
Kayıp metre					
0 (düşük)	5,228	0,562	86,670	0,000	186,5(62,02-560,55)
Tecrübe					
0 (düşük)	-1,658	0,275	36,366	0,000	0,191(0,111-0,327)

TEE referans değeri: düşük-1; Referanslar: üretim (yüksek), kayıp metre (yüksek), tecrübe (yüksek)

TEE'nin yüksek kategorili sıralı lojistik regresyon modelinde ise, düşük üretimde olanların yüksek üretimde olanlara göre 23,6 kat daha "düşük TEE" puanı alma şansı ile yaklaşık 1,9 kat daha "normal TEE" puanı alma şansı olduğu tespit edilmiştir. Kayıp metresi yüksek olanların kayıp metresi düşük olanlara göre de yaklaşık $(1/0,005)=200$ kat gibi çok yüksek bir oranda daha "düşük TEE" puanı alma şansı varken yine yaklaşık $(1/0,031)=31,3$ kat ile daha "normal TEE" puanı alma şansının olduğu bulunmuştur. Ayrıca düşük tecrübelilerin yüksek tecrübelilere göre 5,2 kat daha "düşük TEE" puanı ile $(1/0,449)=2,2$ kat daha "normal TEE" puanı alma şansı olduğu hesaplanmıştır (Tablo 5).

Tablo 5. Sıralı lojistik regresyon modeli (TEE: referans: yüksek-3)

	<i>B</i>	<i>Sd</i>	<i>Wald</i>	<i>p değeri</i>	<i>OR %95 GA</i>
TEE: düşük-1					
Üretim					
0 (düşük)	3,162	0,313	101,899	0,000	23,61(12,78-43,63)
Kayıp metre					
0 (düşük)	-5,228	0,562	86,670	0,000	0,005(0,002-0,016)
Tecrübe					
0 (düşük)	1,658	0,275	36,366	0,000	5,247(3,06-8,99)
TEE: normal-2					
Üretim					
0 (düşük)	0,631	0,206	9,344	0,002	1,879(1,25-2,81)
Kayıp metre					
0 (düşük)	-3,469	0,527	43,275	0,000	0,031(0,01-0,09)
Tecrübe					
0 (düşük)	-0,800	0,228	12,340	0,000	0,449(0,29-0,70)

TEE referans değeri: yüksek-3; Referanslar: üretim (yüksek), kayıp metre (yüksek), tecrübe (yüksek)

Son olarak sıralı ölçekteki TEE puanı için makine öğrenimi yöntemlerinden çok katmanlı yapay sinir ağları (YSA) algoritması kullanılmıştır. Çok katmanlı yapay sinir ağında her bir bağımsız değişkene karşılık gelen giriş katmanı, doğrusal olmayan ilişkileri çözen gizli katmanlar ve tahmin edilen sınıflandırmayı içeren çıkış katmanı bulunmaktadır. Çok katmanlı yapay sinir ağı ile hata en aza indirgenmektedir. Giriş hücresindeki bilgiler ara katmanlara ağırlıklı toplam fonksiyona göre aktarılır ve çıkış katmanına aktivasyon fonksiyonu ile geçirilir. Buna göre TEE puanı için oluşturulan YSA modelinde aktivasyon fonksiyonu ara katmanda hyperbolic tanjant, çıktı katmanında ise softmax olarak belirlenmiştir. TEE'nin puanları üzerinde değişkenlerin önemlilikleri incelendiğinde 7 birimden oluşan tek katmanlı YSA modelinde yaklaşık %32 ile "üretim", %27 ile "kayıp metre", %21 ile "tecrübe" ve %20 ile "saat" değişkenlerinin olduğu saptanmıştır. Ayrıca 7 ve 5 birimden oluşan iki katmanlı YSA modelinde ise değişkenlerin önemlilikleri tek katmanlı ile benzer olup yaklaşık olarak %34 ile "üretim", %30 ile "kayıp metre", %20 ile "tecrübe" ve %16 ile "saat" değişkenlerinin olduğu bulunmuştur.

Sıralı ölçekteki TEE puanı için kurulan makine öğrenim algoritmalarına ait performansların karşılaştırılmasında istatistiksel ölçütler kullanılmıştır. Buna göre, kesinliği en yüksek olan kategori, lojistik regresyon algoritmasında 0,779 ile TEE'nin "normal" kategorisi olarak bulunmuştur. TEE'nin "normal" kategorisinde lojistik regresyondan sonra en yüksek başarı YSA tarafından elde edilmiştir. Bununla birlikte lojistik regresyonda TEE'nin "düşük" ve "yüksek" kategorisinde aynı başarı yüzdesi bulunamamıştır. Bunu CHAID algoritması ile TEE'nin "yüksek" kategorisi 0,752 ile takip etmiştir. Duyarlılıkta ise TEE'nin "normal" kategorisi tüm algoritmalarda da en düşük değer olarak gözlemlenmiştir. Sadece TEE'nin "yüksek" kategorisinde iki katmanlı YSA 0,886 değerini ve lojistik regresyon ise 0,877 değerini elde edilmiştir. Seçicilikte en yüksek olan kategori lojistik regresyon algoritmasında 0,920 ile TEE'nin "normal" kategorisi olarak bulunmuştur. Doğrulukları karşılaştırdığımızda ise en yüksek "doğruluk" 0,732 ile lojistik regresyon algoritmasında tespit edilmiştir. Bunu sırasıyla CHAID, CART ve YSA algoritmaları takip etmiştir (Tablo 6).

Tablo 6. CART, CHAID, lojistik regresyon ve YSA algoritmalarının performans değerleri

<i>Performans</i>	<i>CART</i>	<i>CHAID</i>	<i>Lojistik Regresyon</i>	<i>YSA/Tek Katman</i>	<i>YSA/İki Katman</i>
Kesinlik					
Düşük-1	0,698	0,718	0,695	0,668	0,648
Normal-2	0,716	0,716	0,779	0,738	0,750
Yüksek-3	0,741	0,752	0,734	0,713	0,750
Duyarlılık					
Düşük-1	0,756	0,762	0,822	0,761	0,745
Normal-2	0,537	0,563	0,510	0,517	0,559
Yüksek-3	0,876	0,868	0,877	0,863	0,886
Seçicilik					
Düşük-1	0,853	0,863	0,834	0,808	0,815
Normal-2	0,882	0,880	0,920	0,889	0,879
Yüksek-3	0,843	0,851	0,845	0,832	0,877
Doğruluk	0,718	0,730	0,732	0,703	0,713

Sonuç olarak sıralı ölçekteki TEE puanı için kullanılan makine öğrenim yöntemlerinde tüm performanslar dikkate alındığında lojistik regresyon modelinin çeşitli istatistiksel ölçütlere göre en iyi sonucu verdiği tespit edilmiştir.

5. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Günümüzde firmalar, müşteri, maliyet ve rakabet bileşenlerinin sebep olduğu zorlu koşullar altında faaliyetlerini devam ettirmektedirler. Özellikle müşteri beklentileri ve yatırım harcamaları firma maliyetlerini artırmaktadır. Bu da firmaları makine ve ekipmanlarını daha etkin bir şekilde kullanmaya önem vermek zorunda bırakmaktadır. Firmaların TEE puanı için verdikleri bu performans göstergelerini her yıl belirlemeleri ve bu puanı artırıcı çalışmalarda bulunmaları diğer firmalarla rekabet edebilmeleri açısından önemlidir. Bugüne kadar yapılmış üretim sektöründeki uygulamalarda TEE puanı sürekli olarak hesaplanmış, klasik yöntemler veya belli başlı makine öğrenim algoritmaları ile çözümlenmiştir.

Bu çalışmanın amacı üretim sektöründe sürekli olarak modellenen TEE puanını kategorik hale getirerek toplam ekipman etkinliğinin sınıfları arasındaki farkın firmalardaki yerini makine öğrenim algoritmaları ile nasıl yorumlanacağını göstermektedir. Çalışmada makine öğrenim algoritmalarından sınıflandırma, karar ağaçları ve yapay sinir ağları kullanılmıştır.

Üretim sektörlerine bağlı olarak farklı makine öğrenim algoritmaları kullanılabilir. Bunun için sektörlerle bağlı makine öğrenme algoritmaları birebir bulunmamasına karşın bazı üretim sektörlerinde kategorik bağımlı değişkenin olması ile özellikle sınıflandırma algoritmalarının kullanımı öne geçmektedir. Bununla birlikte sadece bağımlı değişkenin (çıkıtı) değil bağımsız değişkenlerinde (giriş) ölçek durumu ve sayısından dolayı daha kolay yorumlanabilmesi açısından karar ağaçları tercih edilebilir. Bağımlı değişkenin kategorik olduğu ve girdi değişkenlerinin çıkıtı değişkeni üzerindeki etkilerini oransal (odds oranı) olarak görmek için de sınıflandırma algoritmalarından lojistik regresyon modeli kullanılması kaçınılmazdır.

Maden üretim sektörü gibi pahalı sektörlerde TEE puanını artırmak için bir anda yenileme, geliştirme ve iyileştirme yapılamayacağından TEE puanının yavaş yavaş artırılmasıyla özellikle mali sonuçları görmek faydalı olabilir. Bu amaçla TEE puanı kategori olarak belirlenip bir sonraki kategoriye geçmek için özellikle hangi değişkenlerin nasıl bir boyutta değiştirileceğini görmek adına makine öğrenim yöntemlerinden lojistik ya da karar ağaçlarını kullanmak avantaja dönüşebilir. Bu çalışma ile bunun yapılabileceği gösterilmiştir. Ayrıca tekstil sektörü gibi bileşenleri çok fazla olan üretim sektörlerinde makine öğrenim algoritmaları ile TEE puanının kategorisinin belirlenerek en önemli değişkenin hangisi olduğu ve bu değişkenler üzerinde ilk olarak hangisine dikkat edilmesi gerekliliği karar ağaçları ya da yapay sinir ağları ile karar verilebilir.

Buna benzer şekilde literatürde çelik üretiminde planlı duruş süresinin hesaplanmasında TEE'ne yeni bir yaklaşımın kullanılabilirlik'teki düzeltme ile klasik yöntemlerle yapıldığı gösterilmiştir (Çelik, 2020). Ancak bu çalışmadaki gibi TEE kategorisi belirlenerek duruş süresi üzerinde hangi boyutta değişim gösterilerek yoğunlaşılacağı yüzdelerle veya oranlarla belirlenip alternatifler sunulabilir. Otomotiv üretim verisinde de rassal orman yöntemi kullanılarak TEE değeri ve performansı hesaplanmıştır (Hassani ve diğerleri, 2019: 2). Yine bu çalışmada olduğu gibi TEE kategorisi yüzdelerle belirlenerek hangi kategorisinin daha yüksek olduğu performans değerlerine bağlı olarak açıklanabilir. Bu çalışma için de sıralı ölçekte olan TEE puanı için üretim sektöründe olan bu firmaya sıralı lojistik regresyon modeli için yapılan yorumlar sunulabilir. Bu yorumlar firmanın normal TEE kategorisinde olan değerden yüksek TEE kategorisinde olan değere geçebilmesi için özellikle kayıp metresini azaltması ve makineyi işleyen çalışanların tecrübesini artırması şeklinde basitçe ifade edilebilir.

Sonuç olarak firmalar TEE kategorisini bildiği durumda veri setine ve amacına uygun makine öğrenim algoritmaları ile o kategoriden yükselme ya da aynı kalma durumu için yapabileceklerini TEE puanı üzerinde etkili olan değişkenleri kontrol altına tutarak gerçekleştirebilir. Ayrıca etkili olan değişkenlerin etki güçlerine bakılarak karar verme süreçlerinde daha hızlı, çarpıcı ve etkili kararlar alınabilir. Ortaya çıkan bu sonuçlar doğrultusunda araştırmacılar için sektör ve şirket bazında çalışmanın devamında çeşitli öneriler verilebilir. TEE, sanayi&imalat sektörünün birçok alt dalında kullanılmaktadır. Bu çalışmada kimya endüstrisinin üretim sektöründe kullanılmasına karşın piyasada yer alan tekstil ve konfeksiyon, gıda, metal eşya ve makine, seramik, cam ve taş ürünleri, kağıt ve kağıt ürünleri, ağaç ve mobilya ürünleri ve son olarak metal sanayi gibi farklı sektörler seçilerek çeşitli makine öğrenim algoritmalarının kullanılması ve o sektöre ait algoritma veya analizin belirlenmesi veya şirketlerin bir yıllık verisinden daha fazla verisinin toplanarak mevsimselliği, zamanı, trendi vb durumları dikkate alan zaman serisi bileşenlerinin olduğu modellerin kurulması da önerilmektedir. Ayrıca TEE'nin kategorik olarak belirlenmesi ile özellikle TEE'ni iyileştirme durumunda olan şirketlerin parametrelerini daha kolay yorumlayabilecekleri görselliği yüksek daha farklı karar ağaçları modellerinin kullanılması gelecek çalışmalar için planlanabilir. Bununla birlikte kategorik olarak modellenen TEE'nin kendi sektöründeki diğer şirketler ile olan karşılaştırılması ve kategori atlaması için yapması gereken iyileştirmeleri için en uygun makine öğrenme yöntemlerinden biri olan lojistik regresyon modeline ait çalışmalar yapılabilir. Son olarak veri setinin örneklem büyüklüğü ve parametrelerinin artırılmasıyla akan (güncellenen) veride şirket yöneticilerinin TEE hakkındaki kararlarına yön veren algoritmaların ve modellerin bilgisayar destekli olarak programlarının yazılması büyük verinin çözümlenmesi açısından gelecek çalışmalarda önerilmektedir.

Yazar Katkıları / Author Contributions

Özgül Vupa Çilengiroğlu: Literatür Taraması, Kavramsallaştırma, Metodoloji, Analiz, Makale Yazımı-inceleme ve düzenleme İlke Genç: Literatür Taraması, Modelleme, Analiz, Makale Yazımı-orijinal taslak
Özgül Vupa Çilengiroğlu: *Literature Review, Conceptualization, Methodology, Analysis, Writing-review and editing* İlke Genç: *Literature Review, Modelling, Analysis, Writing-original draft*

Çatışma Beyanı / Conflict of Interest

Yazarlar tarafından herhangi bir potansiyel çıkar çatışması beyan edilmemiştir.
No potential conflict of interest was declared by the authors.

Fon Desteği / Funding

Bu çalışmada herhangi bir resmi, ticari ya da kâr amacı gütmeyen organizasyondan fon desteği alınmamıştır.
Any specific grant has not been received from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Etik Standartlara Uygunluk / Compliance with Ethical Standards

Yazarlar tarafından, çalışmada kullanılan araç ve yöntemlerin Etik Kurul izni gerektirmediği beyan edilmiştir.
It was declared by the authors that the tools and methods used in the study do not require the permission of the Ethics Committee.

Etik Beyanı / Ethical Statement

Yazarlar tarafından bu çalışmada bilimsel ve etik ilkelere uyulduğu ve yararlanılan tüm çalışmaların kaynakçada belirtildiği beyan edilmiştir.
It was declared by the authors that scientific and ethical principles have been followed in this study and all the sources used have been properly cited.




Yazarlar, Verimlilik Dergisi'nde yayımlanan çalışmalarının telif hakkına sahiptirler ve çalışmalarını CC BY-NC 4.0 lisansı altında yayımlanmaktadır.
The authors own the copyright of their works published in Journal of Productivity and their works are published under the CC BY-NC 4.0 license.

KAYNAKÇA

- Abdelbar, K.M., Bouami, D., Elfezazi, S. (2019). "New Approach towards Formulation of the Overall Equipment Effectiveness", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 25(1), 90-127. DOI: 10.1108/JQME-07-2017-0046
- Acar, Ö. ve Çakırkaya, M. (2018). "Bir Üretim Hattında Toplam Ekipman Etkinliğinin Ölçülmesi ve Geliştirilmesi Üzerine Bir Uygulama", *Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Elektronik Dergisi*, 9(24), 217-230.
- Acosta, C.P., Terán, H.C., Arteaga, O. ve Terán, M.B. (2020). "Machine Learning in Intelligent Manufacturing System for Optimization of Production Costs and Overall Effectiveness of Equipment in Fabrication Models", *Journal of Physics: Conference Series*, 1432. DOI: 10.1088/1742-6596/1432/1/012085
- Akçacı, T. ve Özyurt, S. (2021). "Yalın Üretime Geçiş: İplik Sektöründe Bir Uygulama", *İşletme ve İktisat Çalışmaları Dergisi*, 9(2), 85-103.
- Becker, J.M., Borst, J. ve Veen, A. (2015). "Improving the Overall Equipment Effectiveness in High-Mix-Low-Volume Manufacturing Environments", *CIRP Annals*, 64(1), 419-422.
- Braglia, M., Frosolini, M. ve Zammori, F. (2009). "Overall Equipment Effectiveness of a Manufacturing Line (OEEML): An Integrated Approach to Assess Systems Performance", *Journal of Manufacturing Technology Management*, 20(1), 8-29. DOI: 10.1108/17410380910925389
- Corrales, L.C., Lambán, M.P., Hernandez Korner, M.E., Royo, J. (2020). "Overall Equipment Effectiveness: Systematic Literature Review and Overview of Different Approaches", *Applied Science*, 10, 6469. DOI: 10.3390/app10186469
- Costa, J. ve Cardoso, J. (2005). "Classification of Ordinal Data Using Neural Networks", *16th European Conference on Machine Learning*, Porto, Portugal, October 3-7, 2005 Proceedings, 690-697. ISBN-13 978-3-540-29243-2 Springer Berlin Heidelberg New York. DOI: 10.1007/11564096_70
- Çelik, H. (2019). "5S Uygulamalarının Ayar Süreleri ve Toplam Ekipman Etkinliğine Etkisi", *Yorum Yönetim Yöntem Uluslararası Yönetim Ekonomi ve Felsefe Dergisi*, 7(2), 95-110.
- Çelik, H. (2020). "Ekipman Etkinliğine Farklı Bir Yaklaşım: Genel Operasyon Etkinliği", *Verimlilik Dergisi*, 4, 25-40. DOI: 10.51551/verimlilik.560600
- Dobra, P ve Jósvai, J. (2022). "Predicting the impact of type changes on Overall Equipment Effectiveness (OEE) through machine learning", *2022 IEEE 1st International Conference on Internet of Digital Reality*, 23-24 June. DOI: 10.1109/IOD55468.2022.9986645
- Domingo, R. ve Aguado, S. (2015). "Overall Environmental Equipment Effectiveness as a Metric of a Lean and Green Manufacturing System", *Sustainability*, 7, 9031–9047. DOI: 10.3390/su7079031
- Engelmann, B. Schmitt, S., Miller, E., Bräutigam, V. ve Schmitt, J. (2020). "Advances in Machine Learning Detecting Changeover Processes in Cyber Physical Production Systems", *J. of Manufacturing and Materials Processing*, 4(108). DOI: 10.3390/jmmp4040108
- Ersöz, F. ve Çınar, Y. (2021). "Veri Madenciliği ve Makine Öğrenimi Yaklaşımlarının Karşılaştırılması: Tekstil Sektöründe bir Uygulama", *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 29, 397-414. DOI: 10.31590/ejosat.1035124
- Eroğlu, D.Y. (2019). "Systematization, Implementation and Analysis of the Overall Throughput Effectiveness Calculation for the Finishing Processes After Weaving". *Tekstil ve Konfeksiyon*, 29(2), 121-132.
- García-Arca, J., Prado-Prado J.C. ve Fernández-González, A.J. (2018). Integrating KPIs for Improving Efficiency in Road Transport. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 48(9), 931-951. DOI: 10.1108/IJPDLM-05-2017-0199
- Garza-Reyes, J.A., Eldridge, S., Barber, K.D. ve Soriano Meier, H. (2010). "Overall Equipment Effectiveness (OEE) and Process Capability (PC) Measures: A Relationship Analysis", *International Journal of Quality and Reliability Management*, 27(1), 48-62. DOI: 10.1108/02656711011009308
- Ghafoorpoor Yazdi, P., Azizi, A., Hashemipour, M. (2018). "An Empirical Investigation of the Relationship between Overall Equipment Efficiency (OEE) and Manufacturing Sustainability in Industry 4.0 with Time Study Approach", *Sustainability*, 10, 3031. DOI: 10.3390/su10093031
- Görener, A. (2012). "Toplam Verimli Bakım ve Ekipman Etkinliği: Bir İmalat İşletmesinde Uygulama", *Electronic Journal of Vocational Colleges*, 2(1), 15-20.
- Grossfeld, B. (2020). "Deep Learning vs Machine Learning". *Zendesk Blog*. January, 2023. <https://www.zendesk.com/blog/machine-learning-and-deep-learning/> (Erişim Tarihi: 12.03.2024).
- Hassani, I., Mazgualdi, C. ve Masrouf, T. (2019). "Artificial Intelligence and Machine Learning to Predict and Improve Efficiency in Manufacturing Industry", arXiv: 1901.02256, 2019.
- Him, L.C., Poh, Y.Y. ve Pheng, L.W. (2020). "Improvement of Overall Equipment Effectiveness from Predictive Maintenance", *International Conference on Digital Transformation and Applications (ICDXA)*.

- Kıyak Öztürk, E., Birant, K.U. ve Birant, D. (2019). "An Ordinal Classification Approach for Software Bug Prediction". *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 21(62), 533-544. DOI: 10.21205/deufmd.2019216218
- Muchiri, P. ve Pintelon, L. (2008). "Performance Measurement Using Overall Equipment Effectiveness (OEE): Literature Review and Practical Application Discussion", *International Journal of Production Research*, 46(13), 3517-3535. DOI:10.1080/00207540601142645
- Muñoz-Villamizar, A., Santos, J., Montoya-Torres, J., Jaca, C. (2018). "Using OEE to Evaluate the Effectiveness of Urban Freight Transportation Systems: A Case Study". *International Journal of Production Economics*, 197, 232-242. DOI: 10.1016/j.ijpe.2018.01.011
- Nakajima, S. (1988). "Introduction to TPM: Total Productive Maintenance". 11th Ed. New York, USA, Productivity Press.
- Nayak, D.M., Kumar, V.M.M., Naidu, G.S. ve Sharkar, V. (2013). "Evaluation of OEE in a Continuous Process Industry on an Insulation Line in a Cable Manufacturing Unit", *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 2(5), 1629-1634.
- Özkan, N.F., Ada, E.C. ve Genlik, S. (2019). "Toplam Ekipman Etkinliğinin İyileştirilmesinde Triz Kullanımı: Bir Uygulama", *Verimlilik Dergisi*, 2, 169-184.
- Paprocka, I., Kempa, W.M., Kalinowski, K., Grabowik, C. (2015). "Estimation of Overall Equipment Effectiveness Using Simulation Programme", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 95 (1), 1-6.
- Patel, C. ve Deshpande, V. (2016). "A Review on Improvement in Overall Equipment Effectiveness." *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*, 4, 642-650.
- Piccarreta, R. (2008). "Classification Trees for Ordinal Variables", *Computational Statistics*, 23, 407-427. DOI: 10.1007/s00180-007-0077-5
- Reyes, J.A.G. (2015). "From Measuring Overall Equipment Effectiveness (OEE) to Overall Resource Effectiveness (ORE)", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 21(4),506-527. DOI: 10.1108/JQME-03-2014-0014
- Purba, H.H., Wijayanto, E. ve Aristiara, N. (2018). "Analysis of Overall Equipment Effectiveness (OEE) with Total Productive Maintenance Method on Jig Cutting : A Case Study in Manufacturing Industry", *Journal of Scientific and Engineering Research*, 5(7), 397-406.
- Reddy, R.V.K. ve Babu, U.R. (2018). "A Review on Classification Techniques in Machine Learning", *International Journal of Advance Research in Science and Engineering*, 7(30), 40-47.
- Samoili, S., López Cobo, M., Gómez, E., De Prato, G., Martínez-Plumed, F. ve Delipetrev B. (2020). "Defining Artificial Intelligence. Towards an Operational Definition and Taxonomy of Artificial Intelligence". Luxembourg Publications Office of the European Union. ISBN 978+92-76-17045-7. DOI: 10.2760/382730
- Sarı, B.E., (2019). "Measuring The Performances of the Machines Via Preference Selection Index (PSI) Method and Comparing Them with Values of Overall Equipment Efficiency (OEE)", *İzmir İktisat Dergisi*, 34(4), 573-581.
- Singh, R.K., Clements, E.J. ve Sonwaney, V. (2018). "Measurement of Overall Equipment Effectiveness to Improve Operational Efficiency", *Int. J. Process Management and Benchmarking*, 8(2), 246-261.
- Şapcı, B. ve Taşlı Pektaş, Ş. (2021). "Makine Öğrenmesi Aracılığı ile Kullanıcı Deneyimi Bilgilerinin Erken Mimari Tasarım Süreçleriyle Bütünleştirilmesi", *Journal of Computational Design*, 2(1), 67-94.
- Tsarouhas, P.H. (2013). "Evaluation Of Overall Equipment Effectiveness in The Beverage Industry: A Case Study", *International Journal of Production Research*, 51(2), 515-253. DOI: 10.1080/00207543.2011.653014
- Udomraksasakul, C. ve Udomraksasakul, C. (2018). "Increase Improvement of Overall Equipment Effectiveness of Plastic Molding Machine", *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 9(10), 1107-1113.
- Wudhikarn, R. (2016). "Implementation of the Overall Equipment Cost Loss (OECL) Methodology for Comparison with Overall Equipment Effectiveness (OEE)", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 22(1), 81-93.
- Yaşın, M., Daş, G. (2017). "KOBİ'lerde Ekipman Etkinliğinin İyileştirilmesinde TEE Tabanlı Yeni Bir Yaklaşım: Bir Ahşap İşleme Kuruluşunda Uygulama", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(1), 45-52.
- Yılmaz, Ü. Ve Kuvat, Ö. (2023). "Investigating the Effect of Feature Selection Methods on the Success of Overall Equipment Effectiveness Prediction", *Uludağ University Journal of the Faculty of Engineering*, 28(2). DOI: 10.17482/uumfd.1296479

Yeşil Ekonomi Yolunda OECD Ülkelerinde Yenilenebilir Enerji Tüketimi Analizi

Ayşegül Han¹ 

ÖZET

Amaç: Bu çalışmada, 1990-2022 yılları arasında 38 OECD ülkesinde yenilenebilir enerji ile karbon emisyonu, ekonomik büyüme, dış ticaret ve işsizlik değişkenleri arasındaki ilişkinin incelenmesi amaçlanmaktadır.

Yöntem: Değişkenlerin durağanlık sınavasının yapılması amacıyla CADF-CIPS birim kök testi ve değişkenler arasındaki nedensellik ilişkilerinin tespit edilmesi için Emirmahmutoğlu ve Köse (2011) nedensellik analizi uygulanmıştır.

Bulgular: Nedensellik analizinden elde edilen bulgular, yenilenebilir enerjinin ekonomik büyüme, çevresel sürdürülebilirlik ve istihdam üzerinde olumlu etkileri olduğunu göstermektedir. Çalışmada, yenilenebilir enerji ile karbon emisyonları arasında çift yönlü nedensellik belirlenmiştir. Ayrıca, yenilenebilir enerji ile ekonomik büyüme arasında da çift yönlü nedensellik olduğu bulgusuna ulaşılmıştır. İhracattan yenilenebilir enerjiye doğru tek yönlü nedensellik belirlenmiştir. Yenilenebilir enerji ile ithalat arasında çift yönlü nedensellik olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, yenilenebilir enerji ve işsizlik arasında tek yönlü nedensellik saptanmıştır.

Özgünlük: Bu çalışmanın özgünlüğü, 38 OECD ülkesinde 1990-2022 yılları arasında yapılan analizlerle yenilenebilir enerji, karbon emisyonları, ekonomik büyüme, dış ticaret ve işsizlik arasındaki ilişkileri derinlemesine incelemesi ve istatistiksel yöntemlerle elde edilen sonuçlarını sunmasıdır. Bu analizler, konuyla ilgili yeni ve önemli perspektifler sunarak çalışmanın özgünlüğünü ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Panel Nedensellik, Yenilenebilir Enerji, Ekonomik Büyüme, Dış Ticaret, İşsizlik ve İstihdam.

JEL Kodları: F18, O13, Q43.

Analysis of Renewable Energy Consumption in OECD Countries on the Road to Green Economy

ABSTRACT

Purpose: The purpose of this study is to examine the relationship between renewable energy and carbon emissions, economic development, international trade, and unemployment in 38 OECD countries between 1990 and 2022.

Methodology: The CADF-CIPS unit root test was used to assess the stationarity of the variables, and Emirmahmutoğlu and Köse's (2011) causality analysis was used to identify the causal relationships between the variables.

Findings: The results of the causality study show that employment, environmental sustainability, and economic growth are all positively affected by renewable energy. The study found a bidirectional causal relationship between carbon emissions and renewable energy. It also found a bi-directional causal relationship between renewable energy and economic development. Exports of renewable energy were found to have a unidirectional causal relationship. Imports and renewable energy were found to have a bidirectional causal relationship. On the other hand, a one-way causal relationship was found between unemployment and renewable energy.

Originality: The originality of this study lies in its in-depth analysis of the relationships between renewable energy, carbon emissions, economic growth, foreign trade and unemployment, based on analyses carried out between 1990 and 2022 in 38 OECD countries, and in the presentation of the results obtained using statistical methods. These analyses demonstrate the originality of the study by offering new and important perspectives on the subject.

Keywords: Panel Causality, Renewable Energy, Economic Growth, Foreign Trade, Unemployment and Employment.

JEL Codes: F18, O13, Q43.

¹ İnönü Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Ekonometri Bölümü, Malatya, Türkiye

Sorumlu Yazar-Corresponding Author: Ayşegül Han, aysegulhann@gmail.com

DOI: 10.51551/verimlilik.1388229

Araştırma Makalesi / Research Article | Geliş / Submitted: 09.11.2023 | Kabul / Accepted: 01.02.2024

Atıf/Cite: Han, A. (2024). "Yeşil Ekonomi Yolunda OECD Ülkelerinde Yenilenebilir Enerji Tüketimi Analizi", *Verimlilik Dergisi*, 58(2), 185-200.

EXTENDED ABSTRACT

This study emphasizes the importance of a green economy and renewable energy by addressing the balance between combating climate change and economic growth. Analyses of 38 OECD countries examine the effects of renewable energy use on environmental sustainability, economic growth, foreign trade, and unemployment. The main objective is to understand the role of the green economy and renewable energy in the climate change crisis.

Tackling the climate change crisis and balancing economic growth is one of the most pressing and complex global challenges of our time. Recognizing this challenge, global policymakers and economists are seeking solutions that promote economic growth while ensuring environmental sustainability. The necessity and motivation of this study are to understand and assess the role of renewable energy in achieving the balance between combating climate change and economic growth. The use of renewable energy sources is critical for a sustainable future, and understanding the economic, environmental, and social impacts of these sources is important for effective policymaking.

The main objective of the study is to examine the relationships between renewable energy, carbon emissions, economic growth, foreign trade, and unemployment by analyzing 38 OECD countries. In line with this main objective, the research questions are as follows:

- Is increased use of renewable energy effective in reducing carbon emissions?
- How does the use of renewable energy sources affect economic growth?
- How does the increase in renewable energy demand affect the balance of trade?
- What impact do renewable energy projects have on unemployment?

The main motivation of this study is to understand the role of renewable energy in combating the climate change crisis, generating economic growth, and contributing to generating more effective policy solutions.

The data set used in this study is a panel data set covering variables such as renewable energy use, carbon emissions, economic growth, foreign trade, and unemployment for 38 OECD countries. The data covers the period between 1990 and 2022. Panel data analysis was used as the research method. Panel data analysis combines time series and cross-sectional data to examine variations both over time and across countries. This method of analysis is a suitable choice for the objectives of the research and the nature of the data set.

As a result of the study, increased use of renewable energy is seen to play an important role in reducing carbon emissions, especially in countries such as Finland. The relationship between economic growth and renewable energy varies across countries; in some countries, there is a unidirectional causality between economic growth and renewable energy, while in others, increased renewable energy utilization has stimulated economic growth. Moreover, the impact on foreign trade is also important; for example, in countries such as Australia, the Czech Republic, Japan, and the Netherlands, increased exports have been found to increase the demand for renewable energy. When the relationship between unemployment and renewable energy is analyzed, it is observed that in some countries, unemployment may trigger renewable energy investments, but in other countries, it is emphasized that renewable energy investments have the potential to increase employment.

The main conclusions based on the research findings are as follows: Renewable energy use is effective in reducing carbon emissions and is important for environmental sustainability. It has been found that the relationship between economic growth and renewable energy varies from country to country; in some countries, this relationship is direct, but in others, it is more complex. It is observed that the impact of renewable energy utilization on foreign trade is significant, and increased exports increase the demand for renewable energy. The relationship between unemployment and renewable energy is also found to vary across countries; in some countries, renewable energy investments have the potential to increase employment, but in others, unemployment may trigger renewable energy investments. In conclusion, it is emphasized that no single model is sufficient to understand the environmental, economic, and social impacts of renewable energy use and that there are large differences between countries. This study was conducted only in 38 OECD countries. Other countries can be taken into consideration in future studies. The social impacts of renewable energy use can be analyzed in more detail.

1. GİRİŞ

Günümüz dünyasında, iklim değişikliği kriziyle mücadele ve ekonomik büyüme arasında denge sağlamak, küresel politika yapıcılar ve ekonomistler için kaçınılmaz bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu bağlamda, yeşil ekonomi kavramı önemli bir rol oynamaktadır. Yeşil ekonomi, ekonomik büyümeyi desteklerken doğal kaynakları koruma ve çevresel etkileri minimize etme amacı taşımaktadır.

Genelikle ekonomik büyüme modelleri doğal kaynakları tükenme noktasına getirdiği için, yeşil ekonomi ve yenilenebilir enerji kaynakları geleceğin sürdürülebilirlik temellerini oluşturmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları, doğadan elde edilen güneş, rüzgâr, hidroelektrik, jeotermal ve gelgit enerjisi gibi kaynakları kullanarak enerji üretmektedir. Bu kaynaklar, sınırlı fosil yakıtların aksine sürekli olarak mevcuttur ve atmosfere zararlı karbon emisyonlarını en düşük seviyede tutmaktadır. Fosil yakıtlardan kaynaklanan sera gazları, iklim değişikliği ve hava kirliliği gibi ciddi sorunlara yol açmaktadır (Zastempowski, 2023). Oysa yenilenebilir enerji, bu zararlı emisyonları azaltarak çevresel etkileri önemli ölçüde minimize etmektedir. Ayrıca, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı doğal habitatları korumakta, su kaynaklarını temiz tutmakta, biyoçeşitliliği desteklemekte ve ekosistemlerin dengesini ve doğal yaşamın devamlılığını sağlamaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, enerji güvenliği açısından da büyük bir öneme sahiptir. Fosil yakıtların fiyatlarındaki dalgalanmalar ve arz güvenliği riskleri, yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini daha da artırmaktadır. Ayrıca, yenilenebilir enerji sektörü yeni iş olanakları oluşturmakta ve ekonomik büyümeyi desteklemektedir. Mühendislik, imalat, bakım ve yönetim gibi bir dizi sektörde istihdam yaratarak aynı zamanda yeşil teknolojilere olan talebi artırarak inovasyonu teşvik etmektedir (Yu ve diğerleri, 2022).

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, aynı zamanda enerji sektöründeki dönüşümü hızlandırarak doğrudan verimlilikle de ilişkilidir. Yenilenebilir enerji, enerji üretiminde sürekli kaynaklara dayandığı için enerji verimliliğini artırabilir (Yalçın ve Yalçın, 2021). Bu durum, sadece enerji tüketimini optimize etmekle kalmayıp, aynı zamanda enerji altyapısının sürdürülebilirliğini güçlendirerek ekonomik sektörlerin rekabet avantajını artırmaktadır. Bu nedenle, bu çalışma aynı zamanda yenilenebilir enerji kullanımının ekonomik verimliliğe olan potansiyel etkilerini de değerlendirecek ve enerji sektöründeki dönüşümün, sürdürülebilir ve etkili bir ekonomik büyümeyi desteklemedeki rolünü açıklığa kavuşturacaktır.

Yenilenebilir enerji konusunda literatürde niceliksel bir artış söz konusudur. Ekonomik büyüme (Apergis ve diğerleri, 2010; Bölük ve Mert, 2014; Ibrahim, 2015; Bhattacharya ve diğerleri, 2017; Rahman ve Velayutham, 2020; Razmi ve diğerleri, 2020; Fan ve Hao, 2020; Belaïd ve diğerleri, 2021; Han, 2022), çevre (Shafiei ve Salim, 2014; Paramati ve diğerleri, 2016; Dong ve diğerleri, 2018; Akram ve diğerleri, 2020; Liu ve diğerleri, 2020), işsizlik (Hillebrand ve diğerleri, 2006; Wei ve diğerleri, 2010; Iglinski ve diğerleri, 2016; Rafiq ve diğerleri, 2018; Ağpak ve Özçiçek 2018) ve dış ticaret (Chang ve diğerleri, 2009; Vaona, 2016; Doğan ve Şeker, 2016; Shahbaz ve diğerleri, 2017) gibi farklı değişkenler ile yenilenebilir enerji tüketimi ilişkisini ele alan çalışmalar bulunmaktadır. Ancak, bu çalışmalarda genel olarak tek bir değişkene odaklanılmıştır. Bu çalışma ise yenilenebilir enerji ile ekonomik büyüme, çevre, işsizlik ve dış ticaret gibi temel değişkenler arasındaki ilişkiyi ele alarak, literatürde genellikle tek bir değişkene odaklanan çalışmalardan farklıdır. Bu özgün yaklaşımın istatistiksel yöntemlerle elde edilen sonuçlarla birleşerek, yenilenebilir enerji ile çevresel ve ekonomik parametreler arasındaki ilişkilerin anlaşılmasına önemli bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

OECD ülkeleri, küresel ekonomide belirgin bir rol oynamakta ve bu ülkeler, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırmada öncü konumda bulunmaktadır. Yenilenebilir enerjinin, ekonomik büyüme, çevresel sürdürülebilirlik ve istihdam üzerindeki etkileri, bu ülkelerin enerji politikalarının önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Bu bağlamda 38 OECD ülkesi üzerinde yapılan analizler, 1990-2022 yılları arasındaki verilerle yenilenebilir enerji, karbon emisyonları, ekonomik büyüme, dış ticaret ve işsizlik arasındaki ilişkileri incelemektedir.

Çalışma konusu, küresel ölçekte çevresel sürdürülebilirliğin ve ekonomik büyümenin giderek artan bir şekilde birbirine bağlı olduğu bir dönemde, yenilenebilir enerji kullanımının, karbon emisyonlarının azaltılmasının, dış ticaretin yönetilmesinin ve işsizliğin kontrol altında tutulmasının kritik öneme sahip olduğunu belirtmek açısından önem taşımaktadır. Aynı zamanda, bu konular arasındaki ilişkilerin anlaşılmasının, politika yapıcılarının stratejilerini daha iyi uyarlamalarına ve bütünsel bir yaklaşımla sürdürülebilir bir gelecek inşa etmelerine yardımcı olabileceğini vurgulamaktadır.

Çalışmanın akışı, öncelikle ele alınan konunun genel bir çerçevesini çizerek başlamakta, ardından önemli olduğu düşünülen değişkenlerin incelendiği bir literatür taramasıyla devam etmektedir. Daha sonra, kullanılan yöntem ve analizler detaylı bir şekilde açıklanmaktadır. Bulgular bölümü, yenilenebilir enerjinin ekonomik büyüme, çevresel sürdürülebilirlik ve istihdam üzerindeki etkilerini ortaya koyarak, bu ilişkilerin

doğasını anlama noktasında değerli bilgiler sunmaktadır. Sonuçlar, çalışmanın katkıları ve sınırlamalarıyla birlikte sunulurken, gelecekteki araştırmalara yönelik önerilerle tamamlanmaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Yenilenebilir enerji ile karbon emisyonları arasındaki ilişki, çevresel sürdürülebilirlik açısından oldukça önemli bir konudur. Bu konudaki araştırmalardan Shafiei ve Salim (2014) tarafından yürütülen bir çalışma, OECD ülkelerinde yenilenebilir enerji ve karbon emisyonları arasındaki ilişkiyi inceleyerek, yenilenebilir enerji tüketiminin karbon emisyonlarını azalttığını, aksine yenilenemeyen enerjinin karbon emisyonlarını artırdığını göstermiştir. Diğer bir araştırmada, Paramati ve diğerleri (2016), 20 yükselen piyasa ekonomisinde karbondioksit emisyonlarının yenilenebilir enerji talebine zarar verdiğini belirlemiştir. Chen ve Lei (2018) ise ekonomik kalkınmanın yenilenebilir enerji tüketimini artırdığını göstermiştir. Cheng ve diğerleri (2020), maliyet düşürmenin Çin'de yenilenebilir enerji tüketimini artırdığını ortaya koymuş, Dong ve diğerleri (2018) ile Yu ve diğerleri (2020) ise yenilenebilir enerji tüketiminin Çin'deki karbon emisyonlarını azalttığını göstermiştir. Bu negatif ilişki, Akram ve diğerleri (2020) tarafından gelişmekte olan ekonomilerde ve Liu ve diğerleri (2020) tarafından İngiltere için de doğrulanmıştır.

Yenilenebilir enerji ve ekonomik büyüme arasındaki ilişki, ekonomistler ve politika yapıcılar için önemli bir araştırma alanıdır. Sadorsky (2009) tarafından yapılan bir çalışma, ekonomik büyümenin, yenilenebilir enerji kullanımının artırılmasında kritik bir rol oynadığını göstermiştir. Salim ve Rafiq (2012) yaptıkları çalışmada, Çin, Brezilya, Endonezya, Filipinler, Hindistan ve Türkiye için benzer sonuçlara ulaşmıştır. Ayrıca, Belaïd ve Zrelli (2019), Rahman ve Velayutham (2020), Razmi ve diğerleri (2020), Fan ve Hao (2020), Chen ve diğerleri (2020), Belaïd ve diğerleri (2021) ve Han (2022) çalışmalarında ekonomik büyüme ve yenilenebilir enerji arasında anlamlı ilişki bulmuşlardır.

Yenilenebilir enerji ile dış ticaret arasındaki ilişki, günümüzde enerji güvenliği ve ekonomik bağımsızlık açısından büyük bir öneme sahiptir. Bu konudaki çalışmalardan Jebli ve diğerleri (2013), 25 OECD ülkesinde yenilenebilir enerji ile ticari faktörler arasında uzun vadeli bir ilişki elde etmiştir. Sebrî ve Salha (2014), BRICS ülkeleri üzerinde yaptıkları araştırmada, Brezilya ve Hindistan için ekonomik büyüme, yenilenebilir enerji, karbon emisyonları ve ticari açıklık arasında yönlü nedensellik belirlemiştir. Yazdi ve Mastorakis (2014), İran için ticari açıklıkla yenilenebilir enerji kullanımı arasında eşbütünlük ve kısa vadeli nedensellik bulgusuna ulaşmışlardır. Tiba ve diğerleri (2015), 24 ülkeye yaptığı araştırmada Çin, İsveç ve İngiltere için ticari açıklıkla yenilenebilir enerji arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi belirlemişlerdir. Akar (2016), 12 Balkan ülkesinde ticari açıklığın yenilenebilir enerji tüketimine pozitif etkisini belirlemiştir. Doğan ve Şeker (2016) AB-15 ülkelerinde yenilenebilir enerji, ticaret ve karbon emisyonları arasında nedensellik ilişkisi olmadığı bulgusuna ulaşmıştır. Shahbaz ve diğerleri (2017), ABD'de biyokütle enerji tüketimi ve ticari açıklık ve petrol fiyatları arasında nedensellik ilişkisi bulmuştur.

Yenilenebilir enerji ile işsizlik arasındaki ilişki, ekonomik istihdam ve sosyal refah açısından büyük öneme sahiptir. Çeşitli araştırmalar, bu ilişkiyi inceleyerek önemli bulgular ortaya koymuştur. Lehr ve diğerleri (2008) Almanya'da yaptıkları çalışmada, yenilenebilir enerjinin işsizliği artırabileceğini göstermişlerdir. Ancak, Ragwitz ve diğerleri (2009) tarafından yapılan bir çalışma, Avrupa Birliği genelinde yenilenebilir enerji politikalarının istihdamı olumlu yönde etkilediğini bulmuştur. Mısır'da Khodeir (2016) tarafından yapılan bir çalışma, uzun vadede yenilenebilir enerjinin işsizliğe olumlu etkisi olduğunu göstermiştir. Hollanda'da Bulavskaya ve Reynès (2018) tarafından yapılan bir çalışma, yenilenebilir enerjiye geçişin istihdamı artırabileceğini ve GSYH'ye katkı sağlayabileceğini belirtmiştir. Türkiye'de Barak ve Çelik (2018) tarafından yapılan bir çalışma, uzun dönemde yenilenebilir enerjinin işsizliği azaltabileceğini göstermiştir. Moummy ve diğerleri (2021) tarafından Fas için yapılan bir çalışmada ise yenilenebilir enerjinin işsizliği azalttığı ampirik olarak kanıtlanmıştır. Rafiq ve diğerleri (2018) ve Ağpak ve Özçiçek (2018) çalışmaları ise farklı bir görüş sunmuştur. Rafiq ve diğerleri (2018) 41 ülkeyi kapsayan çalışmalarında, yenilenebilir enerji tüketiminin işsizliği artırdığını göstermişlerdir. Ağpak ve Özçiçek (2018) ise 59 ülkeyi inceleyerek yenilenebilir enerjinin istihdamdaki etkilerinin genellikle negatif olduğunu ve özellikle genç istihdamı olumsuz etkilediğini belirtmişlerdir.

Literatür taraması, yenilenebilir enerji ile karbon emisyonları, ekonomik büyüme, dış ticaret ve işsizlik arasındaki ilişkileri ele alan çeşitli araştırmaların bulgularını sunmaktadır. Ancak, bu çalışmalar arasında bazı tartışmalı konular ve çelişkili sonuçlar bulunmaktadır, bu da belirli araştırma boşluklarını ortaya koymaktadır. Bu çalışma, öncelikle literatürdeki bazı çatışmalı bulguları çözerek, yenilenebilir enerji ile karbon emisyonları, ekonomik büyüme, dış ticaret ve işsizlik arasındaki ilişkilere daha net bir bakış sunmaktadır. Ayrıca, genellikle tek bir değişken üzerine odaklanan çalışmaların aksine, bu çalışma, bu faktörler arasındaki karmaşıklığı anlamak için bir arada ele alarak nedensellik ilişkilerini incelemektedir.

3. VERİ SETİ VE YÖNTEM

Yapılan bu araştırmada, yenilenebilir enerji ile karbon emisyonu, ekonomik büyüme, dış ticaret ve işsizlik değişkenleri ilişkisi, 38 OECD ülkesi için 1990-2022 yılları panel veri analizi ile incelenmiştir. Çalışmanın modeli Eşitlik 1'deki gibidir:

$$LNYET_t = \alpha_{it} + \beta_1 LNCO2_{it} + \beta_2 EB_{it} + \beta_3 LNIHR_{it} + \beta_4 LNITH_{it} + \beta_5 ISZ_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

Bu çalışmada, yenilenebilir enerji tüketimi ($LNYET$), karbon emisyonu ($LNCO2$), ihracat ($LNIHR$) ve ithalat ($LNITH$) değişkenlerinin logaritması alınarak analiz gerçekleştirilmiştir. Logaritma alma, üstel büyüme gösteren serileri doğrusal hale getirerek verilerin istatistiksel analizini kolaylaştırmaktadır. Çalışmada tercih edilen yöntemlerle nedensellik ilişkilerini hassas bir şekilde değerlendirmek ve analizlerin doğruluğunu artırmak amaçlanmaktadır.

3.1. CADF-CIPS Birim Kök Testi

CADF testi, standart ADF birim kök testinin serilerdeki farklılıklar ve yatay kesit ortalamalarında gecikme seviyeleri ile genişletilmesini inceleyen bir tekniktir (Pesaran, 2007). Bu test, birimler arasındaki korelasyonu gidermek için ADF regresyonunun birinci farkını alır ve ana denklem aşağıdaki gibidir (Eşitlik 2):

$$y_{it} = (1 - \phi_i)\mu_i + \phi_i y_{i,t-1} + u_{it} \quad (2)$$

Burada; $i = 1, \dots, N$; $t = 1, \dots, T$ ve $u_{it} = \gamma_i f_t + \varepsilon_{it}$ 'dir. f_t gözlemlenemeyen ortak etkileri, ε_{it} ise hata terimini ifade etmektedir. $\phi_i = 1$ olduğunda CADF testinde incelenen denklem şu şekildedir (Eşitlik 3):

$$\Delta y_{it} = \alpha_i + \beta_i y_{i,t-1} + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

Burada $\alpha_i = (1 - \phi_i)\mu_i$, $\beta_i = -(1 - \phi_i)$ ve $\Delta y_{it} = y_{it} - y_{i,t-1}$ olarak tanımlanır. Bu genişletilmiş regresyon denklemi, y_{it} 'nin gecikmeli birinci farklarının eklenmesiyle elde edilir.

Hesaplanan CADF istatistik değeri Pesaran (2007) istatistik değerinden küçük ise değişkenin durağanlaştığı sonucuna varılır. Ancak, her bir yatay kesit değerinin durağanlığını CADF ile test etmek zordur. Bu nedenle CADF regresyonu tahmin edildikten sonra panelin geneli CIPS istatistiği ile değerlendirilmektedir. CIPS, her bir yatay kesit için CADF istatistiklerinin ortalaması olarak belirlenir (Eşitlik 4).

$$CIPS = N^{-1} \sum_{i=1}^N CADF_i \quad (4)$$

CIPS istatistiği, gecikmeli değişkenlerin t-istatistiklerinin ortalaması alınarak bulunur. Her bir yatay kesit için CADF test istatistiklerinin ortalaması kullanılarak panel veri seti üzerinde birim kök testi yapma imkanı sağlamaktadır (Pesaran, 2004).

3.2. Emirmahmutoğlu ve Köse Nedensellik Analizi

Granger nedensellik testi, Emirmahmutoğlu ve Köse (2011)'nin nedensellik testinin temelini oluşturmaktadır. Bu test heterojen panellere uygulanabilir ve özellikle değişkenlerin yatay kesit bağımlılığı veya eşbütünlüşme arasında bir bağlantı olmadığı durumlarda kullanışlıdır (Altiner, 2019).

Heterojen panellerde Granger nedensellik için bir test istatistiği Fisher (1932) tarafından önerilmiş ve değerlendirilmiştir. Fisher (1932), bağımsız testlerin p-değerlerini birleştirerek anlamlılık düzeylerini değerlendirmiştir. Fisher (1932)'in testi, serilerde yatay kesit bağımlılığı olduğunda güvenilir sonuçlar vermeyebilir. Bu gibi durumlarda test bootstrap tekniği kullanılarak gerçekleştirilir. Bu teknik, her bir i için sistemdeki maksimum bütünlüşme sırasını belirleyen $dmax_i$ ile ilişkili $k_i + dmax_i$ ile gecikmeli bir VAR modeli kullanır. Bu model, nedenselliği tespit etmek için iki değişken arasındaki maksimum ilişkiyi belirtir (Emirmahmutoğlu ve Köse, 2011). Model denklemi aşağıdaki gibidir (Eşitlik 5):

$$\begin{aligned} x_{i,t} &= \mu_i^x + \sum_{j=1}^{k_i+dmax_i} A_{11,ij} x_{i,t-j} + \sum_{j=1}^{k_i+dmax_i} A_{12,ij} y_{i,t-j} + u_{i,t}^x \\ y_{i,t} &= \mu_i^y + \sum_{j=1}^{k_i+dmax_i} A_{21,ij} x_{i,t-j} + \sum_{j=1}^{k_i+dmax_i} A_{22,ij} y_{i,t-j} + u_{i,t}^y \end{aligned} \quad (5)$$

Burada $dmax_i$, her bir i için sistemdeki en yüksek bütünlüşmeyi temsil eder ve x ile y gibi iki değişken arasındaki nedenselliği tespit etmek amacıyla maksimum ilişkiyi belirtmektedir (Emirmahmutoğlu ve Köse, 2011).

4. BULGULAR

Panel veri analizinde, birim kök sınavasından önce yatay kesit bağımlılık testinin yapılması gerekmektedir. Yatay kesit bağımlılık, analiz sonuçlarını etkileyebileceği için, analizden önce kullanılacak birim kök testinin

seçiminde önemli bir rol oynamaktadır. Yatay kesit bağımlılığı testlerinden $T > N$ durumunda Breusch-Pagan (1980) LM testi, $T = N$ durumunda Pesaran (2004) Scaled LM testi, $T < N$ durumunda Pesaran (2004) CD testi ve $T > N$ veya $N > T$ durumunda ise Bias-Adjusted testi kullanılmaktadır. Bu çalışmada, incelenen örnekleme $N > T$ olduğundan Bias-Adjusted testi sonuçları dikkate alınmıştır. Yatay kesit bağımlılık testine ait sonuçlar Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Yatay kesit bağımlılık testi sonuçları

	<i>LNJET</i>	<i>LNCO2</i>	<i>EB</i>	<i>LNIHR</i>	<i>LNITH</i>	<i>ISZ</i>
Breusch-Pagan LM	1012.588*	1341.348*	1224.83*	1096.926*	1070.582*	1099.004*
Pesaran Scaled LM	8.256*	17.024*	13.917*	10.506*	9.803*	10.561*
Bias-corrected Scaled LM	-31.53*	-32.287*	-32.432*	-31.815*	-32.239*	-32.922*
Pesaran CD Test	-30.534*	31.519*	-33.067*	31.352*	35.955*	-32.573*

* $p < 0.01$

Yatay kesit bağımlılık testlerinin bulguları, değişkenler arasında yatay kesit bağımlılık olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlar, değişkenlerin zaman içinde birbirlerini etkilediğini ve analizde yatay kesit bağımlılığının dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Bundan dolayı çalışmada, ikinci nesil panel birim kök testlerinden olan CADF-CIPS birim kök testi uygulanmıştır. Birim kök testi bulguları Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Birim kök testi sonuçları

	<i>CIPS-stat</i>		<i>CIPS-stat</i>
<i>LNJET</i>	-2.113	Δ <i>LNJET</i>	-3.756*
<i>LNCO2</i>	-2.206	Δ <i>LNCO2</i>	-3.561*
<i>EB</i>	-1.477	Δ <i>EB</i>	-4.757*
<i>LNIHR</i>	-2.318	Δ <i>LNIHR</i>	-3.448*
<i>LNITH</i>	-1.245	Δ <i>LNITH</i>	-4.208*
<i>ISZ</i>	-2.427	Δ <i>ISZ</i>	-3.15*

Not: Kritik değer %1 anlamlılık düzeyi için 2.81 şeklindedir. * $p < 0.01$.

CADF testiyle yapılan ülkelerin ayrı ayrı durağanlık analizi sonuçlarına göre, bütün ülkelerin farklı anlamlılık düzeylerinde, birinci farkta durağanlaştığı belirlenmiştir. Ancak, elde edilen CADF birim kök testi sonuçları çok uzun tablolar oluşturduğu için makaleye eklenmemiştir. CIPS test sonuçları, değişkenlerin OECD ülkeleri için birinci farkta durağan olduğunu doğrulamaktadır. Bu bulgular, analizde kullanılan veri setinin birinci farklarının istatistiksel açıdan anlamlı olduğunu belirtmektedir. Yenilenebilir enerji ve karbon emisyonu arasındaki nedensellik ilişkisinin bulguları Tablo 3'te belirtilmiştir.

Yenilenebilir enerji tüketimiyle karbon emisyonları arasındaki Panel Fisher istatistiklerinin incelenmesi sonucunda, yenilenebilir enerji ile karbon emisyonu arasında çift yönlü nedensellik bulgusuna ulaşılmıştır. Yani, yenilenebilir enerji kullanımının artması karbon emisyonlarını azaltabilirken, aynı zamanda düşük karbon emisyonuna sahip bir ekonomi de yenilenebilir enerji kaynaklarına daha fazla yönelebilir.

Finlandiya'da elde edilen çift yönlü nedensellik ilişkisi, yenilenebilir enerji kaynaklarının artışının çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli olduğunu gösterirken aynı zamanda karbon emisyonlarının azaltılmasının da daha fazla yenilenebilir enerji kullanımı ile mümkün olduğunu vurgulamaktadır. Bu bulgu, Finlandiya'nın çevresel hedeflerine ulaşma yolunda yenilenebilir enerjiye daha fazla yatırım yapmasının stratejik bir yaklaşım olduğunu göstermektedir.

Kosta Rika, Çekya, Danimarka, İngiltere, İtalya ve Hollanda'da, yenilenebilir enerji tüketiminden karbon emisyonlarına doğru tek yönlü nedensellik bulgusu elde edilmiştir. Yani bu ülkelerin yoğun bir şekilde yenilenebilir enerji kullanımına odaklandığı ve bunun karbon emisyonlarını azaltma çabalarını güçlendirdiği görülmektedir. Bu durum, yenilenebilir enerji projelerine yapılan yatırımların, temiz enerji kaynaklarının daha fazla kullanılmasıyla birlikte karbon emisyonlarının düşürülmesine katkı sağladığını göstermektedir. Dolayısıyla, bu ülkelerdeki çevre politikaları ve sürdürülebilir enerji stratejileri, ekonomik büyümeyi sürdürülebilir bir şekilde destekleme hedefiyle uyumlu bir biçimde karbon azaltma çabalarını tetiklemektedir.

Belçika, İsviçre, Fransa, Macaristan, İsrail ve Lüksemburg'da, karbon emisyonlarından yenilenebilir enerji tüketimine doğru tek yönlü nedensellik bulgusu elde edilmiştir. Elde edilen sonuç, bu ülkelerin enerji dönüşümü ve sürdürülebilir kalkınma stratejilerini bir araya getirerek çevresel etkileri azaltma amacını güçlendirdiğini ortaya koymaktadır.

Tablo 3. Yenilenebilir enerji ve karbon emisyonu arasındaki nedensellik testi sonuçları

	<i>Gecikme</i>	<i>Wald</i>	<i>Olasılık</i>		<i>Gecikme</i>	<i>Wald</i>	<i>Olasılık</i>
<i>LN_{YET} → LN_{CO₂}</i>	<i>Uzunluğu</i>	<i>İstatistik</i>	<i>Değeri</i>	<i>LN_{CO₂} → LN_{YET}</i>	<i>Uzunluğu</i>	<i>İstatistik</i>	<i>Değeri</i>
Avustralya	1	0.000	0.983	Avustralya	1	0.685	0.408
Avusturya	1	0.882	0.348	Avusturya	1	0.487	0.485
Belçika	2	1.443	0.486	Belçika	2	6.995	0.030**
Kanada	1	1.172	0.279	Kanada	1	0.770	0.380
İsviçre	2	2.113	0.348	İsviçre	2	7.366	0.025**
Şili	1	0.040	0.842	Şili	1	1.289	0.256
Kolombiya	1	2.909	0.088	Kolombiya	1	1.146	0.284
Kosta Rika	2	12.064	0.002*	Kosta Rika	2	4.610	0.100
Çekya	3	11.334	0.010**	Çekya	3	1.854	0.603
Almanya	2	2.477	0.290	Almanya	2	1.625	0.444
Danimarka	2	7.369	0.025**	Danimarka	2	0.333	0.847
İspanya	3	1.798	0.615	İspanya	3	3.173	0.366
Estonya	2	0.010	0.995	Estonya	2	0.057	0.972
Finlandiya	3	15.785	0.001*	Finlandiya	3	20.434	0.000*
Fransa	3	1.434	0.698	Fransa	3	9.969	0.019**
İngiltere	1	6.085	0.014**	İngiltere	1	2.198	0.138
Yunanistan	1	1.200	0.273	Yunanistan	1	1.111	0.292
Macaristan	3	4.518	0.211	Macaristan	3	12.226	0.007*
İrlanda	1	0.001	0.976	İrlanda	1	0.110	0.740
İzlanda	1	1.778	0.182	İzlanda	1	0.013	0.910
İsrail	1	0.661	0.416	İsrail	1	8.440	0.004*
İtalya	2	10.951	0.004*	İtalya	2	2.102	0.350
Japonya	1	2.342	0.126	Japonya	1	1.100	0.294
Güney Kore	1	1.449	0.229	Güney Kore	1	0.097	0.755
Litvanya	3	2.641	0.450	Litvanya	3	1.579	0.664
Lüksemburg	1	0.544	0.461	Lüksemburg	1	3.900	0.048**
Letonya	2	2.453	0.293	Letonya	2	5.428	0.066
Meksika	1	1.327	0.249	Meksika	1	0.309	0.578
Hollanda	1	7.606	0.006*	Hollanda	1	0.233	0.629
Norveç	1	0.286	0.593	Norveç	1	0.000	0.991
Yeni Zelanda	3	3.958	0.266	Yeni Zelanda	3	0.945	0.815
Polonya	2	0.748	0.688	Polonya	2	0.624	0.732
Portekiz	1	0.348	0.555	Portekiz	1	0.004	0.951
Slovakya	1	1.403	0.236	Slovakya	1	0.795	0.373
Slovenya	1	1.062	0.303	Slovenya	1	0.230	0.631
İsveç	2	1.651	0.438	İsveç	2	1.547	0.461
Türkiye	1	0.008	0.931	Türkiye	1	0.000	0.996
ABD	3	0.787	0.853	ABD	3	4.917	0.178
Fisher Test İstatistiği		128.858	0.000*	Fisher Test İstatistiği		117.089	0.002*

Not: *p<0.01, **p<0.05, ***p<0.10.

Yenilenebilir enerji ve ekonomik büyüme arasındaki nedensellik ilişkisine ait sonuçlar Tablo 4 ile sunulmuştur. Yenilenebilir enerji ile ekonomik büyüme arasındaki Panel Fisher istatistiklerine göre, ekonomik kalkınma ve yenilenebilir enerji nedensel olarak ilişkilidir. OECD ülkelerinde elde edilen bu ilişki, bu iki değişkenin birbirine katkıda bulunduğunu ve sürdürülebilir kalkınma için önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir.

Fransa, İngiltere, İtalya, Lüksemburg, Hollanda ve Polonya'da yenilenebilir enerjiden ekonomik büyümeye doğru tek yönlü nedensellik olduğu görülmektedir. Yenilenebilir enerjiye yapılan yatırımların artması, enerji verimliliği sağlayarak endüstriyel süreçleri iyileştirmekte ve aynı zamanda yeşil ekonomiye yeni iş fırsatları sunmaktadır. Bu durum, çevresel sürdürülebilirlik hedeflerinin ekonomik büyümeyle uyumlu bir şekilde ilerlediğini vurgulamaktadır.

Güney Kore ve Norveç'te ise ekonomik büyümeden yenilenebilir enerjiye doğru tek yönlü nedensellik görülmektedir. Bu durum, artan ekonomik faaliyetlerin enerji talebini yükseltmesi ve bu ihtiyacın karşılanmasında çevre dostu enerji kaynaklarına olan talebin artmasından kaynaklanmaktadır. Güney Kore ve Norveç'in ekonomik büyüme stratejilerinde, yenilenebilir enerji kullanımının artırılması, sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu bir şekilde ekonomik büyümeyi destekleyen bir faktör olarak öne çıkmaktadır.

Tablo 4. Yenilenebilir enerji ve ekonomik büyüme arasındaki nedensellik testi sonuçları

<i>LNJET</i> → <i>EB</i>	<i>Gecikme Uzunluğu</i>	<i>Wald İstatistik Değeri</i>	<i>Olasılık Değeri</i>	<i>EB</i> → <i>LNJET</i>	<i>Gecikme Uzunluğu</i>	<i>Wald İstatistik Değeri</i>	<i>Olasılık Değeri</i>
Avustralya	2	1.093	0.579	Avustralya	2	4.001	0.135
Avusturya	3	4.275	0.233	Avusturya	3	4.688	0.196
Belçika	1	2.103	0.147	Belçika	1	0.607	0.436
Kanada	1	0.737	0.391	Kanada	1	0.140	0.708
İsviçre	1	1.647	0.199	İsviçre	1	1.820	0.177
Şili	2	0.516	0.772	Şili	2	2.911	0.233
Kolombiya	1	1.637	0.201	Kolombiya	1	0.793	0.373
Kosta Rika	1	1.258	0.262	Kosta Rika	1	0.114	0.735
Çekya	3	0.722	0.868	Çekya	3	0.590	0.899
Almanya	2	1.102	0.576	Almanya	2	2.678	0.262
Danimarka	1	0.275	0.600	Danimarka	1	1.902	0.168
İspanya	1	0.612	0.434	İspanya	1	0.226	0.634
Estonya	2	1.201	0.549	Estonya	2	0.169	0.919
Finlandiya	2	1.099	0.577	Finlandiya	2	4.598	0.100
Fransa	1	4.187	0.041**	Fransa	1	2.617	0.106
İngiltere	3	10.292	0.016**	İngiltere	3	3.554	0.314
Yunanistan	1	2.406	0.121	Yunanistan	1	0.544	0.461
Macaristan	1	0.131	0.717	Macaristan	1	0.099	0.753
İrlanda	1	3.324	0.068	İrlanda	1	0.406	0.524
İzlanda	1	0.313	0.576	İzlanda	1	2.580	0.108
İsrail	1	0.173	0.677	İsrail	1	0.547	0.460
İtalya	2	5.587	0.061***	İtalya	2	8.587	0.014
Japonya	1	1.186	0.276	Japonya	1	0.080	0.778
Güney Kore	3	2.623	0.454	Güney Kore	3	23.108	0.000*
Litvanya	3	2.905	0.406	Litvanya	3	1.657	0.646
Lüksemburg	2	9.320	0.009*	Lüksemburg	2	0.182	0.913
Letonya	3	2.927	0.403	Letonya	3	0.729	0.866
Meksika	1	1.819	0.177	Meksika	1	1.479	0.224
Hollanda	2	12.324	0.002*	Hollanda	2	0.290	0.865
Norveç	2	4.689	0.096	Norveç	2	7.827	0.020**
Yeni Zelanda	1	0.050	0.824	Yeni Zelanda	1	0.017	0.897
Polonya	2	20.968	0.000*	Polonya	2	0.595	0.743
Portekiz	1	2.048	0.152	Portekiz	1	0.032	0.859
Slovakya	1	0.077	0.781	Slovakya	1	0.147	0.701
Slovenya	1	0.031	0.861	Slovenya	1	0.078	0.780
İsveç	2	2.298	0.317	İsveç	2	0.856	0.652
Türkiye	1	0.003	0.959	Türkiye	1	0.023	0.879
ABD	1	0.023	0.881	ABD	1	0.155	0.694
Fisher Test İstatistiği		124.211	0.000*	Fisher Test İstatistiği		92.977	0.090*

Not: *p<0.01, **p<0.05, ***p<0.10.

Yenilenebilir enerji tüketimi ile ihracat arasındaki nedensellik ilişkisine ait sonuçlar Tablo 5 ile sunulmuştur. Yenilenebilir enerji ile ihracat arasındaki Panel Fisher istatistikleri incelendiğinde, ihracattan yenilenebilir enerjiye doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi görülmektedir. Yani, yenilenebilir enerji ihracatı etkilerken, ihracat yenilenebilir enerji tüketimini etkilememektedir. Bu sonuç, yenilenebilir enerji tüketimindeki artışın ekonomik büyümeyi ve ihracatı destekleyebileceğini göstermektedir.

Avustralya, Çek Cumhuriyeti, Japonya ve Hollanda için yenilenebilir enerjiden ihracata doğru tek yönlü nedensellik gözlemlenmiştir. Bu ülkeler, yenilenebilir enerji üretimine ve ihracatına odaklanarak ekonomik büyümeyi desteklemektedir. Avustralya'nın doğal kaynaklarını kullanması ve Çek Cumhuriyeti'nin yenilenebilir enerji yatırımları bu bağlamda öne çıkmaktadır. Japonya ve Hollanda ise yenilenebilir enerji teknolojileri konusunda uzmanlaşmış ve ihracatlarını artırmışlardır.

İspanya, Estonya, Finlandiya, İngiltere, Meksika, Polonya, Slovakya ve Türkiye'de ise ihracattan yenilenebilir enerji tüketimine doğru tek yönlü nedensellik gözlemlenmiştir. Bu ülkeler, yenilenebilir enerji ürünlerini dış pazara ihraç ederek ekonomik büyümeyi ve yenilenebilir enerji tüketimini artırmaktadır. İspanya'nın güneş enerjisi panelleri ve Estonya'nın yenilenebilir enerji ürünleri gibi örnekler, bu bağlamda dikkat çekmektedir. Bu ülkeler, yenilenebilir enerji ihracatlarını artırarak uluslararası rekabet avantajı elde

etmekte ve aynı zamanda çevresel sürdürülebilirliği teşvik etmektedir. Bu nedenle enerji politikalarını güçlendirmek, ihracatı artırmak ve enerji bağımlılığını azaltmak isteyen ülkeler için önemli bir strateji sunmaktadır.

Tablo 5. Yenilenebilir enerji ve ihracat arasındaki nedensellik testi sonuçları

	<i>Gecikme</i>	<i>Wald İstatistik</i>	<i>Olasılık</i>		<i>Gecikme</i>	<i>Wald İstatistik</i>	<i>Olasılık</i>
<i>LNJET → LNIHR</i>	<i>Uzunluğu</i>	<i>Değeri</i>	<i>Değeri</i>	<i>LNIHR → LNJET</i>	<i>Uzunluğu</i>	<i>Değeri</i>	<i>Değeri</i>
Avustralya	1	3.276	0.070***	Avustralya	1	0.035	0.851
Avusturya	1	0.247	0.619	Avusturya	1	0.067	0.795
Belçika	1	2.559	0.110	Belçika	1	0.433	0.511
Kanada	2	0.914	0.633	Kanada	2	1.786	0.409
İsviçre	1	0.001	0.980	İsviçre	1	0.062	0.804
Şili	2	3.759	0.153	Şili	2	1.290	0.525
Kolombiya	1	0.405	0.524	Kolombiya	1	1.471	0.225
Kosta Rika	3	1.877	0.598	Kosta Rika	3	1.192	0.755
Çekya	3	7.693	0.053***	Çekya	3	2.076	0.557
Almanya	2	3.199	0.202	Almanya	2	3.162	0.206
Danimarka	1	1.720	0.190	Danimarka	1	0.315	0.575
İspanya	3	0.678	0.878	İspanya	3	9.186	0.027**
Estonya	2	0.274	0.872	Estonya	2	4.883	0.087***
Finlandiya	2	0.680	0.712	Finlandiya	2	6.016	0.049**
Fransa	1	2.429	0.119	Fransa	1	2.190	0.139
İngiltere	3	1.365	0.714	İngiltere	3	15.316	0.002*
Yunanistan	1	0.800	0.371	Yunanistan	1	0.904	0.342
Macaristan	1	0.000	0.984	Macaristan	1	0.837	0.360
İrlanda	2	2.144	0.342	İrlanda	2	1.363	0.506
İzlanda	2	0.651	0.722	İzlanda	2	3.000	0.223
İsrail	1	0.037	0.847	İsrail	1	0.722	0.396
İtalya	2	5.519	0.063	İtalya	2	1.221	0.543
Japonya	1	2.877	0.090***	Japonya	1	0.088	0.767
Güney Kore	1	1.264	0.261	Güney Kore	1	0.098	0.754
Litvanya	3	6.085	0.108	Litvanya	3	1.779	0.619
Lüksemburg	1	0.398	0.528	Lüksemburg	1	0.444	0.505
Letonya	2	1.708	0.426	Letonya	2	2.078	0.354
Meksika	1	0.228	0.633	Meksika	1	2.993	0.084***
Hollanda	1	6.246	0.012**	Hollanda	1	0.004	0.949
Norveç	2	0.218	0.897	Norveç	2	0.848	0.654
Yeni Zelanda	1	2.225	0.136	Yeni Zelanda	1	0.260	0.610
Polonya	3	0.554	0.907	Polonya	3	7.508	0.057***
Portekiz	1	0.823	0.364	Portekiz	1	0.544	0.461
Slovakya	3	3.753	0.289	Slovakya	3	6.264	0.099***
Slovenya	1	1.171	0.279	Slovenya	1	1.669	0.196
İsveç	3	3.947	0.267	İsveç	3	2.119	0.548
Türkiye	3	1.929	0.587	Türkiye	3	6.677	0.083***
ABD	3	3.277	0.351	ABD	3	1.653	0.647
Fisher Test İstatistiği		88.832	0.149	Fisher Test İstatistiği		92.977	0.090***

Not: *p<0.01, **p<0.05, ***p<0.10.

Yenilenebilir enerji tüketimi ile ithalat arasındaki nedensellik ilişkisine ait sonuçlar Tablo 6 ile sunulmuştur. Yenilenebilir enerji tüketimi ile ithalat arasındaki Panel Fisher istatistiklerine dayalı yapılan incelemeler, yenilenebilir enerji ile ithalat arasında çift yönlü nedensellik bulunduğunu göstermektedir. Yani hem yenilenebilir enerji ithalatı etkilerken hem de ithalat yenilenebilir enerji tüketimini etkileyebilir. Bu sonuç, yenilenebilir enerji kullanımının artırılmasının ithalatı azaltabileceğini ve yerel enerji kaynaklarının kullanılmasının dışa bağımlılığı azaltabileceğini göstermektedir. Özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapmak, ithal enerji kaynaklarına olan bağımlılığı azaltabilir ve enerji güvenliğini artırabilir. Aynı zamanda, ithalatın azaltılması ekonomiyi dış ticaret dengesizliklerine karşı daha dirençli hale getirebilir. Diğer yandan, ithalat politikaları da yerel yenilenebilir enerji sektörünü etkileyebilir. Örneğin, ithal enerji ürünlerine uygulanan vergiler veya kotalar, yerel yenilenebilir enerji kaynaklarının rekabet avantajını artırabilir. Bu da yerel yenilenebilir enerji sektörünün büyümesini teşvik edebilir.

Tablo 6. Yenilenebilir enerji ve ithalat arasındaki nedensellik testi sonuçları

	<i>Gecikme</i>	<i>Wald İstatistik</i>	<i>Olasılık</i>		<i>Gecikme</i>	<i>Wald İstatistik</i>	<i>Olasılık</i>
<i>LNJET → LNITH</i>	<i>Uzunluğu</i>	<i>Değeri</i>	<i>Değeri</i>	<i>LNITH → LNJET</i>	<i>Uzunluğu</i>	<i>Değeri</i>	<i>Değeri</i>
Avustralya	2	1.975	0.372	Avustralya	2	0.899	0.638
Avusturya	1	1.928	0.165	Avusturya	1	0.129	0.719
Belçika	1	3.242	0.072***	Belçika	1	2.059	0.151
Kanada	3	3.177	0.365	Kanada	3	5.848	0.119
İsviçre	2	0.927	0.629	İsviçre	2	2.392	0.302
Şili	2	6.162	0.046**	Şili	2	1.054	0.590
Kolombiya	2	1.037	0.596	Kolombiya	2	9.342	0.009*
Kosta Rika	1	0.337	0.561	Kosta Rika	1	0.107	0.744
Çekya	3	7.959	0.047	Çekya	3	5.493	0.139
Almanya	2	1.009	0.604	Almanya	2	4.466	0.107
Danimarka	1	0.484	0.486	Danimarka	1	0.228	0.633
İspanya	1	0.410	0.522	İspanya	1	1.062	0.303
Estonya	2	0.222	0.895	Estonya	2	5.636	0.060***
Finlandiya	2	0.455	0.797	Finlandiya	2	1.847	0.397
Fransa	1	0.907	0.341	Fransa	1	2.491	0.114
İngiltere	3	16.865	0.001*	İngiltere	3	3.860	0.277
Yunanistan	1	0.074	0.786	Yunanistan	1	0.024	0.877
Macaristan	2	0.088	0.957	Macaristan	2	4.330	0.115
İrlanda	1	0.679	0.410	İrlanda	1	0.184	0.668
İzlanda	1	0.089	0.765	İzlanda	1	1.928	0.165
İsrail	1	0.107	0.743	İsrail	1	1.555	0.212
İtalya	3	21.160	0.000*	İtalya	3	3.293	0.349
Japonya	1	2.523	0.112	Japonya	1	0.000	0.996
Güney Kore	1	3.218	0.073***	Güney Kore	1	0.065	0.799
Litvanya	3	6.572	0.087	Litvanya	3	0.873	0.832
Lüksemburg	1	0.363	0.547	Lüksemburg	1	0.310	0.578
Letonya	1	2.850	0.091***	Letonya	1	1.340	0.247
Meksika	1	0.769	0.381	Meksika	1	0.573	0.449
Hollanda	1	5.199	0.023**	Hollanda	1	0.049	0.825
Norveç	1	3.792	0.052***	Norveç	1	2.211	0.137
Yeni Zelanda	1	1.245	0.264	Yeni Zelanda	1	0.010	0.919
Polonya	3	1.211	0.750	Polonya	3	4.059	0.255
Portekiz	1	0.034	0.854	Portekiz	1	0.792	0.374
Slovakya	3	2.806	0.423	Slovakya	3	8.342	0.039**
Slovenya	1	0.024	0.878	Slovenya	1	0.492	0.483
İsveç	3	3.826	0.281	İsveç	3	4.515	0.211
Türkiye	3	5.762	0.124	Türkiye	3	3.850	0.278
ABD	3	2.396	0.494	ABD	3	2.225	0.527
Fisher Test İstatistiği		120.777	0.001*	Fisher Test İstatistiği		93.704	0.082***

Not: *p<0.01, **p<0.05, ***p<0.10.

Belçika, Şili, Birleşik Krallık, Güney Kore, Lüksemburg, Hollanda ve Norveç için yenilenebilir enerjiden ithalata doğru tek yönlü nedensellik, bu ülkelerin yenilenebilir enerji ithalatını artırdığını ve bu kaynakları kullanarak enerji ihtiyaçlarını karşıladığını ortaya koymaktadır. Yenilenebilir enerjiye olan talep, bu ülkelerin sürdürülebilir enerji hedeflerini desteklemek ve enerji arzını çeşitlendirmek amacıyla ithalat yoluyla kaynaklarını genişletmelerine yol açmaktadır. Bu durum, enerji ithalatının çevre dostu kaynaklara yönelik stratejik bir tercih olduğunu ve bu ülkelerin enerji dönüşüm süreçlerine uyum sağlama çabalarını yansıtmaktadır.

Kolombiya, Estonya ve Slovakya için ise ithalattan yenilenebilir enerjiye doğru tek yönlü bir nedensellik, bu ülkelerin enerji ithalatından ziyade yenilenebilir enerji kaynaklarına odaklanarak kendi enerji portföylerini güçlendirdiğini göstermektedir. Bu durum, bu ülkelerin enerji güvenliği ve sürdürülebilirlik konularında ithal enerjiye olan bağımlılıklarını azaltma çabalarını yansıtmaktadır. Ayrıca, bu ülkelerin yerel olarak ürettikleri yenilenebilir enerjiyi daha etkin ve çevre dostu bir şekilde kullanma eğiliminde olduklarını gösterir, bu da kendi enerji kaynaklarını verimli bir şekilde değerlendirmeyi amaçladıklarını göstermektedir.

Yenilenebilir enerji ile işsizlik arasındaki nedensellik ilişkisine ait sonuçlar Tablo 7'de verilmiştir. Yenilenebilir enerji tüketimi ile işsizlik arasındaki Panel Fisher istatistiklerinden elde edilen bulgular, yenilenebilir enerjiden işsizliğe doğru tek yönlü nedensellik olduğunu göstermektedir. Yani, yenilenebilir

enerji tüketimi arttıkça işsizlik oranlarının artma eğiliminde olduğunu söylemek mümkündür. Bu durum, yenilenebilir enerji yatırımlarının iş yaratma potansiyeline ve işsizlik üzerindeki etkisine işaret etmektedir.

Tablo 7. Yenilenebilir enerji ve işsizlik arasındaki nedensellik testi sonuçları

	<i>Gecikme</i>	<i>Wald İstatistik</i>	<i>Olasılık</i>		<i>Gecikme</i>	<i>Wald İstatistik</i>	<i>Olasılık</i>
<i>LNJET → LNISZ</i>	<i>Uzunluğu</i>	<i>Değeri</i>	<i>Değeri</i>	<i>LNISZ → LNJET</i>	<i>Uzunluğu</i>	<i>Değeri</i>	<i>Değeri</i>
Avustralya	2	0.635	0.728	Avustralya	2	0.774	0.679
Avusturya	3	5.733	0.125	Avusturya	3	5.635	0.131
Belçika	1	0.795	0.373	Belçika	1	0.081	0.776
Kanada	2	9.449	0.009	Kanada	2	0.960	0.619
İsviçre	2	0.395	0.821	İsviçre	2	0.520	0.771
Şili	1	0.433	0.510	Şili	1	0.482	0.488
Kolombiya	2	11.844	0.003	Kolombiya	2	9.582	0.008*
Kosta Rika	1	0.027	0.870	Kosta Rika	1	0.030	0.863
Çekya	3	0.535	0.911	Çekya	3	4.069	0.254
Almanya	1	1.670	0.196	Almanya	1	0.027	0.870
Danimarka	1	0.105	0.746	Danimarka	1	0.054	0.816
İspanya	2	4.213	0.122	İspanya	2	0.862	0.650
Estonya	2	4.320	0.115	Estonya	2	0.470	0.791
Finlandiya	1	0.351	0.553	Finlandiya	1	0.696	0.404
Fransa	1	0.077	0.781	Fransa	1	0.646	0.422
İngiltere	3	8.988	0.029**	İngiltere	3	3.494	0.322
Yunanistan	2	6.301	0.043**	Yunanistan	2	3.572	0.168
Macaristan	2	3.185	0.203	Macaristan	2	0.055	0.973
İrlanda	2	5.726	0.057***	İrlanda	2	2.500	0.287
İzlanda	1	3.166	0.075***	İzlanda	1	0.000	0.992
İsrail	1	2.110	0.146	İsrail	1	2.484	0.115
İtalya	2	10.171	0.006*	İtalya	2	0.823	0.663
Japonya	2	3.901	0.142	Japonya	2	2.331	0.312
Güney Kore	2	9.136	0.010**	Güney Kore	2	4.623	0.099***
Litvanya	3	1.720	0.632	Litvanya	3	1.239	0.744
Lüksemburg	1	1.269	0.260	Lüksemburg	1	2.787	0.095
Letonya	2	3.695	0.158	Letonya	2	4.369	0.113
Meksika	2	0.123	0.940	Meksika	2	0.147	0.929
Hollanda	2	4.048	0.132	Hollanda	2	2.296	0.317
Norveç	2	1.579	0.454	Norveç	2	0.600	0.741
Yeni Zelanda	2	3.312	0.191	Yeni Zelanda	2	1.742	0.419
Polonya	3	4.046	0.257	Polonya	3	9.791	0.020**
Portekiz	2	6.999	0.030**	Portekiz	2	0.495	0.781
Slovakya	1	1.544	0.214	Slovakya	1	0.561	0.454
Slovenya	2	0.636	0.727	Slovenya	2	1.006	0.605
İsveç	2	0.107	0.948	İsveç	2	0.953	0.621
Türkiye	3	0.704	0.872	Türkiye	3	14.254	0.003*
ABD	1	0.312	0.577	ABD	1	0.000	0.986
Fisher Test İstatistiği		130.090	0.000*	Fisher Test İstatistiği		85.171	0.221

Not: *p<0.01, **p<0.05, ***p<0.10.

Güney Kore'de, yenilenebilir enerji ile işsizlik arasındaki çift yönlü nedensellik, yenilenebilir enerji kullanımının işsizlik oranlarını etkilediğini ve aynı zamanda işsizlik durumunun da yenilenebilir enerji sektöründeki gelişmeleri etkilediğini göstermektedir. Yenilenebilir enerji projelerine yönelik artan yatırımlar, yeni istihdam olanaklarını yaratırken, aynı zamanda sektördeki büyümenin istihdam piyasasına olumlu bir etkisi olduğunu ortaya koymaktadır. Diğer taraftan, işsizlik durumu, ekonomik koşullardaki değişimlere bağlı olarak yenilenebilir enerji sektöründeki talebi de etkileyerek, enerji politikalarının istihdam üzerindeki etkilerini göstermektedir.

İngiltere, Yunanistan, İrlanda, İzlanda, İtalya ve Portekiz için yapılan analizlerde yenilenebilir enerjiden işsizliğe doğru tek yönlü nedensellik görülmüştür. Bu ülkelerde yenilenebilir enerji yatırımlarının artması, işsizlik sorununu hafifletme potansiyeline sahiptir. Yenilenebilir enerji tüketimindeki artışın işsizlik oranını azaltması, İngiltere'nin sürdürülebilir enerji politikalarının istihdam üzerindeki etkilerini göstermektedir. Bu sonuç, ülkedeki yeşil enerji yatırımlarının istihdamı artırma potansiyelini yansıtmaktadır. Yunanistan'da ise yenilenebilir enerji projeleriyle gelen istihdam fırsatları, ülkedeki işsizlik oranını olumlu bir şekilde etkilemiştir. İrlanda'da sürdürülebilir enerji politikalarının işsizliği azaltıcı etkileri görülürken, İtalya'da yeşil

enerji projelerinin yeni iş imkanları yaratmasıyla işsizlik sorunu hafifletilmiştir. Portekiz'de de yenilenebilir enerji yatırımlarının işsizliği azaltıcı etkisi gözlenmiş, bu sonuçlar ülkelerin sürdürülebilir enerji politikalarının ekonomik kalkınmaya olan katkısını vurgulamaktadır.

Kolombiya, Polonya ve Türkiye'de ise işsizlikten yenilenebilir enerjiye doğru doğru tek yönlü nedensellik görülmektedir. Kolombiya'da işsizlik artışı, yenilenebilir enerji talebini etkiler; işsizlikle mücadele, istihdamı artırır ve enerji sektörünü teşvik eder. Polonya'da işsizlik ve yenilenebilir enerji talebi arasındaki ilişki, ekonomik ve istihdam politikalarının yenilenebilir enerji sektörüne etkilerini göstermektedir. Türkiye'deki işsizlik artışı, enerji talebini yükseltebilir; Türkiye, yenilenebilir enerji projelerine daha fazla yatırım yaparak hem işsizliği azaltabilir hem de enerji bağımlılığını düşürebilir. Bu sonuçlar, ülkelerin özel koşullarını göz önünde bulundurarak sürdürülebilir enerji politikalarını şekillendirmeleri gerektiğini vurgular. İşsizlikle mücadelede enerji sektörünün desteklenmesi, ekonomik büyümeyi teşvik ederken enerji bağımlılığını da azaltabilir.

5. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, 1990-2022 yılları arasında 38 OECD ülkesinde yenilenebilir enerji ile karbon emisyonu, ekonomik büyüme, dış ticaret ve işsizlik arasındaki ilişkilerin incelenmesi amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, değişkenler arasında çeşitli nedensel ilişkiler olduğunu göstermektedir.

Finlandiya, karbon emisyonları ve yenilenebilir enerji arasındaki nedensel bağlantıyı gösteren ilk ülke olsa da -ki bu çevresel sürdürülebilirlik için çok önemlidir- diğer birçok ülke de yenilenebilir enerjinin artırılmasının karbon emisyonlarını düşürebileceğini göstermiştir. Bu sonuçlar, enerji politikaları geliştirilirken, yenilenebilir enerjiye yatırım yaparak çevresel hedeflere ulaşmanın mümkün olması gerektiğini göstermektedir.

Yenilenebilir enerji ile ekonomik büyüme arasındaki nedensellik ilişkisi göz önüne alındığında, enerji planlaması ve ekonomi politikasının birbirine bağlı olduğu görülmektedir. Öte yandan Güney Kore ve Norveç, ekonomik büyüme ile yenilenebilir enerji arasında tek yönlü nedensellik olduğunu göstermektedir. Fransa, İngiltere, İtalya, Lüksemburg, Hollanda ve Polonya'da yenilenebilir enerji kullanımının artmasının ekonomik büyümeyi artıracığı görülmüştür. Bu sonuçlar, ekonomik büyümeyi teşvik etmek için daha enerji verimli politikalara ihtiyaç olduğunu göstermektedir.

Yenilenebilir enerji ve ihracat arasındaki nedensellik, ülkelerin ekonomik büyümesini destekleyebilecek bir unsurdur. Bu durum özellikle Avustralya, Çekya, Japonya ve Hollanda'da geçerlidir. Bununla birlikte, İspanya, Estonya, Finlandiya, İngiltere, Meksika, Polonya, Slovakya ve Türkiye'de artan ihracatın yenilenebilir enerji talebini artırdığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, enerji ihracatının yurt içi enerji talebini artırabileceğini ve dış ticaret politikalarının enerji talebi üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermektedir.

Yenilenebilir enerji ve ithalat arasındaki nedensellik ilişkisi, enerji güvenliği ve yerli enerji kaynaklarının kullanımının karmaşık dinamiklerini ifade etmektedir. Gelişmiş ekonomilere sahip ülkelerde (Belçika, Şili, İngiltere, Güney Kore, Lüksemburg, Hollanda ve Norveç), artan yenilenebilir enerji talebi ithalatı artırabilir. Kolombiya, Estonya ve Slovakya ithalat ile yenilenebilir enerji talebini tetikleyebilir. Bu sonuçlar, enerji politikalarının yalnızca yurt içi enerji güvenliğini değil, aynı zamanda ticaret dengesini de dikkate alması gerektiğini göstermektedir.

İşsizlik ve yenilenebilir enerji arasındaki nedensellik ilişkisi ile işgücü piyasasının enerji sektöründeki değişimlere nasıl tepki verdiği açıkça görülmektedir. Güney Kore gibi işsizlikle mücadele eden bir ülkede, bu araştırma yenilenebilir enerjiye yapılan yatırımların istihdamı artırma potansiyeline sahip olduğunu vurgulamaktadır. Öte yandan, artan yenilenebilir enerji tüketiminin İngiltere, Yunanistan, İrlanda, İzlanda, İtalya ve Portekiz'de işsizliği azaltabileceği tespit edilmiştir. Buna karşılık Kolombiya, Polonya ve Türkiye'de işsizliğin yenilenebilir enerji yatırımlarını tetikleyebileceği tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, yenilenebilir enerji projelerinin ekonomik büyümeye katkısını ve istihdam politikalarının bu projeler üzerindeki etkilerini anlamak açısından önemlidir.

Genel olarak, bu analizin bulguları, enerji politikalarının ekonomik büyüme, çevresel sürdürülebilirlik, ticaret dengesi ve istihdamı nasıl etkileyebileceğinin anlaşılmasına önemli bir katkı sağlamaktadır. Ayrıca bu analiz literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında bulguları doğruladığı görülmektedir (Sadorsky, 2009; Salim ve Rafiq, 2012; Belaïd ve Zrelli, 2019; Rahman ve Velayutham, 2020; Fan ve Hao, 2020; Chen ve diğerleri, 2020; Razmi ve diğerleri, 2020; Belaïd ve diğerleri, 2021; Han, 2022). Bu da yapılan analizlerin güvenilirliğini arttırmakta ve gelecekteki araştırmalar için sağlam bir temel oluşturmaktadır. Bu analizin sonuçları, enerji politikalarının ülkeler arasında ve farklı ekonomik koşullar altında nasıl şekillendirilebileceğine dair bilgiler sunmaktadır. Gelecekteki çalışmalarda, daha spesifik ve derinlemesine analizler yapılarak, ülkelerin ve bölgelerin ihtiyaçlarına uygun enerji politikalarının belirlenmesi için daha kesin ve etkili tavsiyelerde bulunmak mümkün olacaktır.

Çatışma Beyanı / Conflict of Interest

Yazar tarafından herhangi bir potansiyel çıkar çatışması beyan edilmemiştir.
No potential conflict of interest was declared by the author.

Fon Desteği / Funding

Bu çalışmada herhangi bir resmi, ticari ya da kâr amacı gütmeyen organizasyondan fon desteği alınmamıştır.

Any specific grant has not been received from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Etik Standartlara Uygunluk / Compliance with Ethical Standards

Yazar tarafından, çalışmada kullanılan araç ve yöntemlerin Etik Kurul izni gerektirmediği beyan edilmiştir.
It was declared by the author that the tools and methods used in the study do not require the permission of the Ethics Committee.

Etik Beyanı / Ethical Statement

Yazar tarafından bu çalışmada bilimsel ve etik ilkelere uyulduğu ve yararlanılan tüm çalışmaların kaynakçada belirtildiği beyan edilmiştir.

It was declared by the author that scientific and ethical principles have been followed in this study and all the sources used have been properly cited.



Yazarlar, Verimlilik Dergisi'nde yayımlanan çalışmalarının telif hakkına sahiptirler ve çalışmaları CC BY-NC 4.0 lisansı altında yayımlanmaktadır.

The authors own the copyright of their works published in Journal of Productivity and their works are published under the CC BY-NC 4.0 license.

KAYNAKÇA

- Ağpak, F. ve Özçiçek, Ö. (2018). "Bir İstihdam Politikası Aracı Olarak Yenilenebilir Enerji", *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 11(2), 112-128. DOI: 10.25287/ohuibf.334307
- Akar, B.G. (2016). "The Determinants of Renewable Energy Consumption: An Empirical Analysis for the Balkans", *European Scientific Journal*, 12 (11), 594-607. DOI: 10.19044/esj.2016.v12n11p594
- Akram, R., Chen, F., Khalid, F., Ye, Z. ve Majeed, M.T., (2020). "Heterogeneous Effects of Energy Efficiency and Renewable Energy on Carbon Emissions: Evidence from Developing Countries", *Journal of Cleaner Production*, 119122. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.119122
- Altınar, A. (2019). "MINT Ülkelerinde Enerji Tüketimi ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Panel Nedensellik Analizi", *Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Elektronik Dergisi*, 10(2), 369-378.
- Apergis N., Payne J. E., Menyah K. ve Wolde-Rufael, Y. (2010). "On the Causal Dynamics between Emissions, Nuclear Energy, Renewable Energy and Economic Growth", *Ecological Economics*, 69(11), 2255-2260.
- Barak, D. ve Çelik, B. (2018). "Elektrik Üretimindeki İşsizlik Üzerindeki Etkisi: Türkiye Örneği", *Social Sciences Studies Journal*, 4(23), 4397-4406.
- Belaïd, F. ve Zrelli, M.H. (2019). "Renewable and Non-Renewable Electricity Consumption, Environmental Degradation and Economic Development: Evidence from Mediterranean Countries", *Energy Policy*, 133. 110929, DOI: 10.1016/j.enpol.2019.110929
- Belaïd, F., Elsayed, A.H. ve Omri, A. (2021). "Key Drivers of Renewable Energy Deployment in the MENA Region: Empirical Evidence Using Panel Quantile Regression", *Structural Change and Economic Dynamics*, 57, 225-238. DOI: 10.1016/j.strueco.2021.03.011
- Bhattacharya, M., Churchill, S.A. ve Paramati, S.R. (2017). "The Dynamic Impact of Renewable Energy and Institutions on Economic Output and CO2 Emissions Across Regions". *Renewable Energy*, 111, 157-167.
- Bölük, G. ve Mert, M. (2014). "Fossil & Renewable Energy Consumption, GHGs (Greenhouse Gases) and Economic Growth: Evidence From a Panel of EU (European Union) Countries", *Energy*, 74, 439-446.
- Breusch, T.S. ve Pagan, A.R. (1980). "The Lagrange Multiplier Test and Its Applications to Model Specification in Econometrics", *Review of Economic Studies*, 47, 239-253. DOI: 10.2307/2297111
- Bulavskaya, T. ve Reynès, F. (2018). "Job Creation and Economic Impact of Renewable Energy in the Netherlands", *Renewable Energy*, 119, 528-538. DOI: 10.1016/j.renene.2017.09.039
- Chang, T.H., Huang, C.M. ve Lee, M.C. (2009). "Threshold Effect of the Economic Growth Rate on the Renewable Energy Development From a Change in Energy Price: Evidence from OECD Countries", *Energy Policy*, 37, 5796-5802.
- Chen, W. ve Lei, Y. (2018). "The Impacts of Renewable Energy and Technological Innovation on Environment-Energy-Growth Nexus: New Evidence from a Panel Quantile Regression", *Renewable Energy*, 123, 1-14. DOI: 10.1016/j.renene.2018.02.026
- Chen, C., Pınar, M. ve Stengos, T. (2020). "Renewable Energy Consumption and Economic Growth Nexus: Evidence from a Threshold Model", *Energy Policy*, 139, 111295. DOI: 10.1016/j.enpol.2020.111295
- Cheng, Y., Zhang, N., Kirschen, D.S., Huang, W. ve Kang, C. (2020). "Planning Multiple Energy Systems for Low-Carbon Districts with High Penetration of Renewable Energy: An Empirical Study in China", *Applied Energy*, 261, 114390. DOI: 10.1016/j.apenergy.2019.114390
- Doğan, E. ve Şeker, F. (2016). "The Influence of Real Output, Renewable and Non-Renewable Energy, Trade and Financial Development on Carbon Emissions in the Top Renewable Energy Countries", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 60, 1074-1085. DOI: 10.1016/j.rser.2016.02.006
- Dong, K., Hochman, G., Zhang, Y., Sun, R., Li, H. ve Liao, H. (2018). "CO₂ Emissions, Economic and Population Growth, and Renewable Energy: Empirical Evidence Across Regions", *Energy Economics*, 75, 180-192. DOI: 10.1016/j.eneco.2018.08.017
- Emirmahmutoğlu, F. ve Köse, N. (2011). "Testing for Granger Causality in Heterogeneous Mixed Panels", *Economic Modelling*, 28(3), 870-876. DOI: 10.1016/j.econmod.2010.10.018
- Fan, W. ve Hao, Y., (2020). "An Empirical Research on the Relationship Amongst Renewable Energy Consumption, Economic Growth and Foreign Direct Investment in China", *Renewable Energy*, 146, 598-609. DOI: 10.1016/j.renene.2019.06.170
- Fisher, R.A. (1932). "*Statistical Methods for Research Workers*", (4. baskı). Edinburgh: Oliverand Boyd.
- Han, A. (2022). "E7 Ülkelerinde Yenilenebilir Enerji Tüketimi ve Ekonomik Büyüme İlişkisinin İncelenmesi", *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 18(3), 797-814. DOI: 10.17130/ijmeh.1015102
- Hillebrand, B., Buttermann, H.G., Behringer, J.M. ve Bleuel M. (2006). "The Expansion of Renewable Energies and Employment Effects in Germany". *Energy Policy*. 34, 3484-3494.

- Ibrahiem, D.M. (2015). "Renewable Electricity Consumption, Foreign Direct Investment and Economic Growth in Egypt: An ARDL Approach". *Procedia Economics and Finance*, 30, 313- 323.
- Igliński, B., Iglińska, A., Anna, C., Marcin, K.W. ve Buczkowski, R. (2016). "Renewable Energy Production in the Lodzkie Voivodeship. The PEST Analysis of the RES in the Voivodeship and in Poland", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58,737-750.
- Jebli, M.B., Youssef, S.B. ve Ozturk, I. (2013). "Testing Environmental Kuznets Curve Hypothesis: The Role of Renewable and Non-Renewable Energy Consumption and Trade in OECD Countries", *Ecological Indicators* 60: 824-831. DOI: 10.1016/j.ecolind.2015.08.031
- Khodeir, A.N. (2016). "The Relationship Between the Generation of Electricity from Renewable Resources and Unemployment: An Empirical Study on the Egyptian Economy", *Arab Economic and Business Journal*, 11(1), 16-30. DOI: 10.1016/j.aebj.2015.10.003
- Lehr, U., Nitsch, J., Kratzat, M., Lutz, C. ve Edler, D. (2008). "Renewable Energy and Employment in Germany", *Energy Policy*, 36, 108-117. DOI: 10.1016/j.enpol.2007.09.004
- Liu, L., Wang, Z., Wang, Y., Wang, J., Chang, R., He, G., Tang, W., Gao, Z., Li, J., Liu, C. ve Zhao, L. (2020). "Optimising Wind/Solar Combinations at Fner Scales to Mitigate Renewable Energy Variability in China", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 132, 110151. DOI: 10.1016/j.rser.2020.110151
- Moummy, C.E., Salim, Y. ve Baddih, H. (2021). "The Role of Renewable Energy Sector in Reducing Unemployment: The Moroccan Case", *E3S Web of Conferences* 234, 00101, ICIES 2020. DOI: 10.1051/e3sconf/202123400101
- Paramati, S.R., Ummalla, M. ve Apergis, N. (2016). "The Effect of Foreign Direct Investment and Stock Market Growth on Clean Energy Use Across a Panel of Emerging Market Economies", *Energy Economics*, 56, 29-41. DOI: 10.1016/j.eneco.2016.02.008
- Pesaran, H.M. (2004). "General Diagnostic Tests for Cross Section Dependence in Panels", *Working Paper No:0435*, University of Cambridge. DOI: 10.17863/CAM.5113
- Pesaran, M.H. (2007). "A Simple Panel Unit Root in the Presence of Cross-Section Dependence", *Journal of Applied Econometrics*, 22, 265- 312. DOI: 10.1002/jae.951
- Rafiq, S., Salim, R. ve Sgro, P. (2018). "Energy, Unemployment and Trade", *Applied Economics*, 50(47), 5122-5134. DOI: 10.1080/00036846.2018.1472741
- Ragwitz, M., Schade, W., Breitschoff, B., Walz, R. ve Helfrich, N. (2009). "The Impact of Renewable Energy Policy on Economic Growth and Unemployment in the European Union", *Fraunhofer ISI Germany Report*. Contract No. TREN/DI/474/2006.
- Rahman, M.M. ve Velayutham, E. (2020). "Renewable and Non-Renewable Energy Consumption-Economic Growth Nexus: New Evidence from South Asia", *Renewable Energy*, 147, 399-408. DOI: 10.1016/j.renene.2019.09.007
- Razmi, S.F., Bajgiran, B.R., Behname, M., Salari, T.E. ve Razmi, S.M.J. (2020). "The Relationship of Renewable Energy Consumption to Stock Market Development and Economic Growth in Iran", *Renewable Energy*, 145, 2019-2024. DOI: 10.1016/j.renene.2019.06.166
- Sadorsky, P. (2009). "Renewable Energy Consumption, CO₂ Emissions and Oil Prices in the G7 Countries", *Energy Economics*, 31(3), 456-462. DOI: 10.1016/j.eneco.2008.12.010
- Salim, R.A. ve Rafiq, S. (2012). "Why Do Some Emerging Economies Proactively Accelerate the Adoption of Renewable Energy?", *Energy Economics*, 34(4), 1051-1057. DOI: 10.1016/j.eneco.2011.08.015
- Sebri, M. ve Salha, O.B. (2014). "On the Causal Dynamics Between Economic Growth, Renewable Energy Consumption, CO₂ Emissions and Trade Openness: Fresh Evidence from BRICS Countries", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 14-23. DOI: 10.1016/j.rser.2014.07.033
- Shafiei, S. ve Salim, R.A. (2014). "Non-Renewable and Renewable Energy Consumption and CO₂ Emissions in OECD Countries: A Comparative Analysis", *Energy Policy*, 66, 547-556. DOI: 10.1016/j.enpol.2013.10.064
- Shahbaz, M., Solarin, S.A., Hammoudeh S. ve Shahzad, S.J.H. (2017). "Bounds Testing Approach to Analyzing the Environment Kuznets Curve Hypothesis: The Role of Biomass Energy Consumption in the United States with Structural Breaks", *Munich Personal RePEc Archive, MPRA Paper No. 81840*. DOI: 10.1016/j.eneco.2017.10.004
- Tiba, S., Omri, A. ve Frikha, M. (2015). "The Four-Way Linkages Between Renewable Energy, Environmental Quality, Trade and Economic Growth: A Comparative Analysis Between High and Middle-Income Countries", *Energy Systems*, 7(1): 103-144. DOI: 10.1007/s12667-015-0171-7
- Vaona, A. (2016). "The Effect of Renewable Energy Generation on Import Demand". *Renewable Energy*, 86, 354-359.
- Wei, M., Patadia, S. ve Kammen, D.M. (2010). "Putting Renewables and Energy Efficiency to Work: How Many Jobs can the Clean Energy Industry Generate in the US?" *Energy Policy* 38, 919-931.
- Yalçın, H. E. ve Yalçın, C. (2021). "Enerji Verimliliği, Yenilenebilir Enerji ve Cari İşlemler Dengesi: Ekonometrik Bulgular ve Türkiye İçin Senaryo Analizleri". *Bankacılar Dergisi*, 32(119), 3-35.

- Yazdi, S.K. ve Mastorakis, N. (2014). "Renewable, CO₂ Emissions, Trade Openness and Economic Growth in Iran. *Latest Trends in Energy*", *Environment and Development*, 360-370.
- Yu, S., Hu, X., Li, L. ve Chen, H. (2020). "Does the Development of Renewable Energy Promote Carbon Reduction? Evidence from Chinese Provinces", *Journal of Environmental Management*, 268, 110634. DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.110634
- Yu, Y., Yamaguchi, K., Thuy, T.D. ve Kittner, N. (2022). "Will the Public in Emerging Economies Support Renewable Energy? Evidence from Ho Chi Minh City, Vietnam", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 169, 112942. DOI: 10.1016/j.rser.2022.112942
- Zastempowski, M. (2023). "Analysis and Modeling of Innovation Factors to Replace Fossil Fuels with Renewable Energy Sources-Evidence from European Union Enterprises", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 178, 113262. DOI: 10.1016/j.rser.2023.113262

Bağımsız Denetim, Güvenilir Bilgi Ortamı ve Operasyonel Verimlilik: Türkiye’de Faaliyet Gösteren İmalat İşletmelerinde Bir Araştırma

Serhat Şamil¹ 

ÖZET

Amaç: Çalışmada, işletmelerde sağladığı güvenilir bilgi ortamı bağlamında bağımsız denetim ile operasyonel verimlilik arasındaki ilişkinin araştırılması amaçlanmıştır.

Yöntem: Bağımsız denetim ile operasyonel verimlilik arasındaki ilişki deneysel olmayan bir tasarımla araştırılmıştır. Çalışma kapsamında Dünya Bankası veri tabanından çekilen ikincil veri kullanılmıştır. Bu doğrultuda işletme düzeyinde işgücü verimliliği, yatırım verimliliği ve toplam faktör verimliliği hesaplamaları yapılmıştır. Verimlilik göstergelerinin bağımlı değişken, bağımsız denetimin bağımsız değişken, şirket büyüklüğü, aile şirketi olup olmama, üst yöneticinin tecrübesi ve finansmanın şirket faaliyetlerine engel olma derecelerinin kontrol değişken olduğu üç ayrı model geliştirilmiştir. Oluşturulan modeller çoklu regresyon analiziyle test edilmiştir.

Bulgular: Elde edilen sonuçlar, bağımsız denetim ile işgücü verimliliği ve toplam faktör verimliliği arasındaki pozitif yönlü ilişki öngörüsünü desteklemektedir. Yatırım verimliliği ile bağımsız denetim arasında iki değişkenli analizde anlamlı pozitif ilişki olduğu görülse de kontrol değişkenleri modele dahil edildiğinde bu ilişki istatistiksel olarak anlamlı çıkmamaktadır.

Özgünlük: Bu çalışmada bağımsız denetim ile operasyonel verimlilik arasındaki ilişki daha önce literatürde rastlanmayan bir açıdan ele alınmaktadır. Söz konusu ilişki bağımsız denetimin sağladığı güvenilir bilgi ortamı çerçevesinden işlenmiştir. Ayrıca bağımsız denetim ile verimlilik arasındaki ilişkinin Türkiye örneği ile araştırıldığı ilk çalışmadır.

Anahtar Kelimeler: Bağımsız Denetim, Operasyonel Verimlilik, Güvenilir Bilgi Ortamı.

JEL Kodları: D24, M40, M2.

Independent Audit, Reliable Information Environment and Operational Productivity: Evidence from Manufacturing Enterprises from Türkiye

ABSTRACT

Purpose: In the study, the investigation of the relationship between operational productivity and independent audit in the context of providing a reliable information environment in businesses is aimed.

Methodology: The relationship between independent audit and operational productivity has been investigated through a non-experimental design. Secondary data retrieved from the World Bank database were used within the scope of the study. Accordingly, calculations were made for labor productivity, investment productivity, and total factor productivity at the firm level. Three separate models were developed where productivity indicators were the dependent variable, independent audit was the independent variable, and company size, whether it is a family-owned business, the experience of the top management, and the extent to which financing hinders company operations were control variables. The created models were tested using multiple regression analysis.

Findings: The obtained results support the positive relationship between independent audit and labor productivity as well as total factor productivity. Although a significant positive relationship is observed between investment productivity and independent audit in bivariate analysis, when control variables are included in the model, this relationship does not appear statistically significant.

Originality: In this study, the relationship between independent audit and operational productivity is addressed from a previously unexplored perspective in the literature. This relationship is examined within the framework of the reliable information environment provided by independent audit. Additionally, this is the first study to investigate the relationship between independent audit and productivity using the sample of Türkiye.

Keywords: Independent Audit, Operational Productivity, Reliable Information Environment.

JEL Codes: D24, M40, M2.

¹ Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Karaman, Türkiye

Sorumlu Yazar-Corresponding Author: Serhat Şamil, sesamil@gmail.com

DOI: 10.51551/verimlilik.1409515

Araştırma Makalesi / Research Article | Geliş / Submitted: 25.12.2023 | Kabul / Accepted: 02.03.2024

Atıf/Cite: Şamil, S. (2024). "Bağımsız Denetim, Güvenilir Bilgi Ortamı ve Operasyonel Verimlilik: Türkiye’de Faaliyet Gösteren İmalat İşletmelerinde Bir Araştırma", *Verimlilik Dergisi*, 58(2), 201-214.

EXTENDED ABSTRACT

Firms find themselves at the core of growth, innovation, and economic advancement in an environment where international trade is continually expanding, and competition is fierce. They also contribute to issues like inflation, growth, and unemployment in the economies in which they operate. They can only contribute meaningfully and positively in this area if they are productive. Put another way, firms will be able to employ labor and other resources effectively while still producing high-quality results, which will allow them to be productive and positively impact the larger context. To put it briefly, firm level productivity plays a significant role in aggregate national productivity.

Numerous factors can impact a firms' productivity levels, which can differ significantly even within the same industry. Because of this, study on the factors that affect productivity at the firm level is popular in academia. In this regard, one of the most important subjects is information and information mechanisms. The relationship between productivity and independent auditing-which is crucial for providing information-is examined in this study.

Indeed, the goal of an independent audit is to verify and enhance the accuracy of the information generated by the organization and its system, as well as to provide a reasonable level of assurance for the information. Audited information is critical to reducing risk and making sound decisions.

When it comes to productivity, the link between input and output is expressed by the term in its broadest sense. The ratio of output to input is used to formulate this relationship. Moreover, achieving high productivity is summed up as producing more with the same amount of input.

There are studies in the literature that look for an association between various aspects of independent auditing and productivity, but few of them specifically indicate an association between productivity and the procurement of independent auditing services. By providing an alternative viewpoint in this regard, it is expected that this study will contribute to the literature.

The World Bank database served as the source of the data for the study. At the firm level, estimates were conducted for labor productivity, investment productivity, and total factor productivity. Three different models were created, with independent auditing serving as the independent variable and productivity indicators as the dependent variable. In addition, the size of the firm, whether it is a family business or not, the senior manager's experience, and the extent to which financing impedes the business's operations are all considered control variables. Multiple regression analysis was used to test the developed models.

The findings support the hypothesis that there is a positive correlation between labor productivity and total factor productivity and independent auditing. When control variables are incorporated into the model, the statistical significance of the association between investment productivity and independent audit is lost, despite the bivariate analysis showing a significantly positive correlation.

One of the limitations of the research is that the cross-sectional nature of the data it employed made it impossible to demonstrate a causal association. It is possible to view the association that was found as having the potential to be causative. The utilization of secondary data unveils another limitation of the study. As a result, the study's data set and productive computations were limited by the capabilities of the database.

The findings ought to provide academics, businesses, and regulators useful information and a comprehensive knowledge of the critical role independent audits play in guiding firms toward competitiveness and sustainable growth.

1. GİRİŞ

Rekabetin yoğunlaştığı ve uluslararası ticaretin sürekli geliştiği bir ortamda şirketler kendilerini büyüme, inovasyon ve ekonomik ilerlemenin odağında bulmaktadır. Şirketler, faaliyetlerini yürüttükleri ülkelerde enflasyon, büyüme ve işsizlik gibi iktisadi konularda da katkı sağlayan önemli aktörlerdir (Chen ve Semmler, 2018; Fedulova ve diğerleri, 2019; Kim ve diğerleri, 2013). Bu doğrultuda olumlu ve yüksek katkıda bulunabilmeleri verimli olmaları ile mümkündür. Diğer bir deyişle şirketler kullandıkları gerek iş gücü gerek diğer kaynakları yüksek çıktılara dönüştürerek verimli olabilecek ve genel tabloya olumlu katkıda bulunabileceklerdir. Özet bir ifadeyle ülke geneli verimlilik için şirketler düzeyindeki verimlilik önem arz etmektedir.

Şirketlerin verimlilik düzeyleri ise birçok faktörden etkilenmekte ve çok farklılıklar göstermektedir (Berlingieri ve diğerleri, 2017). Aynı sektörde faaliyet gösteren şirketlerde bile ciddi anlamda farklılaşmalar söz konusu olabilmektedir (Syverson, 2011). Bu nedenle şirket düzeyinde verimliliğin belirleyicilerinin neler olduğu sıkça araştırma konusu olmaktadır. Bilgi ve bilgi mekanizmaları da bu anlamda öne çıkan başlıklardan birisidir.

Bilginin ve bilgi araçlarının verimlilikle yakın ilişkisine ve verimliliği arttırmadaki önemine araştırmacılar ve resmi otoriteler tarafından da sıkça değinilmektedir (Bulkley ve Van Alstyne, 2004; Dedrick ve diğerleri, 2013; Oliner ve Sichel, 2002; Quinn ve Baily, 1994). Bu çalışmada ise bilgilendirme konusunda kritik rol üstlenen bağımsız denetim (Wallace, 1980) ile verimlilik arasındaki ilişki konu edinilmiştir.

Bağımsız denetiminin esas amacı, bir şirketin hazırladığı mali tabloların bağımsız ve objektif bir şekilde denetlenerek finansal durum ve performansla ilişkin bilgilerin doğru ve adil bir şekilde sunulduğuna ilişkin makul güvence vermektir. Bağımsız denetimin doğrudan hedefi bu şekilde olup dolaylı olarak sağladığı faydalar da söz konusudur. Bu faydalardan birisi de şirket içindeki bilgi ortamının güvenilirliğini arttırmasıdır. Bağımsız denetim ile muhasebe kayıtları, iç kontroller ve düzenleyici standartlara uyum sıkı bir incelemeden geçer. Böylece daha güvenilir bir bilgi ortamı oluşmasına katkı sağlar.

Güvenilir bilgi, şirket verimliliğini doğrudan etkileyen işletme faaliyetlerine ilişkin kararların kalitesini arttıracaktır. Bunun dışında bilginin güvenilir olması faaliyetlerin etkin ve akıcı olmasına, kaynakların yerinde kullanımına, daha sağlıklı performans değerlemelerine ve daha iyi risk yönetimine katkı sağlayacaktır. Bunlar da verimliliğe doğrudan katkıda bulunacak durumlardır.

Çalışmada, bağımsız denetimin genel operasyonel verimlilik ile ilişki içerisinde olduğu ve şirket düzeyinde verimliliği arttırmak için potansiyel stratejik bir araç olduğu öne sürülmekte ve buna ilişkin kanıt ortaya konulmaya çalışılmaktadır. Çalışma, verimlilik ve bağımsız denetim arasındaki ilişkiyi bilgi ortamının güvenilirliği perspektifinde ele alarak literatürdeki diğer çalışmalardan ayırmaktadır. Ayrıca şirketlerde verimlilik ile bağımsız denetimin varlığı arasında doğrudan ilişki kurulması, bu şekilde ele alan çalışmaların azlığından dolayı, ilgili literatüre önemli katkı sağlayacaktır. Nitekim literatürde yer alan çalışmaların çoğu bağımsız denetimi farklı boyutlarıyla ele almaktadır. Bunların yanı sıra, bu araştırma bağımsız denetim ve verimlilik arasındaki ilişkinin arayışında, Türkiye örneğiyle yapılan ilk çalışmadır.

Çalışmanın bundan sonraki kısımlarında ilk olarak verimlilik ve bağımsız denetim arasındaki ilişki teorik olarak kurulmakta ve bu ilişkiyi literatürde farklı boyutlarda ele alan çalışmalar sunulmakta ve geliştirilen hipoteze yer verilmektedir. Sonrasında geliştirilen hipotezin test edilebilmesi için kullanılan veri seti, veri kaynağı ve bu veri setinin analizinde başvurulan yöntemler ele alınmaktadır. Daha sonra ise istatistiksel analizler ve bulgular sunulmaktadır. Son olarak sonuç ve değerlendirme bölümü ile çalışma tamamlanmaktadır.

2. VERİMLİLİK ve BAĞIMSIZ DENETİM: TEORİ, LİTERATÜR ve HİPOTEZ

Verimlilik, en genel yaklaşımla girdi ile çıktı arasındaki ilişkiyi ifade etmektedir. Bu ilişki, çıktının girdiye oranı şeklinde formüle edilmektedir. Yüksek verimlilik ise aynı miktarda girdiden daha fazla çıktı elde etmek şeklinde özetlenmektedir (Prokopenko, 1987: 3).

Verimlilik, ülke, sektör, şirket, şirket birimleri veya birey olmak üzere farklı düzeylerde ele alınabilecek bir olgudur. Verimlilik ölçümü de hangi düzeyde ve hangi amaçla ele alındığına göre şekillenmektedir. Bağımsız denetim ve verimlilik arasındaki ilişki ise farklı boyutlarda ele alınabilecek olsa da aralarında kurulabilecek en yakın ilişki işletme düzeyindedir.

İşletme düzeyindeki verimlilik aynı zamanda ülke verimliliği açısından da önemlidir. İşletmelerin verimliliği, kolektif olarak tüm ülkenin ekonomik çıktısına ve rekabet gücüne katkıda bulunur. Daha spesifik olarak işletmelerde verimliliğin düşük olmasının enflasyon, ticaret dengesi, büyüme ve işsizlik gibi iktisadi konularda olumsuz yönde etkisi olacaktır (Prokopenko, 1987: 7).

Genel olarak muhasebe uygulamaları, şirketlerin verimliliği açısından dikkate değer bir araştırma alanı olarak görülmektedir (Barrios ve diğerleri, 2019). Bir muhasebe uygulaması olan bağımsız denetim pratikleri de aynı şekilde şirketlerin operasyonel verimlilikleri ile ilişkilendirilebilmektedir.

Literatürde bağımsız denetim ile şirketlerin operasyonel verimlilik göstergeleri arasında doğrudan veya dolaylı olarak ve farklı boyutlarda ilişki öngörüsü ve destekleyici bulgulara rastlanmaktadır. Operasyonel verimlilik sermaye, iş gücü veya yatırım verimliliği gibi farklı boyutlarla ele alınabilmektedir.

Salazar-Elena ve Guimón (2019), küçük ölçekli şirketlerde iş gücü verimliliği ile yönetim uygulamaları arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Bağımsız denetim hizmeti almayı da yönetim uygulamaları kapsamında ele almışlardır. Çalışmada bağımsız denetim hizmeti alan şirketlerde iş gücü verimliliğinin daha yüksek olduğuna ilişkin bulgular elde etmişlerdir.

Literatürde bağımsız denetim ile en sık ilişkilendirilen verimlilik boyutu yatırım verimliliğidir. Bu doğrultuda ilişki arayan ve destekleyici bulgular sunan bir çok çalışmaya rastlanmaktadır (Assad ve Alshurideh, 2020; Bae ve Choi, 2012; Boubaker ve diğerleri, 2018; Elaoud ve Jarboui, 2017; Lu ve Sapra, 2009; Shahzad ve diğerleri, 2019).

Lu ve Sapra (2009) yatırım verimliliği ile denetçinin beyanı arasında ilişki öngörüsünde bulunmuş ve destekleyici bulgular elde etmiştir. Çalışmanın bulgularına göre, denetçinin olumlu veya olumsuz raporundan ziyade tutumu daha çok öne çıkmaktadır. Denetçinin agresif bir tutum sergilemesi, olumlu rapor sunmasına rağmen şirkete gelen yatırımları aşağı yönlü (under-investment) tetikleyebilmektedir. Diğer taraftan daha ihtiyatlı bir tutum takınan bir denetçi olumsuz rapor vermesine rağmen aşırı yatırımı (over-investment) tetikleyebilmektedir.

Chen ve diğerleri (2011), finansal raporlama kalitesi ile yatırım verimliliği arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. Finansal raporlama kalitesine gösterge olarak da kabul edilebilen bağımsız denetim de oluşturulan modelde değişken olarak yer almıştır. Çalışmada elde edilen bulgulara göre iki değişken arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki görülmemektedir.

Bae ve Choi (2012), denetçi özellikleri ile şirketin yatırım verimliliği arasında ilişki olduğu öngörüsünde bulunmuş ve destekleyici bulgular elde etmişlerdir. Çalışmanın bulgularına göre büyük ölçekli ve bilgi asimetrisinin yüksek olduğu şirketlerde denetçinin yatırım verimliliği üzerindeki etkisi daha net görülmektedir. Ayrıca rekabetin yüksek olduğu sektörlerde faaliyet gösteren şirketlerde de denetçinin etkisi daha belirgin görülmektedir.

Elaoud ve Jarboui (2017), muhasebe bilgi kalitesi ile kaliteli bağımsız denetime gösterge olarak kabul edilen denetçi uzmanlığının (DeFond ve Zhang, 2014) yatırım verimliliğiyle ilişkisini araştırmışlardır. Muhasebe bilgi kalitesinin aşırı yatırım sorununu, denetçi uzmanlığının da yetersiz yatırım sorununu azaltmaya yardımcı olduğunu keşfetmişlerdir. Ayrıca, muhasebe bilgi kalitesi ve denetçi uzmanlığının, yatırım verimliliğini artırmada bir dereceye kadar ikame edilebilen iki mekanizma olduğunu belirtmektedirler. Elde ettikleri bulgulara göre, sektörde uzman denetçilerden hizmet alan şirketlerde muhasebe bilgi kalitesi ile yatırım verimliliği arasındaki ilişki pozitif yönlü ve daha güçlüdür.

Boubaker ve diğerleri (2018), denetim kalitesinin yatırım verimliliği ile olan ilişkisini Fransa'da faaliyet gösteren ve borsada listelenen 125 şirketin 8 yıllık verisi üzerinden araştırmışlardır. Çalışmada denetimin kalitesiyle yatırım verimliliği arasında pozitif bir ilişki bulmuşlardır. Daha nitelikli denetçilerle çalışan şirketlerin aşırı yatırım (over-investment) veya yetersiz yatırım (under-investment) yapma eğilimleri azalmaktadır.

Shahzad ve diğerleri (2019), bağımsız denetimin kalitesinin yatırım verimliliğini arttıracığına yönelik beklentilerini Pakistan Borsası'nda listelenen şirketler üzerinden araştırmıştır. Elde edilen bulgulara göre denetim kalitesi ile yatırım verimliliği arasında pozitif ilişki söz konusudur. Bu istatistiksel olarak anlamlı ilişkiyi kaliteli bağımsız denetimin yatırım verimliliğini arttıracığına yönelik beklentiyi desteklediği şeklinde yorumlamaktadırlar.

Assad ve Alshurideh (2020), finansal raporlama kalitesi ve bağımsız denetim kalitesinin yatırım verimliliği ile ilişkisini Körfez İş Birliği Konseyine üye ülkelerde faaliyet gösteren şirketler üzerinden araştırmışlardır. Bağımsız denetim kalitesinin yatırım verimliliği üzerinde doğrudan pozitif etkisi olduğunu destekler bulgular elde etmişlerdir. Aynı zamanda denetim kalitesinin, yatırım verimliliği ile finansal raporlama kalitesi arasındaki ilişkide ılımlaştırıcı (moderating) etkisinin de olduğuna ilişkin bulgulara da ulaşmışlardır.

Bağımsız denetimin verimlilikle ilişkisi "Bilgi Asimetrisi (Akerlof, 1978)" ve "Bağımsız denetimin Bilgilendirici Rolü (Wallace, 1980)" çerçevesinden ele alınabilir. Nitekim bağımsız denetimin amacı şirket içerisinde üretilen bilginin ve üreten sistemin makul güvence seviyesinde güvenilirliğini teyit etmek ve arttırmak şeklinde ifade edilebilmektedir. Denetlenmiş bilgi, riski azaltmak ve sağlıklı karar vermek açısından kritik

öneme sahiptir (Wallace, 1980: 16). Bu açıdan bağımsız denetim ile verimlilik arasındaki ilişkide bilgi asimetrisi, kaliteli finansal raporlama, iç kontrol ve kurumsal yönetim öne çıkan başlıklardır.

Bilgi asimetrisi bağımsız denetime olan talebin en güçlü nedenlerinden birisi olarak görülmektedir (Jensen ve Meckling, 1976; Watts ve Zimmerman, 1983). Bilgi asimetrisi aynı zamanda verimlilikle de yakından ilişkilendirilmektedir (Chen ve diğerleri, 2011; Jin ve diğerleri, 2020). Asimetrik bilginin yoğunluğu şirket faaliyetlerinde şeffaflığı azaltacaktır. Bağımsız denetim bilgi asimetrisini azaltmakla daha şeffaf bir ortama katkı sunmaktadır. Diğer taraftan şeffaflık eksikliği bilinçli kararlar alma ve operasyonel verimliliği artırmak için etkili adımlar atma becerilerini engellemektedir (Berggren ve Bernshteyn, 2007).

Örneğin bilgi asimetrisinin varlığı çalışan performansına ilişkin çarpık algılara da yol açabilir. Yöneticiler yapılan işi tam olarak gözlemleyemiyorlarsa çalışanların üretkenliğini değerlendirirken eksik veya yanlış bilgileri dayanak alabilir. Bu durum, teşvik ile verimlilik arasındaki pozitif ilişki (Chrisman ve diğerleri, 2017) dikkate alındığında, teşviklerin yanlış yönlendirilmesi ile sonuçlanabilir ve genel operasyonel verimliliği olumsuz etkileyebilir. Ayrıca bir kuruluşun farklı departmanları arasında asimetrik bilginin varlığı, verimlilikle yakından ilişkilendirilebilecek iş birliği ve koordinasyonda (Tjosvold ve Tsao, 1989) zayıflığa sebep olacaktır.

Bağımsız denetim hizmeti almış olan şirketlerde almamış olanlara göre asimetrik bilgi probleminin daha az olması beklenir. Hatta bağımsız denetim hizmeti almış şirketlerde asimetrik bilginin, almayan şirketlerdekine göre daha az olduğuna işaret ettiği kabul edilmekte ve çalışmalarda gösterge olarak kullanılmaktadır (Cano Rodríguez ve Sánchez Alegría, 2012; Hakim & Omri, 2010). Bilgi asimetrisi de şirket düzeyinde verimlilikleri olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Chen ve diğerleri, 2011; Jin ve diğerleri, 2020)

Asimetrik bilgi ile de karşılıklı ilişkisi olan ve verimlilikle yakından ilişkilendirilen bir konu da finansal raporlama kalitesidir. Finansal raporlama kalitesi ile verimlilik arasındaki ilişki de genellikle bilgi asimetrisi problemi üzerinden kurulmaktadır (Chen ve diğerleri, 2011; Jung ve diğerleri, 2014; Verdi, 2006). Finansal raporlamanın kalitesinin asimetrik bilgiyi azaltacağı ve bunun da verimliliğe pozitif yansıtacağı beklenmektedir (Verdi, 2006). Bağımsız denetim hizmeti almak da birçok çalışmada finansal raporlamanın kalitesine gösterge olarak kabul edilmektedir (Chen ve diğerleri, 2011; Francis ve diğerleri, 2008; Salazar-Elena ve Guimón, 2019).

Finansal raporların denetimi aynı zamanda finansal bilgilerin üretildiği sistemin, yani iç kontrol sisteminin de denetimini içermektedir. Şirketlerin iç kontrol sistemlerinin etkinliği ile operasyonel verimlilikleri arasında doğrusal ilişki olduğu öngörüsü ve buna ilişkin destekleyici bulgular bulunmaktadır (Cheng ve diğerleri, 2013; Cheng ve diğerleri, 2018; Feng ve diğerleri, 2009). Diğer taraftan bir şirketin finansal tablolarının denetlenebilmesi için iç kontrol sistemine de sahip olması gerekmektedir. Bu açıdan şirketlerin finansal tablolarının denetlenmiş olması, özellikle denetim hizmeti almamış olanlara nispeten, iç kontrol sistemine ilişkin olumlu bir gösterge olarak kabul edilebilecektir.

Verimlilik ve bağımsız denetim arasında dolaylı olarak ilişki kuracak diğer bir boyutta kurumsal yönetimdir. Kurumsal yönetim pratiklerinin şirketlerde verimliliği arttırdığına ilişkin literatürde çokça bulgu bulunmaktadır (Chiang ve Lin, 2007; Cowling, 2003; Min ve Smyth, 2014; Su ve He, 2012; Tian ve Twite, 2011). Diğer taraftan kurumsal yönetim uygulamalarının bilgi asimetrisi (Cormier ve diğerleri, 2010) ve finansal raporlama kalitesine (Cohen ve diğerleri, 2008; Goodwin ve Seow, 2002) olumlu katkısına yönelik bulgular da bulunmaktadır.

Bağımsız denetimin kurumsal yönetimle olan ilişkisine farklı bakış açıları (AlQadasi ve Abidin, 2018) bulunmakla birlikte bir kurumsal yönetim mekanizması olarak da kabul edilmektedir (Ashbaugh ve Warfield, 2003; Cohen ve diğerleri, 2002). Cadbury raporunda² bağımsız denetim, kurumsal yönetimin önemli bileşenlerinden birisi olarak öne çıkarılmaktadır. Raporla, denetime olan gerekliliğin ötesinde, denetim sürecindeki etkinliğin ve nesnelliğin nasıl sağlanacağına asıl mesele olduğu ifade edilerek, bağımsız denetimin kurumsal yönetim pratiğindeki kritik önemi vurgulanmaktadır (Cadbury, 1992: md. 5.1.).

Özetle bir şirketin finansal tablolarının denetimden geçmiş olması, verimliliği etkileyebilecek bilgi asimetrisi, finansal raporlama kalitesi, iç kontrol ve kurumsal yönetim açısından olumlu bir gösterge olarak kabul edilebilecektir. Bu doğrultuda çalışmada geliştirilen hipotez;

H1: Bağımsız denetim ile operasyonel verimlilikler arasında pozitif yönlü ilişki vardır.

Literatürdeki çalışmaların çoğunda şirketlerin verimlilik göstergeleri ile bağımsız denetim arasındaki ilişki daha çok bağımsız denetime ilişkin farklı boyutlar dikkate alınarak ele alındığı görülmektedir. Söz konusu boyutlar ağırlıklı olarak denetim kalitesi şeklinde iken denetçi özellikleri veya denetçi tutumu olarak da ele

² İngiltere'de Adrian Cadbury isimli bir iş adamının başında olduğu bir komite tarafından hazırlanan ve kurumsal yönetim kavramının ilk defa kullanıldığı "Kurumsal Yönetimin Finansal Boyutu (The Cadbury Committee Report: Financial Aspects of Corporate Governance)" isimli rapor.

alındığı görülmektedir. İlgili literatürde bu doğrultuda yalnızca Salazar-Elena ve Guimón (2019), bağımsız denetimin varlığı ile iş gücü verimliliği arasındaki ilişkiyi çalışmalarında ele almışlardır. Bu çalışmada ise bağımsız denetimin varlığı ile iş gücü verimliliğinin yanı sıra yatırım verimliliği ve toplam faktör verimliliği arasındaki ilişkiye yönelik kanıtlar da sunulmaktadır.

Diğer taraftan literatürde bağımsız denetim ile şirketlerin verimlilik göstergeleri arasındaki ilişki bağlamında, güvenilir bilgi ortamının teorik çerçeve olarak alındığı çalışma bulunmamaktadır. Söz konusu ilişkiye bilgi ortamı güvenilirliği perspektifinden bakılması da bu çalışmayı literatürdeki çalışmalardan ayırmakta ve farklı bir bakış açısı sunmaktadır.

3. VERİ ve YÖNTEM

Çalışmada başvuru alan “İş Ortamı ve İşletme Performansı Anketi (Business Environment and Enterprise Performance Survey- BEEPS)” projesi, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde faaliyet gösteren özel sektör şirketlerinden kesitsel veriler toplamak ve bu verileri bir veri tabanı aracılığıyla paylaşmak amacıyla geliştirilmiştir. Şirket düzeyindeki bu veriler, “<https://www.enterprisesurveys.org/en/enterprisesurveys>” adresinden kaydolunarak temin edilebilmektedir (World Bank Group, 2020).

BEEPS anketlerinde standartlaştırılmış bir uygulama, örnekleme ve kalite kontrol metodolojisi takip edilmektedir. BEEPS, 2023 yılı itibarıyla 155 ülkede 195.000 firmaya ait finansmana erişim, yolsuzluk, altyapı, suç, rekabet ve performans ölçümleri dahil olmak üzere çeşitli iş ortamı göstergelerine ilişkin veri sağlamaktadır. Veriler, dünya genelinde iş ortamının kalitesini ölçen göstergeler oluşturmak için kullanılmaktadır. Her ülkede her 4-5 yılda güncellenen sorularla birlikte anket yapılmakta ve sonuçları paylaşılmaktadır.

Bu proje kapsamında Türkiye’de yapılan son anket 2019 yılına aittir. Çalışma kapsamında da en güncel veri olarak bu yıla ait veriler kullanılmıştır. Çalışmada, hem verilerine daha eksiksiz ulaşılabilmesi sebebiyle hem de hesaplanan verimlilik katsayısının daha karşılaştırılabilir olabilmesi adına yalnızca imalat sektöründe faaliyet gösteren şirketler dahil edilmiştir. Eksik veya hatalı veriler, veri setinden çıkarılmış ve geriye kalan toplam 374 şirket üzerinden analizler yapılmıştır.

Kullanılan veriler nitelik olarak kesitseldir. Verilerin bu niteliğinden dolayı nedensellik ilişkisi kurulamayacağından deneysel olmayan bir araştırma tasarımı kurgulanmıştır. Bu sebeple bağımlı değişken ile bağımsız değişken arasındaki ilişki korelasyonel ilişkidir. Bununla birlikte bağımsız değişkeninin bağımlı değişkeni etkileyen bir faktör olamayacağı çıkarımı yapmak da eksik olacaktır. Bunun yerine bağımsız değişkeninin bağımlı değişkeni etkileyen bir faktör olabileceği şeklinde keskin olmayan bir ifadeyle buradaki potansiyeli vurgulamak daha uygun olacaktır.

Ortaya bir verimlilik değeri koyabilmek adına çıktı ve girdi, fiziksel miktarlar veya değerlerle temsil ettirilmelidir. İşletme düzeyinde verimlilik ölçümlerinde en sık kullanılan yaklaşım girdinin ve çıktının parasal değerlerle ifade edilmesidir. BEEPS, işletme düzeyinde verimlilik hesaplaması için yeterli verileri sunmaktadır. Nitekim literatürde verimlilik araştırması yapan birçok çalışma BEEPS’ten bu amaçla ve benzer metodolojiyle yararlanmışır (Bogetic ve Olusi, 2013; De Rosa ve diğerleri, 2010; Gogokhia ve Berulava, 2021).

İşletme düzeyinde verimlilik ölçümünde çıktı olarak birkaç gösterge kullanılabilir. Bunlardan birisi ve en sık başvuru alanı şirketin gelirdir (Hope ve diğerleri, 2022; Kang ve diğerleri, 2018; Motta, 2020). Çalışmada da şirketlerin yıllık toplam satış tutarları verimlilik hesaplamasında çıktı olarak dikkate alınmıştır.

Şirket gelirinin çıktı olarak kullanıldığı verimlilik ölçümlerinde girdi olarak şirketin katlandığı parasal fedakarlıkların kullanılması en makul yaklaşımdır. Diğer bir ifadeyle ilgili dönemde yüklenilen maliyet ve giderler girdi kalemleri olarak dikkate alınabilecektir. Çalışmada verimlilik için girdi değerleri olarak iş gücü maliyeti, hammadde ve ara malı maliyeti ve yatırım maliyetine (makine ve ekipmanların yeniden alım değerleri) ilişkin değerler kullanılmıştır.

Ayrıca hesaplanan verimlilik katsayıları, diğer bir verimlilik göstergesi olan kapasite kullanım oranları ile çarpılarak düzeltilmesi (adjusted) uygun görülmüştür (Planas ve diğerleri, 2013). Çalışmada ele alınan verimlilik türleri iş gücü verimliliği, yatırım verimliliği ve toplam faktör verimliliğidir. İlgili hesaplamalar Tablo 1’de sunulmuştur. Şirketlerin bağımsız denetim hizmeti alıp almaması (0-1) her bir modelin bağımsız değişkenidir. Ayrıca *buy*, *ales*, *ceotec* ve *fineng* değişkenleri her bir modelde kontrol değişkenleri olarak eklenmiştir. İlgili değişkenlere ilişkin açıklamalar Tablo 1’de yer almaktadır

Bağımlı, bağımsız ve kontrol değişkenleri gösteren araştırma modelleri Eşitlik 1-3’teki şekildedir.

$$isg_v = \alpha + \beta_0dent + \beta_1buy + \beta_2ales + \beta_3ceotec + \beta_4fineng + \epsilon_i \quad (1)$$

$$yat_v = \alpha + \beta_0dent + \beta_1buy + \beta_2ales + \beta_3ceotec + \beta_4fineng + \epsilon_i \quad (2)$$

$$tof_v = \alpha + \beta_0dent + \beta_1buy + \beta_2ailes + \beta_3ceotec + \beta_4fineng + \epsilon_i \quad (3)$$

Tablo 1. Veri seti

Kodu	WBES kodu	Açıklama	Kullanım şekli
isg _{mal}	n2a	Son mali yıldaki toplam işgücü maliyeti (ücret, maaş, ikramiye vb. dahil)	Verimlilik göstergelerinin hesaplanmasında iş gücü maliyeti olarak kullanılmıştır.
H _{mal}	n2e	Son mali yılda üretimde kullanılan hammadde ve ara malı maliyeti	Verimlilik göstergelerinin hesaplanmasında hammadde maliyeti olarak kullanılmıştır.
Y _{mal}	n7a	Tüm makinalarının yeniden alımını sağlayacak kuruluş maliyeti	Verimlilik göstergelerinin hesaplanmasında yatırım maliyeti kalemi için kullanılmıştır.
T _{sat}	d2	Geçen mali yılda bu kuruluşun toplam yıllık satışları neydi?	Verimlilik göstergelerinin hesaplanmasında toplam satışlar için kullanılmıştır.
KKO	f1	Son mali yılda bu kuruluşun kapasite kullanım oranı neydi?	Verimlilik göstergelerinin hesaplanmasında kapasite kullanım oranı için olarak kullanılmıştır.
isg _v	d2, na, f1	İş gücü verimliliği	$\frac{\ln(T_{sat})}{\ln(isg_{mal})} \times KKO$
yat _v	d2, n7a, f1	Yatırım verimliliği	$\frac{\ln(T_{sat})}{\ln(Y_{mal})} \times KKO$
tof _v		Toplam faktör verimliliği	$\frac{\ln(T_{sat})}{\ln(isg_{mal}) + \ln(H_{mal}) + \ln(Y_{mal})} \times KKO$
dent	k21	Mali tablolar son mali yılda dış denetçi tarafından denetlendi mi?	Doğal logaritması alınarak kullanılmıştır.
buy	l1	Son mali yıl sonu itibariyle daimî tam zamanlı çalışan sayısı kaçtır?	Toplam çalışan sayısının doğal logaritması şeklinde kullanılmıştır
ailes	BMb1	Şirkette aynı aileden olanların yüzdesi kaçtır?	%50'den fazla ise 1, değilse 0 şeklinde kodlanmıştır
ceotec	b7	Üst yöneticinin ilgili sektörde kaç yıllık tecrübesi vardır?	Doğal logaritması alınarak kullanılmıştır.
fineng	k30	Finansmana erişim şirket faaliyetlerine ne kadar engel olarak görülüyor?	0 – 4 arası

4. ANALİZ ve BULGULAR

Analize dahil edilen imalat şirketlerinin alt sektörlerine göre dağılımı Tablo 2'de sunulmaktadır. Veri setinde yer alan imalat şirketlerinin %30'u giyim ve tekstil, %17,6'sı metal ürünler, %16,3'ü gıda, %11,8'i makine ve ekipman alt sektörlerinde faaliyet göstermektedir.

Tablo 2. Şirketlerin Sektör Dağılımları

Sektörler	Frekans	Yüzde
Makine ve Ekipman	44	11,8
Gıda	61	16,3
Metal Ürünler	66	17,6
Diğer İmalat Şirketleri	90	24,1
Giyim & Tekstil	113	30,0
Toplam	374	100,0

Çalışmada kullanılan değişkenlere ilişkin minimum, maksimum, ortalama ve standart sapma değerlerini veren tanımlayıcı istatistikler Tablo 3'te sunulmuştur. Bağımlı, bağımsız ve kontrol değişkenlerinin korelasyon katsayılarına ilişkin matris Tablo 4'te sunulmaktadır. Veri setinde kategorik değişkenlerin de olması nedeniyle Pearson Korelasyon katsayısının yanı sıra Spearman Korelasyon katsayısı da hesaplanmıştır. Tablo 4'te çapraz kesitin üst kısmı Spearman korelasyon katsayıları ve anlamlılık düzeyleri, alt kısmında ise Pearson Korelasyon katsayıları ve anlamlılık düzeyleri sunulmuştur.

Tablo 3. Tanımlayıcı istatistikler

Değişkenler	N	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
isg_v	374	10,82	149,68	90,9134	25,22327
yat_v	374	11,30	159,53	86,7095	26,02220
tof_v	374	10,07	118,31	79,7359	22,12739
dent	374	0,00	1,00	0,3717	0,48389
buy	374	1,10	6,13	2,9343	0,96648
ailles	374	0,00	1,00	0,5348	0,49946
ceotec	374	1,10	4,09	3,0612	0,55523
fineng	374	0,00	4,00	1,8102	1,12672
Geçerli N	374				

Verimlilik ölçümleri arasında yüksek korelasyon tespit edilmiştir. Yüksek korelasyon, söz konusu değerler aynı modelde bağımsız değişken olarak yer almadıkları için bir sorun teşkil etmemektedir. Yüksek korelasyon durumunda indirgemeci yaklaşımla bir tanesinin tercih edilmesi yeterli olduğu düşünülebilir. Ancak farklı verimlilik boyutlarını ölçtükleri için ayrı ayrı değerlendirilmeye devam edilmiştir.

Tablo 4. Korelasyon Tablosu

	isg_v	yat_v	tof_v	dent	buy	ailles	ceotec	fineng
isg_v	1	0,885**	0,956**	0,254**	0,109*	0,353**	-0,183**	0,027
yat_v	0,908**	1	0,954**	0,197**	0,100	0,318**	-0,209**	0,064
tof_v	0,977**	0,949**	1	0,248**	0,133**	0,343**	-0,215**	0,027
dent	0,215**	0,154**	0,209**	1	0,321**	0,285**	-0,009	-0,141**
buy	0,120*	0,103*	0,151**	0,300**	1	0,034	0,046	-0,142**
ailles	0,288**	0,288**	0,290**	0,285**	0,031	1	-0,040	-0,065
ceotec	-0,149**	-0,190**	-0,177**	0,009	0,052	-0,027	1	0,040
fineng	0,044	0,075	0,040	-0,136**	-0,138**	-0,062	0,039	1

** , Korelasyon 0,01 seviyesinde anlamlıdır; * , Korelasyon 0,05 seviyesinde anlamlıdır.

Diğer taraftan, bağımsız değişken ve kontrol değişkenleri arasında çoklu doğrusal bağlantı problemine işaret edecek yüksek korelasyon gözükmemektedir. Bağımsız değişken ile üç verimlilik göstergesi arasında pozitif yönlü %99 güven aralığında anlamlı korelasyon bulunmaktadır. Tablo 5'te modellerin regresyon analiz çıktıları sunulmuştur. Test edilen modellerin hepsi istatistiksel olarak anlamlıdır.

Her bir bağımlı değişkene ilişkin iki ayrı model oluşturularak test edilmiştir. Bağımsız denetimin verimlilik ile ilişkisinin kontrol değişkenleri modele dahil edildiğinde de devam edip etmediğinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda sadece bağımsız denetimin tek bağımsız değişken olarak dahil edildiği durumlarda üç ayrı verimlilik göstergesi için pozitif yönlü anlamlı ilişki olduğu görülmektedir.

Kontrol değişkenlerinin modele dahil edilmesi bağımsız denetimin iş gücü verimliliği ile anlamlı ilişkisini olumsuz etkilememektedir. Bununla birlikte aile şirketlerinde iş gücü verimliliğinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Diğer taraftan üst yönetici tecrübesi ile iş gücü verimliliği arasında negatif ve anlamlı ilişki olduğu görülmektedir.

Yatırım verimliliği ile bağımsız denetim arasında kurulan basit regresyona göre istatistiksel olarak anlamlı ilişki görülmektedir. Ancak ilgili değişkenler kontrol edildiğinde bu ilişki istatistiksel olarak anlamsız olmaktadır. Kontrol değişkenlerinin hepsi yatırım verimliliği ile istatistiksel olarak anlamlı ilişki içerisindedir.

Şirket büyüklüğü ile yatırım verimliliği arasında pozitif yönlü ilişki bulunmuştur. Bu bulgu, büyük şirketlerde yatırım verimliliğinin de ortalama olarak yüksek olduğuna işaret etmektedir. Aile şirketlerinde de yatırım verimliliğinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Üst yönetici tecrübesi ile yatırım verimliliği arasında negatif yönlü bir ilişki bulunmaktadır. Şirketlerin finansmanı şirket faaliyetlerine engel olarak görme derecesi arttıkça yatırım verimliliği de artmaktadır.

Tablo 5. Regresyon analiz sonuçları

		İşgücü verimliliği (<i>isg_v</i>) N=374		Yatırım verimliliği (<i>yat_v</i>) N=374		Toplam Faktör Verimliliği (<i>tof_v</i>) N=374	
(Sabit)	<i>β</i> katsayıları	86,743	91,673	83,635	92,581	76,178	81,569
	<i>t</i> -istatistiği	(53,912)	(11,350)	(49,796)	(11,146)	(53,899)	(11,615)
	<i>p</i> -değeri	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
dent	<i>β</i> katsayıları	11,222	6,782	8,273	3,503	9,573	5,098
	<i>t</i> -istatistiği	(4,252)	(2,447)	(3,003)	(1,229)	(4,129)	(2,115)
	<i>p</i> -değeri	0,000	0,015	0,003	0,220	0,000	0,035
<i>Kontrol Değişkenleri</i>							
buy	<i>β</i> katsayıları		2,478		2,740		3,036
	<i>t</i> -istatistiği		(1,855)		(1,995)		(2,615)
	<i>p</i> -değeri		0,064		0,047		0,009
ailles	<i>β</i> katsayıları		12,616		13,996		11,331
	<i>t</i> -istatistiği		(4,936)		(5,325)		(5,099)
	<i>p</i> -değeri		0,000		0,000		0,000
ceotec	<i>β</i> katsayıları		-6,927		-9,087		-7,233
	<i>t</i> -istatistiği		(-3,142)		(-4,009)		(-3,774)
	<i>p</i> -değeri		0,002		0,000		0,000
fineng	<i>β</i> katsayıları		2,159		2,829		1,904
	<i>t</i> -istatistiği		(1,962)		(2,499)		(1,989)
	<i>p</i> -değeri		0,051		0,013		0,047
Düzeltilmiş R Kare		0,044	0,127	0,021	0,132	0,041	0,142
F-İstatistiği		18,081	11,822	9,017	12,375	17,050	13,360
Anlamlılık		0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000

Toplam faktör verimliliği ile bağımsız denetim arasındaki ilişki de kontrol değişkenlerinin yer aldığı modelde istatistiksel anlamlılığını korumaktadır. Kontrol değişkenlerinin hepsi toplam faktör verimliliği ile istatistiksel olarak anlamlı ilişki içerisindedir. Bu bağlamda, toplam faktör verimliliği ile şirket büyüklüğü, aile şirketi olup olmama, finansmanı şirket faaliyetlerine engel görme arasında pozitif, üst düzey yönetici tecrübesi negatif yönlü ilişki içerisindedir.

5. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Çalışmada, bağımsız denetim ile operasyonel verimlilik göstergeleri arasındaki ilişki araştırılmıştır. Söz konusu ilişkiye yönelik hipotezler teorik olarak, bağımsız denetimin işletmelerde oluşturduğu güvenilir bilgi ortamına dayandırılarak geliştirilmiştir. Öne sürülen hipotezler, bağımsız denetim hizmeti almış olan işletmelerde daha güvenilir bilgi ortamı olacağı için verimliliğin de daha yüksek olacağı yönündedir. Diğer bir ifadeyle bağımsız denetim ile operasyonel verimlilik göstergeleri arasında doğrusal bir ilişki olduğu öngörülmüştür.

Ele alınan operasyonel verimlilik göstergeleri ise işgücü verimliliği, yatırım verimliliği ve toplam faktör verimliliği şeklindedir. Çalışma kapsamında geliştirilen hipotezleri test etmek amacıyla Türkiye'de faaliyet gösteren 374 adet imalat işletmesine ait veriler kullanılmıştır. Bu veriler ise Dünya Bankası veri tabanından çekilmiştir. Oluşturulan veri seti ve çoklu regresyon analizi aracılığıyla öne sürülen hipotezler test edilmiştir.

Literatürde doğrudan bağımsız denetim hizmeti alımı ile verimlilik arasında ilişki sadece Salazar-Elena ve Guimón (2019) tarafından kurulmuştur. Bu çalışmada da Salazar-Elena ve Guimón (2019)'a benzer şekilde iş gücü verimliliği ile bağımsız denetim hizmeti alımı arasında pozitif yönlü anlamlı ilişki elde edilmiştir.

Literatürde doğrudan bağımsız denetim hizmeti alımı ile verimlilik göstergeleri arasındaki ilişkiyi araştıran başka çalışmaya rastlanmamıştır. Ancak bağımsız denetime ilişkin başka göstergelerin verimlilikle ilişkisini araştıran çalışmalar mevcuttur. Çalışmanın literatür bölümünde bunlara yer verilmiştir.

Bağımsız denetim hizmeti alımı ile yatırım verimliliği arasında pozitif yönlü ilişki beklentisi varken bu ilişki beklentisi, verimlilikteki değişimi etkileyebilecek kontrol değişkenlerinin dikkate alınması durumunda desteklenememiştir. Bağımsız denetim hizmeti alınımının toplam faktör verimliliği ile pozitif yönlü ilişki beklentisi de elde edilen bulgularla desteklenebilmiştir.

Literatürde bağımsız denetim hizmeti alıp almamanın verimlilikle ilişkisi çok dikkate alınmış bir konu değildir. Bu nedenle bu çalışmanın ilgili literatürü zenginleştirmek adına bir katkı sunması beklenmektedir.

Çalışmada kullanılan verinin kesitsel olmasından dolayı nedensellik ilişkisi kurulamaması çalışmanın kısıtlarındandır. Bununla birlikte ortaya konulan ilişkinin nedensellik ilişkisi olabileceğine yönelik potansiyele işaret ettiği şeklinde bir yorum yapılabilecektir. Diğer bir kısıt ise kullanılan verinin ikincil veri olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durum çalışmada kullanılan veri setinin, değişkenlerin ve verimlilik hesaplamalarının veri tabanının imkân verdiği ölçüde yapılabilmesine sebep olmuştur.

Çalışmanın ve sunduğu bulguların, işletmelere, düzenleyici kurumlara ve akademisyenlere bağımsız denetimin işletmelerdeki sürdürülebilir büyüme ve rekabetçilik bağlamındaki aktif rolüne ilişkin bir anlayış sunması beklenmektedir.

Özellikle ihtiyari olarak bağımsız denetim hizmeti alımında işletmeler, fayda maliyet değerlendirmesi yapmaktadırlar. Bu açıdan bağımsız denetimin ne tür faydalar sağlayacağına ilişkin bulgular da karar verirken önem arz etmektedir. Çalışmada bağımsız denetimin verimlilikle ilişkisine dair anlamlı bulgular, bu kararlara katkı sunacak niteliktedir.

Diğer taraftan düzenleyici kuruluşlar da makro ve mikro faydalarını öne sürerek bağımsız denetimi birtakım kriterlere bağlı olarak zorunlu hale getirmekte veya teşvik etmektedir. Çalışmanın bulguları, bağımsız denetimin makro ve mikro düzeydeki faydaları bağlamında farklı bir bakış açısı sunmaktadır. Diğer bir deyişle çalışmada, düzenleyici otoritelerin bağımsız denetim bağlamında kamuoyunun dikkatine sunabileceği verimlilik gibi önemli bir boyuta istatistiksel kanıtlar ortaya konulmuştur.

Bağımsız denetim, verimlilik ve güvenilir bilgi ortamının birlikte ele alınması araştırmacılara da gelecek çalışmalarda dikkate değer ve potansiyel bir alan işaret etmektedir. Benzer teorik çerçevede, bağımsız denetim ve verimlilik arasındaki ilişkiye sektörler arası veya ülkeler arası karşılaştırmalar yapılarak bakılabilecektir. Aynı şekilde güvenilir bilgi ortamı çerçevesinde bağımsız denetimin farklı boyutları veya farklı verimlilik göstergeleri araştırmalara konu edilebilecektir.

Çatışma Beyanı / Conflict of Interest

Yazar tarafından herhangi bir potansiyel çıkar çatışması beyan edilmemiştir.
No potential conflict of interest was declared by the author(s).

Fon Desteği / Funding

Bu çalışmada herhangi bir resmi, ticari ya da kâr amacı gütmeyen organizasyondan fon desteği alınmamıştır.
Any specific grant has not been received from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Etik Standartlara Uygunluk / Compliance with Ethical Standards

Yazar(lar) tarafından, çalışmada kullanılan araç ve yöntemlerin Etik Kurul izni gerektirmediği beyan edilmiştir.
It was declared by the author(s) that the tools and methods used in the study do not require the permission of the Ethics Committee.

Etik Beyanı / Ethical Statement

Yazarlar tarafından bu çalışmada bilimsel ve etik ilkelere uyulduğu ve yararlanılan tüm çalışmaların kaynakçada belirtildiği beyan edilmiştir.
It was declared by the author(s) that scientific and ethical principles have been followed in this study and all the sources used have been properly cited.



Yazarlar, Verimlilik Dergisi'nde yayımlanan çalışmalarının telif hakkına sahiptirler ve çalışmalarını CC BY-NC 4.0 lisansı altında yayımlanmaktadır.

The authors own the copyright of their works published in Journal of Productivity and their works are published under the CC BY-NC 4.0 license.

KAYNAKÇA

- Akerlof, G.A. (1978). "The Market for "Lemons": Quality Uncertainty and The Market Mechanism", *Uncertainty in Economics*, (Editörler: Diamond, P. ve Rothschild, M.), Academic Press, 235-251. DOI: 10.1016/B978-0-12-214850-7.50022-X
- AlQadasi, A. ve Abidin, S. (2018). "The Effectiveness of Internal Corporate Governance and Audit Quality: The Role of Ownership Concentration – Malaysian Evidence", *Corporate Governance: The International Journal of Business in Society*, 18(2), 233-253. DOI: 10.1108/CG-02-2017-0043
- Ashbaugh, H. ve Warfield, T.D. (2003). "Audits as a Corporate Governance Mechanism: Evidence from the German Market", *Journal of International Accounting Research*, 2(1), 1-21. DOI: 10.2308/jiar.2003.2.1.1
- Assad, N. ve Alshurideh, M. (2020). "Financial Reporting Quality, Audit Quality, and Investment Efficiency: Evidence from GCC Economies", *Waffen-und Kostumkunde*, 11, 194-208.
- Bae, G.S. ve Choi, S.U. (2012). "Do Industry Specialist Auditors Improve Investment Efficiency?", SSRN Scholarly Paper 2145191. DOI: 10.2139/ssrn.2145191
- Barrios, J., Lisowsky, P. ve Minnis, M. (2019). "Measurement Matters: Financial Reporting and Productivity", University of Chicago and Boston University Working Paper, 1-48.
- Berggren, E. ve Bernshteyn, R. (2007). "Organizational Transparency Drives Company Performance", *Journal of Management Development*, 26(5), 411-417. DOI: 10.1108/02621710710748248
- Berlingieri, G., Blanchenay, P., Calligaris, S. ve Criscuolo, C. (2017). "Firm-Level Productivity Differences: Insights from the OECD's Multiprod Project", *International Productivity Monitor*, 32, 97-115.
- Bogetic, Z. ve Olusi, O. (2013). "Drivers of Firm-Level Productivity in Russia's Manufacturing Sector", SSRN Scholarly Paper 2311105.
- Boubaker, S., Houcine, A., Ftiti, Z. ve Masri, H. (2018). "Does Audit Quality Affect Firms' Investment Efficiency?", *Journal of the Operational Research Society*, 69(10), 1688-1699. DOI: 10.1080/01605682.2018.1489357
- Bulkley, N. ve Van Alstyne, M.W. (2004). "Why Information Should Influence Productivity", SSRN Scholarly Paper 518242. DOI: 10.2139/ssrn.518242
- Cadbury, A. (1992). "Cadbury Report: The Financial Aspects of Corporate Governance", Tech Report, HMG, London.
- Cano Rodríguez, M. ve Sánchez Alegría, S. (2012). "The Value of Audit Quality in Public and Private Companies: Evidence from Spain", *Journal of Management & Governance*, 16(4), 683-706. DOI: 10.1007/s10997-011-9183-4
- Chen, F., Hope, O-K., Li, Q. ve Wang, X. (2011). "Financial Reporting Quality and Investment Efficiency of Private Firms in Emerging Markets", *The Accounting Review*, 86(4), 1255-1288.
- Chen, P. ve Semmler, W. (2018). "Short and Long Effects of Productivity on Unemployment", *Open Economies Review*, 29(4), 853-878. DOI: 10.1007/s11079-018-9486-z
- Cheng, M., Dhaliwal, D. ve Zhang, Y. (2013). "Does Investment Efficiency Improve after the Disclosure of Material Weaknesses in Internal Control over Financial Reporting?", *Journal of Accounting and Economics*, 56(1), 1-18. DOI: 10.1016/j.jacceco.2013.03.001
- Cheng, Q., Goh, B.W. ve Kim, J.B. (2018). "Internal Control and Operational Efficiency", *Contemporary Accounting Research*, 35(2), 1102-1139. DOI: 10.1111/1911-3846.12409
- Chiang, M-H. ve Lin, J-H. (2007). "The Relationship between Corporate Governance and Firm Productivity: Evidence from Taiwan's Manufacturing Firms", *Corporate Governance: An International Review*, 15(5), 768-779. DOI: 10.1111/j.1467-8683.2007.00605.x
- Chrisman, J.J., Devaraj, S. ve Patel, P.C. (2017). "The Impact of Incentive Compensation on Labor Productivity in Family and Nonfamily Firms", *Family Business Review*, 30(2), 119-136. DOI: 10.1177/0894486517690052
- Cohen, J., Krishnamoorthy, G. ve Wright, A.M. (2002). "Corporate Governance and the Audit Process", *Contemporary Accounting Research*, 19(4), 573-594. DOI: 10.1506/983M-EPXG-4Y0R-J9YK
- Cohen, J.R., Krishnamoorthy, G. ve Wright, A. (2008). "The Corporate Governance Mosaic and Financial Reporting Quality", SSRN Scholarly Paper 1086743.
- Cormier, D., Ledoux, M., Magnan, M. ve Aerts, W. (2010). "Corporate Governance and Information Asymmetry between Managers and Investors", *Corporate Governance: The International Journal of Business in Society*, 10(5), 574-589. DOI: 10.1108/14720701011085553
- Cowling, M. (2003). "Productivity and Corporate Governance in Smaller Firms", *Small Business Economics*, 20(4), 335-344. DOI: 10.1023/A:1022931020438
- De Rosa, D., Gooroochurn, N. ve Görg, H. (2010). "Corruption and Productivity: Firm-Level Evidence from the Beeps Survey", SSRN Scholarly Paper 1630232.

- Dedrick, J., Kraemer, K.L. ve Shih, E. (2013). "Information Technology and Productivity in Developed and Developing Countries", *Journal of Management Information Systems*, 30(1), 97-122.
- DeFond, M. ve Zhang, J. (2014). "A Review of Archival Auditing Research", *Journal of Accounting and Economics*, 58(2-3), 275-326.
- Elaoud, A. ve Jarbou, A. (2017). "Auditor Specialization, Accounting Information Quality and Investment Efficiency", *Research in International Business and Finance*, 42, 616-629. DOI: 10.1016/j.ribaf.2017.07.006
- Fedulova, I., Voronkova, O., Zhuravlev, P., Gerasimova, E., Glyzina, M. ve Alekhina, N. (2019). "Labor Productivity and Its Role in the Sustainable Development of Economy: On the Example of A Region", *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 7(2), 1059-1073. DOI: 10.9770/jesi.2019.7.2(19)
- Feng, M., Li, C. ve McVay, S. (2009). "Internal Control and Management Guidance", *Journal of Accounting and Economics*, 48(2), 190-209. DOI: 10.1016/j.jacceco.2009.09.004
- Francis, J.R., Khurana, I.K., Martin, X. ve Pereira, R. (2008). "The Role of Firm-Specific Incentives and Country Factors in Explaining Voluntary IAS Adoptions: Evidence from Private Firms", *European Accounting Review*, 17(2), 331-360. DOI: 10.1080/09638180701819899
- Gogokhia, T. ve Berulava, G. (2021). "Business Environment Reforms, Innovation and Firm Productivity in Transition Economies", *Eurasian Business Review*, 11(2), 221-245. DOI: 10.1007/s40821-020-00167-5
- Goodwin, J. ve Seow, J.L. (2002). "The Influence of Corporate Governance Mechanisms on the Quality of Financial Reporting and Auditing: Perceptions of Auditors and Directors in Singapore", *Accounting & Finance*, 42(3), 195-223. DOI: 10.1111/1467-629X.t01-1-00074
- Hakim, F. ve Omri, M.A. (2010). "Quality of the External Auditor, Information Asymmetry, and Bid-Ask Spread: Case of the Listed Tunisian Firms", *International Journal of Accounting & Information Management*, 18(1), 5-18. DOI: 10.1108/18347641011023243
- Hope, O-K., Jiang, S. ve Vyas, D. (2022). "Government Transparency and Firm-Level Operational Efficiency", *Journal of Business Finance & Accounting*, 49(5-6), 752-777. DOI: 10.1111/jbfa.12563
- Jensen, M.C. ve Meckling, W.H. (1976). "Theory of the Firm: Managerial Behavior, Agency Costs and Ownership Structure", *Journal of Financial Economics*, 3(4), 305-360.
- Jin, M., Tian, H. ve Kumbhakar, S.C. (2020). "How to Survive and Compete: The Impact of Information Asymmetry on Productivity", *Journal of Productivity Analysis*, 53(1), 107-123. DOI: 10.1007/s11123-019-00562-9
- Jung, B., Lee, W-J. ve Weber, D.P. (2014). "Financial Reporting Quality and Labor Investment Efficiency", *Contemporary Accounting Research*, 31(4), 1047-1076. DOI: 10.1111/1911-3846.12053
- Kang, Y-H., Na, K. ve Kim, Y.S. (2018). "Labor Productivity in Emerging Markets: Evidence from Brazil, China, India, And Russia (BRIC)", *Journal of Applied Business Research*, 34(2), Article 2. DOI: 10.19030/jabr.v34i2.10134
- Kim, S., Lim, H. ve Park, D. (2013). "Does Productivity Growth Lower Inflation in Korea?", *Applied Economics*, 45(16), 2183-2190. DOI: 10.1080/00036846.2012.657352
- Lu, T. ve Sapra, H. (2009). "Auditor Conservatism and Investment Efficiency", *The Accounting Review*, 84(6), 1933-1958.
- Min, B. S. ve Smyth, R. (2014). "Corporate Governance, Globalization and Firm Productivity", *Journal of World Business*, 49(3), 372-385. DOI: 10.1016/j.jwb.2013.07.004
- Motta, V. (2020). "Lack of Access to External Finance and SME Labor Productivity: Does Project Quality Matter?", *Small Business Economics*, 54(1), 119-134. DOI: 10.1007/s11187-018-0082-9
- Oliner, S.D. ve Sichel, D.E. (2002). "Information Technology and Productivity: Where Are We Now and Where Are We Going?", <https://www.federalreserve.gov/econres/feds/information-technology-and-productivity-where-are-we-now-and-where-are-we-going.htm>, (Erişim Tarihi: 10.10.2023)
- Planas, C., Roeger, W. ve Rossi, A. (2013). "The Information Content of Capacity Utilization for Detrending Total Factor Productivity", *Journal of Economic Dynamics and Control*, 37(3), 577-590. DOI: 10.1016/j.jedc.2012.09.005
- Prokopenko, J. (1987). "Productivity Management: A Practical Handbook", International Labour Organization.
- Quinn, J.B. ve Baily, M.N. (1994). "Information Technology: Increasing Productivity in Services", *Academy of Management Perspectives*, 8(3), 28-48. DOI: 10.5465/ame.1994.9503101167
- Salazar-Elena, J.C. ve Guimón, J. (2019). "Management Practices and Small Firms' Productivity in Emerging Countries", *Competitiveness Review: An International Business Journal*, 29(4), 356-374. DOI: 10.1108/CR-01-2019-0004
- Shahzad, F., Rehman, I. U., Hanif, W., Asim, G.A. ve Baig, M.H. (2019). "The Influence of Financial Reporting Quality and Audit Quality on Investment Efficiency: Evidence from Pakistan", *International Journal of Accounting & Information Management*, 27(4), 600-614. DOI: 10.1108/IJAIM-08-2018-0097

- Su, D. ve He, X. (2012). "Ownership Structure, Corporate Governance and Productive Efficiency in China", *Journal of Productivity Analysis*, 38(3), 303-318. DOI: 10.1007/s11123-011-0257-8
- Syverson, C. (2011). "What Determines Productivity?", *Journal of Economic Literature*, 49(2), 326-365. DOI: 10.1257/jel.49.2.326
- Tian, G.Y. ve Twite, G. (2011). "Corporate Governance, External Market Discipline and firm Productivity", *Journal of Corporate Finance*, 17(3), 403-417. DOI: 10.1016/j.jcorpfin.2010.12.004
- Tjosvold, D. ve Tsao, Y. (1989). "Productive Organizational Collaboration: The Role of Values and Cooperation", *Journal of Organizational Behavior*, 10(2), 189-195.
- Verdi, R. S. (2006). "Financial Reporting Quality and Investment Efficiency", SSRN Scholarly Paper 930922. DOI: 10.2139/ssrn.930922
- Wallace, W. (1980). "The Economic Role of the Audit in Free and Regulated Markets", Open Education Resources (OER), <https://scholarworks.wm.edu/oer/2>, (Erişim Tarihi: 29.10.2023)
- Watts, R.L. ve Zimmerman, J.L. (1983). "Agency Problems, Auditing, and the Theory of the Firm: Some Evidence", *The Journal of Law and Economics*, 26(3), 613-633.
- World Bank Group. (2020). "Enterprise Surveys Indicators Data", <https://www.enterprisesurveys.org>, (Erişim Tarihi:15.09.2023)

Bankaların Kârlılığına Etki Eden Faktörlerin Tespiti: Türk Bankacılık Sektörü İçin Toda-Yamamoto Nedensellik Testi Bulguları

Levent Sezal¹ 

ÖZET

Amaç: Bankaların temel amacı sürdürülebilir kârlılık politikası geliştirmek ve piyasa değerini artırmaktır. Bankaların sağlıklı bir yapı içerisinde olması ve kârlılıklarını sürekli olarak artırması faaliyet gösterdiği ekonomilerin gelişmesi açısından önemlidir. Bu çalışmada, Türk bankacılık sektörü kârlılığına etki eden faktörlerin tespiti ve değişkenlerin birbirleri olan ilişkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Yöntem: Çalışmada, 02/2011-11/2022 dönemine ait aylık veri seti kullanılmıştır. Değişkenler arasında herhangi bir nedenselliğin olup olmadığı, nedensellik mevcutsa bu ilişkinin yönünün ne olduğu "Toda Yamamoto Testi" ile ikili analiz şeklinde test edilmiştir.

Bulgular: Test sonuçlarına göre, Türk bankacılık sektörünün aktif kârlılığı ile "Ücret, Komisyon ve Bankacılık Hizmetleri Gelirleri/Ortalama Toplam Aktifler" ve "İşletme Giderleri/Ortalama Toplam Aktifler" rasyoları arasında Granger nedensellik ilişkisinin olduğu tespit edilmiştir.

Özgünlük: Çalışmada, Türk bankacılık sektörü verilerinin literatürdeki çalışmalardan farklı dışsal bağımsız değişkenlerle analize tabi tutulması çalışmanın özgün yanını oluşturmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Türk Bankacılık Sektörü, Dışsal Ekonomik Faktörler, İçsel Ekonomik Faktörler, Toda-Yamamoto Testi.

JEL Kodları: C23, G21, L25.

Determining the Factors Affecting the Profitability of Banks: Toda-Yamamoto Causality Test Findings for the Turkish Banking Sector

ABSTRACT

Purpose: The main purpose of banks is to develop a sustainable profitability policy and to increase their market value. It is important for banks to be in a healthy structure and to increase their profitability continuously for the development of the economies in which they operate. In this study, it is aimed to determine the factors affecting the profitability of the Turkish banking sector and to determine the relations of the variables with each other.

Methodology: In the study, monthly data set for the period 02/2011-11/2022 was used. Whether there is any causality between the variables, and if there is causality, what the direction of this relationship is was tested with the "Toda Yamamoto Test" in the form of binary analysis.

Findings: According to the test results, there is a Granger causality relationship between the return on assets of the Turkish banking sector and the ratios of "Fees, Commissions and Banking Services Income/Average Total Assets" and "Operating Expenses/Average Total Assets".

Originality: In this study, the analysis of the Turkish banking sector data with external independent variables different from the studies in the literature constitutes the original aspect of the study.

Keywords: Turkish Banking Sector, Macroeconomic Factors, Microeconomic Factors, Toda-Yamamoto Test.

JEL Codes: C23, G21, L25.

¹ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu, Yönetim ve Organizasyon Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

Sorumlu Yazar-Corresponding Author: Levent Sezal, leventsezal@ksu.edu.tr

DOI: 10.51551/verimlilik.1309122

Araştırma Makalesi / Research Article | Geliş / Submitted: 02.06.2023 | Kabul / Accepted: 29.01.2024

Atıf/Cite: Sezal, L. (2024). "Bankaların Kârlılığına Etki Eden Faktörlerin Tespiti: Türk Bankacılık Sektörü İçin Toda-Yamamoto Nedensellik Testi Bulguları", *Verimlilik Dergisi*, 58(2), 215-230.

EXTENDED ABSTRACT

Banks have a very important function in terms of the development of national economies. For this reason, the successful operation of the banking sector is important for the economic development of countries. Since the banking sector is an important part of the financial system and contributes significantly to economic growth, its performance and profitability should be continuously monitored and supervised. The performance of the banking sector is affected by both sector-specific factors, bank-specific factors and macroeconomic variables.

In this study, the factors affecting the profitability of the Turkish banking sector and the relationship between the variables are analyzed. It is thought that the methods used in the analysis part and the results obtained from the modelling established with the data range will contribute to the literature. The tests applied in order to reveal the relationship between the return on assets of the Turkish banking sector and the endogenous and exogenous variables cover the period between 01/2005 and 11/2022. In order to examine the relationship between return on assets and selected endogenous and exogenous variables, ADF and PP unit root tests from time series analyses were used. In the study, whether there is a causality relationship between the dependent and independent variables, and if there is causality, the determination of the direction of causality is tested with the "Toda-Yamamoto" method in the form of binary analysis.

According to the Toda-Yamamoto test results; at 5% significance level, H_0 hypothesis is rejected and H_1 hypothesis is accepted in the hypotheses towards IGA and UKA independent variables in ROA dependent variable. For the other independent variables other than IGA and UKA, the H_0 hypothesis is accepted and the H_1 hypothesis is rejected. In other words, it is determined that there is a Granger causality relationship between the return on assets of the Turkish banking sector and the ratios of "Fees, Commissions and Banking Services Income/Average Total Assets" and "Operating Expenses/Average Total Assets". According to the results of the reciprocal test where ROA is the independent variable, again at 5% significance level, H_0 hypothesis is rejected and H_1 hypothesis is accepted in the hypotheses established towards ROA independent variable in the dependent variables of FDG, CAR, IGA, UKA, TFO. In other independent variables, hypothesis H_0 is accepted and hypothesis H_1 is rejected. The test results show that there is a unidirectional causality relationship between non-interest income, capital adequacy ratio, general operating expenses, non-interest income to total assets ratio and interest rate on trade credits and return on assets. When the significant results are analyzed in terms of profitability of banks, it is expected that there is a relationship between non-interest income and expenses, banking service income and commission items as well as general operating expenses and return on assets. When the results of the study are compared with other studies in the literature, it is seen that similar results are obtained with Demirhan (2010), Samırkaş et al. (2014), Killins and Mollick (2020).

There are many studies in the literature examining the determination and relationship between the factors affecting bank profitability. This study differs from other studies in terms of the variables used for the internal and external factors. Apart from this, it is also different in terms of the fact that the time interval analyzed is wide and covers the period up to the present day. On the other hand, since the time interval related to the data used in the study also covers the covid-19 pandemic process, which has affected the whole world and our country, a comparative evaluation can be made before and after the pandemic in future studies. In this way, periodic interpretations can be made according to the results to be obtained with the pandemic effect. In addition, in order to determine the factors affecting the profitability of the banking sector, researchers can conduct studies on the effects of different internal and external factors that are likely to have an impact in the future. The fact that the date range of this study covers the period after the 2008 global financial crisis can be stated as a limitation of the study.

1. GİRİŞ

Bankalar yerine getirdikleri fonksiyonları bakımından finansal sistemin lokomotifi konumundadır. Bankalar, tasarruf sahiplerinin ellerinde bulunan atıl fonlarla, bu fonlara ihtiyaç duyanlar arasında aracılık etmek, iç ve dış ticaretin sürdürülmesine imkân sağlamak, fon birikimi sağlayarak yatırımların finansmanını sağlamak ve ekonomi politikalarının yürütülmesinde öncü görevler üstlenmek gibi bir takım önemli fonksiyonları yerine getirmektedirler. Bu açıdan bakıldığında bankacılık sektörünün sağlıklı bir yapı içerisinde olması, ülke ekonomileri için son derece önemlidir. Bankacılık sektörünün güçlü bir yapı içerisinde olması etkin bir kârlılık yönetiminden geçmektedir. Kârlılık sistematik risk yönetimi açısından ele alındığında, bankacılık sektörünün kârlılığının iyi ya da kötü yönetilmesi tüm finansal sistemi etkilemektedir (Dizgil, 2017).

Banka kârlılığını, pasif maliyetler ve yasal yükümlülükler ile aktiflerden elde edilen kâr toplamı arasındaki fark olarak tanımlamak mümkündür. Genel olarak literatüre bakıldığında banka kârlılığı dışsal (makro) ve içsel (mikro) belirleyicilerin bir fonksiyonu olarak ifade edilmektedir. Dışsal faktörler, bankaların direkt olarak yönetimleri ile ilgili olmayan fakat bankacılık sektörünün kârlılığını ve performansını etkileyen yasal ve ekonomik şartları yansıtan faktörlerdir. İçsel faktörler ise, bilanço ve gelir tablosunda bulunan hesaplardan meydana gelmekte ve bu nedenle bankaya özgü ya da içsel değişkenler olarak adlandırılmaktadırlar. Bankacılık sektörünün kârlılığının belirleyicileri olarak literatürdeki çalışmalar incelendiğinde içsel faktörler olarak; sermaye, aktif büyüklüğü, risk yönetimi, takipteki krediler, menkul kıymet cüzdanı ve gider yönetimi gibi değişkenlerin kullanıldığı görülmektedir (Güngör, 2007; Gülhan ve Uzunlar, 2011; Arslan ve Yağcılar, 2021; Reis ve diğerleri, 2016).

Bankacılık sektöründe kârlılık sadece bankanın kendisi açısından değil, yatırımcılar, hissedarlar, piyasa ve banka personelleri açısından da önemli bir olgudur. Yüksek kârlılık, yatırımcılar için ilgi odağı, hissedarlar için daha fazla gelir, banka personelleri için yeni kariyer fırsatları, genel ekonomi için yeni istihdam olanakları, devlet için yüksek vergi gelirleri oluşması anlamına gelmektedir. Sektör için yüksek kârlılık aynı zamanda işletmelerin fon ihtiyaçlarının sürekliliğinin sağlanması anlamına da gelmektedir.

Bankacılık sektörünün kârlılığını etkileyen ve bankalar tarafından kontrol edilemeyen dışsal etkenlerin yanında, bankalar tarafından önlem alınması daha mümkün olan bankaya özgü yani içsel faktörlerin olduğunu hem bankacılık sektöründe yaşanan geçmiş tecrübeler hem de çalışmalarda elde edilen sonuçlar ışığı altında söylemek mümkündür (Çelik ve Kaya, 2021). Bilhassa Türkiye’de yaşanan iki büyük bankacılık krizinin bankalara özgü yani içsel nedenlerden ötürü ortaya çıkmış olması bu konuda çalışma yapan araştırmacıların da dikkatini çekmiştir. Banka kârlılığına etki eden faktörler yalnızca bankalar açısından değil sermaye piyasasında yeterince derinliği bulunmayan Türkiye gibi gelişmekte olan ülke ekonomileri açısından da önemli bir konudur.

Bankaların en önemli varlıkları, firmalar, bireyler ve diğer kamu kurum ya da kuruluşlara kullandırdıkları krediler ve sahip oldukları menkul kıymetler iken en önemli fon kaynakları ise mevduatlar, ihraç ettikleri menkul kıymet ve ulusal ya da uluslararası piyasalardan elde ettikleri borçlanmalardan oluşmaktadır (Güzel ve İltaş, 2018). Bankacılık sektöründe aktif ve pasif yönetiminin aslında kârlılık yönetimi olduğunu söylemek mümkündür. Bankaların varlıklarını ne denli verimli kullandıkları, faaliyetleri sonucu elde edilen gelirlerin analizi ve aktif-pasif bileşimi ile kârlılık daha net olarak anlaşılabilir (Poyraz, 2012). Buradan hareketle bankacılık sektörü için kârlılığın en temel göstergesi olarak aktiflerden (Return on Assets – ROA) ve özkaynaklardan (Return on Equity – ROE) sağlanan getiri temel gösterge olarak kullanılmaktadır.

Türk bankacılık sektörünün genel görünümüne bakıldığında; Aralık 2022 dönemi itibarıyla sektörde 57 banka, 11.034 adet şube ve 206.253 personel ile faaliyet göstermektedir. Bankacılık sektörünün aktif toplamı 2021 yılsonuna göre, Aralık 2022 döneminde %56 artarak 14.347 milyar TL’ye yükselmiştir. 2021 yılsonuna göre toplam 2.680 milyar TL artan krediler, Aralık 2022 dönemi itibarıyla 7.581 milyar TL seviyesine ulaşmıştır. Kredilerin toplam aktifler içindeki payı ise %53 seviyesinde gerçekleşmiştir. Türk Bankacılık sektörünün stok kredi tutarının %53’ü ticari ve kurumsal krediler oluştururken, %20’si tüketici kredileri ve kredi kartlarına aittir. Toplam kredi tutarının %67’si Türk Parası, %37’si yabancı para cinsinden krediler oluşturmaktadır. Türk bankacılık sektörünün Aralık 2022 dönemi itibarıyla toplam takipteki alacakları, 2021 yılsonuna göre %2 artışla 163 milyar TL seviyesine yükselmiştir. Bu tutarın %46’sı ticari kredilere, %36’sı Kobi kredilerine ait olduğu görülürken, %0,4’ü konut kredilerine aittir. Sektörün takibe dönüşüm oranı %2,11 oranında gerçekleşmiştir. Türk bankacılık sektörünün sermaye yeterliliği standart rasyosu Aralık 2022 dönemi itibarıyla %19,46 düzeyinde, yasal ve hedef oranın oldukça üzerinde olmuştur. Sektörün yasal kaldıraç oranı ise %7,8 olarak gerçekleşmiştir (BDDK, 2022).

Bu çalışma ile amaçlanan, Türk bankacılık sektörü kârlılığına etki eden içsel ve dışsal faktörlerin tespit edilmesidir. Banka kârlılıklarına etki eden faktörlerin tespiti ve ilişkisini inceleyen literatürde çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmada kullanılan içsel ve dışsal faktörlere ilişkin kullanılan değişkenler açısından diğer çalışmalardan farklılık arz etmektedir. Bunun dışında incelenen zaman aralığının geniş ve

günümüze kadar ki süreyi kapsamı itibarıyla de farklıdır. Çalışmada, Türk bankacılık sektörü 2011-2022 dönemine ait veri seti kullanılarak nedensellik analizi yapılmıştır. Konunun genel bir değerlendirilmesinin yapıldığı giriş bölümünün ardından, konu ile ilgili daha önce yapılmış çalışmaların incelendiği literatür taraması yapılmıştır. Üçüncü bölümde ise analizde kullanılan veri seti ve değişkenler hakkında bilgi verilip, sonrasında çalışmanın bulguları ve sonuç kısmı ile çalışma sonlandırılmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Bankaların performansları ile ilgili olarak finans literatürüne genel olarak bakıldığında gerek Türkiye’de gerekse farklı ülkelerdeki araştırmacılar tarafından yapılan alanda yapılmış birçok çalışma söz konusudur. Çalışmalarda incelenen ülke, ele alınan dönem ve elde edilen bulgular farklılık göstermektedir.

Finans alanında literatür incelendiğinde, sermaye kârlılığı (ROE), aktif kârlılığı (ROA) ve net faiz marjı gibi değişkenlerin banka kârlılığının ölçülmesinde temel değişken olarak kullanıldığı görülmüştür (Garcia ve Guerreiro, 2016; Albuлесcu, 2015; Gökalp, 2014; Demirhan, 2010; Jiang ve diğerleri, 2003). Bu değişkenler arasında aktif kârlılığı ve net faiz marjının bankaların kârlılık değerlendirilmesinde kullanıldığı geniş bir literatür bulunmaktadır (Djalilov ve Piesse, 2016; Dietrich ve Wanzenried, 2014; Yılmaz, 2013; Tan ve Floros, 2012; Curak ve diğerleri, 2012; Gülhan ve Uzunlar, 2011).

Banka işletmelerinin kârlılığına etki eden dışsal ve içsel faktörlerin ayrı ayrı incelendiği görülmüştür. Literatürdeki çalışmalardan bir kısmı ülke bazında yoğunlaşırken bir kısmı da birden fazla ülkeyi karşılaştırmıştır. Bu çalışmalar Tablo 1’de özetlenmiştir.

Literatürde çalışmalarda elde edilen bulgular yönünden ele alındığında; sermaye yeterlilik oranı değişkeni bir çalışmada kârlılığa negatif etkili olduğu belirlenirken, başka bir çalışmada pozitif etkili olduğu tespit edilmiştir. Değişkenlerle ilgili farklı bulgular söz konusu olabilmektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde literatürde erişilen çalışmalarda farklı dönemlerde farklı neticeler elde edildiği, açıklanan bazı faktörler yönünden bu çalışmayı destekler nitelikte olduğu anlaşılmıştır. Bu çalışmada kullanılan içsel ve dışsal faktörlere ilişkin kullanılan değişkenler açısından diğer çalışmalardan farklılık arz etmektedir. Bunun dışında incelenen zaman aralığının geniş ve günümüze kadar ki süreyi kapsamı itibarıyla de farklıdır. Diğer taraftan bu çalışmada kullanılan veriler tüm dünyayı etkileyen Covid-19 pandemi süreci öncesini kapsamakta olduğu, dolayısıyla pandemi süreci ve pandemi süreci atlatıldıktan sonraki dönemlere ilişkin yapılacak çalışmalarla dönemsel karşılaştırma yapılması anlamında literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

3. VERİ VE METODOLOJİ

3.1 Araştırmanın Amacı ve Kapsamı

Banka hizmetlerinin sürdürülebilirliği açısından kârlılık önemlidir. Kârlılığın sağlanması ise, kârlılığı etkileyen unsurların tespit edilmesi ve kaynakların etkin ve verimli bir şekilde kullanılması ile mümkündür.

Bu çalışmada, Türk bankacılık sektörü kârlılığına etki eden faktörlerin tespiti ve değişkenlerin birbirleri olan ilişkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada, hem imalat sanayi kapasite kullanımı, ticari kredi faiz ve enflasyon oranı gibi dışsal bağımsız değişkenlerin kullanılması hem de Türk bankacılık sektörü verilerinin çalışmaya dâhil edilmesi yönüyle literatürdeki diğer çalışmalardan farklılık arz etmektedir.

3.2. Araştırmanın Veri Seti ve Yöntemi

Türk bankacılık sektörü kârlılığına etki eden faktörlerin tespiti ve değişkenlerin birbirleri olan ilişkileri belirlenmesini amaçlayan bu çalışmada, değişkenler içsel ve dışsal faktörler şeklinde kategorize edilmiştir. Veri seti başlangıcı olarak 2011 yılının baz alınmasının sebebi, dışsal faktörlerden TCMB’nin ağırlıklı ortalama fonlama maliyeti oranının erişilebilir en eski tarih olmasından kaynaklanmaktadır. Toplam 11 yılı ve 142 ayı kapsayan değişkenlere ait veri seti, “Türkiye İstatistik Kurumu’nun (TÜİK), Bankacılık Düzenleme ve Denetleme Kurumu (BDDK) ve T.C. Merkez Bankası Elektronik Veri Dağıtım Sistemi (EVDS)” web sitelerinden toplanarak elde edilmiştir. Analizde kullanılan bağımlı ve bağımsız değişkenlere ilişkin açıklamalar, kısaltmalar ve verilere ilişkin bilgiler Tablo 2’de özetlenmiştir.

Tablo 1. Literatür taraması özet sonuçları

Yazarlar	Ülke	Çalışmanın Yöntemi	Bulgular
Ho ve Saunders (1981)	ABD	Regresyon Analizi	Çalışmada, net faiz marjı; yönetsel riskten kaçınma derecesine, banka tarafından üstlenilen işlemlerin boyutuna, bankanın piyasa yapısına ve faiz oranlarının değişkenliğine bağlı olduğu sonuna varılmıştır.
Bumin (2009)	Türkiye	Oran Analizi	Çalışma sonucunda, Türkiye'de bankacılık sektöründe 2007'ye kadar kârlılığın arttığı fakat 2008'de yaşanan küresel krizinde etkisiyle sektörde kârlılık oranlarının azaldığı sonucuna varılmıştır.
Demirhan (2010)	Türkiye	Panel Veri Analizi	Çalışmada hem yabancı hem de yerli bankalar için faiz dışı gelirler, faiz dışı giderler ve finansal yapı değişkenleri (alınan krediler oranı, mevduat oranı ve öz sermaye oranı) anlamlı değişkenler olarak raporlanmıştır.
Taşkın (2011)	Türkiye	Panel Veri Analizi	Çalışmada, net faiz marjını, yabancı banka değişkeni, bilanço dışı gelirlerin toplam aktiflere oranı ve kriz kukla değişkeni istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif yönde etkilerken; toplam krediler/ aktifler oranı negatif yönde etkilendiği sonucuna varılmıştır.
Trujillo-Ponce (2013)	İspanya	Panel Veri Analizi	Çalışmada hem varlık hem de öz sermaye kârlılığı değişkenleri, finansal kaldıraç, kredilendirme düzeyi, takipteki krediler/brüt krediler, gibi banka içsel değişkenlerinden anlamlı şekilde etkilendiği tespit edilmiştir.
Samırkaş ve diğerleri (2014)	Türkiye	Çoklu Doğrusal Regresyon	Çalışmanın sonucunda, bankaların aktif ve özkaynak kârlılığı ile faiz dışı gelir/toplam aktif ve toplam özkaynak/ toplam aktif oranı arasında pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı ilişki tespit edilmiştir.
Lipunga (2014)	Gelişmekte Olan Ülkeler	Çoklu Doğrusal Regresyon	Banka büyüklüğünün, likidite düzeyinin ve yönetim etkinliği oranının ROA değişkeninde yaşanan değişikliklerin anlamlı bir şekilde açıkladığı sonucuna ulaşılmıştır.
Albulescu (2015)	Orta ve Güney Amerika Ülkeleri	Panel Veri Analizi	Çalışma sonucunda, takipteki kredilerin ve faiz dışı giderlerin bankaların kârlılıkları üzerinde negatif etkisi varken; kapitalizasyon ve faiz oranı marjlarının pozitif etkisi olduğu tespit edilmiştir.
Küçükbay (2017)	Türkiye	Panel Veri Analizi	Türk bankalarının aktif kârlılığı üzerinde sermaye rasyosu ve banka büyüklüğünün etkili olduğunu, net faiz marjı değişkenini ise kredi oranı ve sermaye rasyonun etkilediğini tespit etmiştir.
Suganya and Kengatharan (2018)	Sri Lanka	Regresyon Analizi	Sermaye yeterliliğinin kârlılık üzerinde olumlu ve anlamlı bir etkiye sahipken, takipteki alacaklar ve işletme maliyetinin kârlılık olumsuz ve anlamlı bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.
Abate and Mesfin (2019)	Etiyopya	Doğrusal regresyon analizi	Sermaye yeterliliği, kaldıraç, likidite ve mülkiyetin bankaların kârlılığı ile istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif; operasyonel verimlilik, GSYİH, enflasyon ve faiz oranını bankaların kârlılığı ile negatif ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişkiye sahip olduğunu ortaya çıkarılmıştır.
Killins and Mollick (2020)	Kanada	Panel Veri Analizi	Bankaların aktif kârlılığının; sermaye yeterliliği, zarar karşılığı ve faiz dışı gelirler gibi bankacılık faktörleri ile gelir eğrisinin eğimi ve petrol fiyatı değişkenlerine bağlı olduğu ve petrol fiyatlarındaki olumlu değişikliklerin Kanada bankalarının zarar karşılık oranlarını düşürerek aktif kârlılığı arttırdığını tespit edilmiştir.
Hasan ve diğerleri (2020)	Endonezya	Panel Veri Analizi	Takipteki krediler, faaliyet giderlerinin gelirlere oranı ve kredilerin mevduata oranının bankaların kârlılıklarını önemli ölçüde etkilediği tespit edilmiştir.
Kayran (2020)	Türkiye	Panel Veri Analizi	Sermaye yeterlilik oranının kârlılığa etkisinin pozitif; likidite ve karşılık oranının etkisinin ise negatif olduğunu ortaya çıkarmıştır.
Doan and Bui (2021)	Vietnam	Panel veri ve GMM yöntemi	Likit varlıkların toplam varlıklara oranının banka performansını olumsuz; kredilerin mevduata oranının ise olumlu etkilediğini tespit etmiştir.
Arslan ve Yağcılar (2021)	Türkiye	Panel veri ve GMM yöntemi	Bankaların aktif kârlılığının; banka ölçeği ve etkinlik oranı değişkeninden anlamlı ve negatif yönde, özkaynak oranı, likidite oranı ve net faiz marjı değişkenlerinden anlamlı ve pozitif yönde; bir diğer kârlılık göstergesi olan özsermaye kârlılığının ise takipteki krediler, etkinlik oranı, kredi/mevduat oranı değişkenlerinden anlamlı ve negatif yönde; net faiz marjı değişkeninden anlamlı ve pozitif yönde etkilendiği tespit edilmiştir.

Tablo 2. Bağımlı ve bağımsız değişkenler

<i>Değişkenler</i>	<i>Değişken Adı</i>	<i>Kısaltma</i>	<i>Açıklama</i>
Bağımlı Değişken	Aktif Kârlılığı (%)	ROA	Bankaların ortalama toplam aktifler üzerinden elde ettikleri getiridir.
Bağımsız Değişkenler	<i>Bankalara Özgü İçsel Değişkenler</i>		
	Sermaye Yeterliliği (%)	SYR	Yasal özkaynakların risk ağırlıklı kalemler toplamına oranıdır.
	Faiz Dışı Gelirler / Faiz Dışı Giderler (%)	FDG	Faiz dışı gelirlerin faiz dışı giderleri karşılama oranıdır.
	Takipteki Krediler (%)	NPL	Takipteki krediler toplamının toplam kredilere oranıdır.
	Ücret, Komisyon ve Bankacılık Hizmetleri Gelirleri / Ortalama Toplam Aktifler (%)	UKA	Faiz dışı gelirlerin toplam aktifler içerisindeki payıdır.
	İşletme Giderleri / Ortalama Toplam Aktifler (%)	İGA	Başta personel olmak üzere genel işletme giderlerinin banka ortalama aktifine oranıdır.
	<i>Dışsal Değişkenler</i>		
	Enflasyon (%)	TÜFE	Aylık TÜFE oranlarıdır.
	Faiz Oranı (%)	TFO	Ticari Kredilere uygulanan aylık faiz oranıdır.
	İmalat Sanayi Endeksi Büyüme Oranı (%)	İSE	Sanayi Üretim Endeksi Büyüme Oranıdır.
TCMB Fonlama Maliyeti	TCMB	TCMB'nin ağırlıklı ortalama fonlama maliyetidir.	

Aktif kârlılık oranı (ROA), bankaların mevcut varlıkları ile ne kadar kar ürettiği ve bu varlıklarını ne kadar etkin kullanabildiğini gösteren en önemli rasyodur. Bu nedenle literatürde bankaların kârlılık göstergesinde yoğun bir şekilde kullanılmaktadır (Athanasoglou ve diğerleri, 2008; Yıldırım, 2008; Sufian ve Habibullah, 2009; Liu ve Wilson, 2010; Gündoğdu ve Aksu, 2011; Riaz ve Ayup, 2013; Chronopoulos ve diğerleri, 2015; Dizgil, 2017; Küçükbay, 2017)

Bu çalışmada bankacılık sektörünün kârlılığına etki eden içsel faktörler olarak; Sermaye yeterliliği, Faiz Dışı Gelirler/Faiz Dışı Giderler, Takipteki Krediler, Ücret, Komisyon ve Bankacılık Hizmetleri Gelirleri/Ortalama Toplam Aktifler, İşletme Giderleri/Ortalama Toplam Aktifler” rasyoları seçilmiştir.

Çalışmada Türk bankacılık sektörü kârlılığını etkileyen dış faktörler olarak makroekonomik ve finansal yapı göstergeleri kullanılmıştır. Dışsal faktörler olarak da enflasyonun göstergesi olarak TÜFE, büyümenin göstergesi olarak sanayi üretim endeksi büyüme oranı ve faiz oranının göstergesi olarak da ticari kredilere uygulanan faiz oranı değişkenleri seçilmiştir. Yine dışsal değişkenlerden TCMB fonlama maliyeti, sermaye akımlarına duyarlı bir değişken olup, modele eklenmiştir. Seçilen değişkenlerin bankaların aktif kârlılığı ile ilişkili olabileceği düşünülmüştür.

Çalışmada ilk olarak, analizde kullanılan değişkenlere ait serilerin durağan olup olmadığının tespit edilmesi gerekmektedir. Zaman serisi analizlerinde, serilerin durağan yani birim kök içermemesi önemli bir husustur. Birim kök içermeyen seriler arasında sahte regresyon ilişkisi olması nedeniyle, sonuçlar gerçek ilişkiyi yansıtamayacaktır (Gujarati, 1999: 726). Bu sebeple serilere, Phillips-Perron (PP) birim kök testleri uygulanmıştır.

Geleneksel nedensellik testlerinde serilerin durağan hale getirilmesi gerekmektedir. Toda-Yamamoto'da (1995), nedensellik analizinde böyle bir zorunluluk yoktur. Bu şekilde seriler daha fazla bilgi içermekte ve etkin sonuçlar ortaya konulmaktadır (Yavuz, 2006: 169). Birim kök içeren serilerin kullanılabilmesi için daha fazla bilgi içerildiği için Toda-Yamamoto yaklaşımı tercih edilmiştir. Bu testin uygulanabilmesi için ilk olarak, optimum gecikme uzunluğunun (p) VAR modeli yardımıyla belirlenmesi gerekmektedir. Daha sonra, gecikme uzunluğuna (p) en yüksek bütünleşme derecesi (d_{max}) ilave edilir. Toda-Yamamoto nedensellik testinin denklemleri Eşitlik 1 ve 2'de gösterilmiştir (Toda ve Yamamoto, 1995).

$$Y_t = \omega + \sum_{i=1}^m a_{1i} x_{t-i} + \sum_{i=1}^m \beta_{1i} Y_{t-i} + \sum_{j=m+1}^{d_{max}} \delta_{1j} X_{t-j} + \sum_{j=m+1}^{d_{max}} \theta_{1j} Y_{t-j} + \varepsilon_{1t} \quad (1)$$

$$X_t = \varphi + \sum_{i=1}^m a_{2i} X_{t-i} + \sum_{i=1}^m \beta_{2i} Y_{t-i} + \sum_{j=m+1}^{d_{max}} \delta_{2j} X_{t-j} + \sum_{j=m+1}^{d_{max}} \theta_{2j} Y_{t-j} + \varepsilon_{2t} \quad (2)$$

Uygun gecikme uzunluğu (m) bilgi kriterleri yardımıyla, maksimum bütünleşme derecesi (d_{max}) ise birim kök testleriyle belirlenebilmektedir. “Değişkenler arasındaki karşılıklı nedensellik ilişkisinin varlığını belirlemek

amacıyla $H_0: a_{1i} = 0$ ve $H_0: \beta_{2i} = 0$ hipotezleri düzeltilmiş WARD test istatistiği kullanılarak sınanmaktadır." Hesaplanan "MWALD (Modified Wald) test istatistik değeri k serbestlik dereceli X^2 tablo değerinden büyük olması durumunda yukarıda bahsedilen hipotezler reddedilmektedir. (Toda ve Yamamoto, 1995). Denklemde temel hipotezleri aşağıdaki şekildedir:

H_0 : Y değişkeni X değişkeninin Granger nedeni değildir.

H_1 : Y değişkeni X değişkeninin Granger nedenidir.

4. ANALİZ BULGULARI

Çalışmanın bu bölümünde değişkenler arasındaki ilişkiyi ortaya koyabilmek amacı ile uygulanan testler ve elde edilen bulguların sonuçları sunulmuştur.

4.1. Birim Kök Testi Sonuçları

Nedensellik analizine geçmeden önce serilerin birim kök içerip içermediğine yani durağan olup olmadığına bakmak gereklidir. Bu amaçla, ADF ve PP testi yapılmıştır. Bu testin yapılmasının amacı ise yalancı regresyonu önlemektir. PP birim kök testinin sonuçları aşağıda Tablo 3'te sunulmuştur.

Araştırmada kullanılan serilerin durağanlığının kontrolü için uygulanan test sonuçlarına göre, bazı değişkenlerin serinin durağan olmadığı yani birim kök içerdiği tespit edilmiştir. Birim kök içeren değişkenlerin birinci farkları alınarak seriler durağan hale getirilmiştir.

4.2. Nedensellik Analizi Sonuçları

Granger nedensellik testinin farklı bir versiyonu olan Toda-Yamamoto yaklaşımı bir serinin $I(0)$, $I(1)$ veya $I(2)$ olmasına, herhangi bir dereceden eşbütünlük olup olmamasına bakılmaksızın uygulanabilmektedir (Jain ve Ghosh, 2013). VAR modeline dayanan Toda-Yamamoto nedensellik testinde uygun modelin seçimi için optimal gecikme uzunluğu (k) ile maksimum bütünlük derecesinin (d_{max}) tespit edilmesi gerekmektedir.

Tablo 3. PP birim kök testi sonuçları

			FDG	IGA	NPL	ROA	İSE	SYR	TCMB	TFO	TUFE	UKA
Düzyey	Sabitli	Test İstatistiği	-8,3778	-5,4008	-1,3328	-3,6428	-4,9810	-1,7774	-2,0787	-2,0497	2,1711	-5,1955
		Olasılık	0.0000	0.0000	0.6132	0.0060	0.0000	0.3905	0.2537	0.2655	0.9999	0.0000
			***	***	-	***	***	-	-	-	-	***
Düzyey	Sabitli-Trendli	Test İstatistiği	-8,3471	-6,8560	-0,9696	-3,6594	-4,9609	-3,0135	-2,2405	-2,5345	0,8596	-4,9385
		Olasılık	0.0000	0.0000	0.9439	0.0285	0.0004	0.1323	0.4632	0.3113	0.9998	0.0004
			***	***	-	**	***	-	-	-	-	***
Düzyey	Sabitsiz-Trendsiz	Test İstatistiği	-0,5732	-2,2053	-0,7869	-0,7821	-3,8813	0,1711	-0,7204	-0,1866	2,8579	-2,0549
		Olasılık	0,4674	0,0269	0,3736	0,3757	0,0001	0,7344	0,4030	0,6173	0,9990	0,0387
			-	**	-	-	***	-	-	-	-	**
1. Fark	Sabitli	Test İstatistiği	-8,0846	-1,7673	-6,9784	-1,3905	-2,1137	-9,3918	-9,1849	-6,3378	-5,9509	-1,6863
		Olasılık	0,0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
			***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
1. Fark	Sabitli-Trendli	Test İstatistiği	-8,2808	-17,5734	-7,0343	-15,419	-21,221	-9,5819	-9,2056	-6,3432	-6,2531	-1,6791
		Olasılık	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
			***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
1. Fark	Sabitsiz-Trendsiz	Test İstatistiği	-8,1290	-17,7956	-6,9748	-13,825	-21,257	-9,4254	-9,2104	-6,3711	-5,7468	-16,9435
		Olasılık	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
			***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
Anlamlılık Düzeyi	1%		-3,4816									
	5%		-2,8839									
	10%		-2,5787									

Not: (*) %10, (**) %5 ve (***) %1 anlamlılık düzeyinde seride birim kök vardır şeklinde oluşturulan boş hipotezin reddedildiğini ifade etmektedir.

Tablo 4. ADF birim kök testi sonuçları

			<i>FDG</i>	<i>IGA</i>	<i>NPL</i>	<i>ROA</i>	<i>SUE</i>	<i>SYR</i>	<i>TCMB</i>	<i>TFO</i>	<i>TUFE</i>	<i>UKA</i>
Düzyey	Sabitli	Test İstatistiği	-8,5625	-1,4606	-1,1369	-1,8919	-5,0329	-2,1150	-2,7567	-3,2167	-0,3110	-3,0616
		<i>Olasılık</i>	0.0000	0.5504	0.7001	0.3353	0.0000	0.2392	0.0673	0.0211	0.9191	0.0321
			***	-	-	-	***	-	*	**	-	**
Düzyey	Sabitli-Trendli	Test İstatistiği	-8,5353	-2,3044	-0,6835	-0,8950	-5,0134	-3,4673	-3,1655	-3,7258	-1,3374	-3,1118
		<i>Olasılık</i>	0.0000	0.4283	0.9718	0.9526	0.0003	0.0470	0.0958	0.0238	0.8743	0.1080
			***	-	-	-	***	**	*	**	-	-
Düzyey	Sabitsiz-Trendsiz	Test İstatistiği	-0.0715	-0.7386	-0.6783	1,3225	-4,1110	0.0895	-1,1117	-0.4925	0.4372	-0.0683
		<i>Olasılık</i>	0.6571	0.3948	0.4216	0.9527	0.0001	0.7095	0.2409	0.5011	0.8070	0.6582
			-	-	-	-	***	-	-	-	-	-
1. Fark	Sabitli	Test İstatistiği	-8,1549	-3,7582	-6,7958	-5,3436	-12,8625	-9,5066	-3,7522	-7,3487	-3,5922	-4,2387
		<i>Olasılık</i>	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0043	0.0000	0.0071	0.1938
			***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
1. Fark	Sabitli-Trendli	Test İstatistiği	-8,1336	-3,8174	-6,8780	-4,3665	-12,8153	-9,5530	-3,7907	-7,3446	-3,9757	-5,3527
		<i>Olasılık</i>	0.0000	0.6907	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0199	0.0000	0.0116	0.0025
			***	***	***	***	***	***	**	***	**	***
1. Fark	Sabitsiz-Trendsiz	Test İstatistiği	-8,1892	-4,8370	-6,7999	-5,5319	-12,9046	-9,5361	-3,7729	-7,3709	-3,4683	-2,2736
		<i>Olasılık</i>	0.0000	0.0032	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0000	0.0006	0.0227
			***	***	***	***	***	***	***	***	***	**
Anlamlılık Düzeyi	1%		-3,4812									
	5%		-2,8837									
	10%		-2,5786									

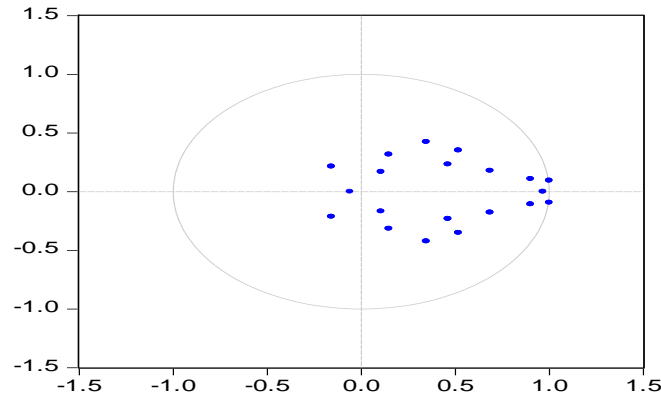
Not: (*) %10, (**) %5 ve (***) %1 anlamlılık düzeyinde seride birim kök vardır şeklinde oluşturulan boş hipotezin reddedildiğini ifade etmektedir.

Tablo 5. Gecikme uzunluğu test sonuçları

Gecikme	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	-2.379.078	NA	2.488.389	3.619.816	3.641.655	3.628.690
1	-1.168.779	2.218.882	0.000123	1.937.545	21.77778*	20.35165*
2	-1.028.835	2.353.612	6.90e-05	1.877.023	2.335.650	2.063.388
3	-9.566.884	1.104.062	0.000112	1.919.225	2.596.246	2.194.335
4	-8.675.657	1.228.812	0.000149	1.935.706	2.831.121	2.299.562
5	-7.797.111	1.078.216	0.000222	1.954.108	3.067.918	2.406.709
6	-6.553.342	1.337.994	0.000214	1.917.173	3.249.377	2.458.520
7	-5.250.582	1.204.066	0.000225	1.871.300	3.421.898	2.501.392
8	-3.552.674	1.312.020	0.000166	1.765.557	3.534.549	2.484.394
9	-1.369.414	1.356.268	8.54e-05	1.586.275	3.573.661	2.393.857
10	1.499.570	134.7553	2.81e-05*	13.03096*	3.508.876	2.199.423

LR: Sıralı değiştirilmiş LR test istatistiği (her test %5 seviyesinde), FPE: Nihai tahmin hatası, AIC: Akaike bilgi kriteri, SC: Schwarz bilgi kriteri, HQ: Hannan-Quinn bilgi kriteri

Gecikme uzunluğu test sonuçlarının gösterildiği Tablo 5'te beş farklı bilgi kriteri sınanmıştır. Literatürde yapılan çalışmalarda, genelde AIC (Akaike Bilgi Kriteri) ve SC (Schwarz Bilgi Kriteri) testlerinin tercih edildiği görülmektedir. Literatürle uyumlu olması adına, bu çalışmada da Schwarz Bilgi Kriteri göre en uygun gecikme uzunluğu seçilmiştir. Tabloda yer alan SC değerlerine bakıldığında minimum gecikmenin 1 gecikme uzunluğu ile 21.77778 değerini aldığı görülmektedir. SC sonuçlarını destekler şekilde, HQ testine göre de minimum gecikme uzunluğunun 1 olarak belirlendiği görülmektedir. En uygun gecikme uzunluğu belirlendikten sonra, 1 gecikmeli VAR (Vektör Otoregresif) modeli kurulmuştur.

**Şekil 1. AR karakteristik polinomun ters kökleri**

Şekil 1'e göre, tüm ters karakteristik köklerin birim çemberin iç bölgesinde yer alması ve tüm köklerin birden küçük olması modelin istikrarlı olduğunu göstermektedir. Diğer taraftan değişkenler arasında çoklu doğrusal bağlantının varlığı araştırılmıştır.

Tablo 6 incelendiğinde çalışmada kullanılan değişkenler arasında otokorelasyon probleminin bulunmadığı görülmektedir. VAR sistemlerinde değişkenlerin gecikmeli değerleri de yer aldığından dolayı seriler arasında çoklu bağıntı olması gayet normal bir durumdur. Buna ilişkin bir test ya da sınamaya yapmaya gerek yoktur. Zaman serilerinde serisel korelasyon, Breusch-Godfrey Serial Correlation LM (BG LM) test ile test edilir. BG LM testi doğrusallık şartı bulunan, yüksek dereceden otokorelasyon testine imkân tanıyan parametrik bir testtir. Serilerin kalıntılarının gecikme değerleri ile hesaplanan test sonuçları Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 6. Breusch-Godfrey Serial Correlation LM test sonuçları

F-istatistik	0.247282	Prob. F (2,130)	0.7918
*R-Kare	0.808637	Prob. Ki-kare (2)	0.6789

Tablo 6'ya göre LM testi uyarınca hesaplanan olasılık (prob) değeri 0,6789 olup 0,05'den büyük olduğundan H_0 (otokorelasyon yok) hipotezi reddedilememektedir. Yani serisel korelasyon sorunu yoktur. LM testi neticesinde serilerin hata terimleri arasında içsel bağıntı (otokorelasyon) sorunu tespit edilmemiştir.

Toda-Yamamoto yaklaşımı ile seriler arasında nedenselliğin olup olmadığı incelenmiştir. Değişkenler karşılıklı olarak test edilmiştir. Seriler arasında nedenselliğin tespiti yapılırken, serilerin gecikme uzunluğu (k) "Schwarz Bilgi Kriteri" göre bulunmuştur. Sonrasında bu modele ilişkin (k) gecikmeli değerlere "Wald İstatistiği" uygulanmış ve değişkenler arasında nedensellik ilişkisinin olup olmadığı tespit edilmiştir. Toda-Yamamoto Nedensellik testi sonuçları Tablo 6 ve Tablo 7'de sunulmuştur.

Tablo 7. Wald Testi Sonuçları (Bağımlı Değişken (ROA))

Bağımsız Değişken	Bağımlı Değişken	d_{max}	k	Ki-Kare Test İstatistiği	Ki-Kare p-Değeri	İlişki ve Yönü
TCMB	ROA	1	1	0,0366	0,8483	Yok
SYR		1	1	0,8742	0,6459	Yok
FDG		1	1	0,0331	0,9836	Yok
İGA		1	1	12,898	0,0016*	Var
UKA		1	1	11,742	0,0006*	Var
NPL		1	1	4,9194	0,2957	Yok
TÜFE		1	1	2,321	0,3133	Yok
İSE		1	1	1,1496	0,5628	Yok
TFO		1	1	0,8566	0,6516	Yok

* 0,05 önem seviyesinde anlamlıdır.

Tablo 7 Wald testi sonuçlarına göre, %5 anlamlılık seviyesinde ROA bağımlı değişkeninde İGA ve UKA bağımsız değişkenlerine doğru kurulan hipotezlerde H_0 hipotezinin reddedildiği, H_1 hipotezinin kabul edildiği yani nedensellik ilişkisinin olduğu görülmüştür. İGA ve UKA dışındaki diğer bağımsız değişkenlerde ise H_0 hipotezi kabul edilmiş olup, H_1 hipotezi reddedilmiştir. Yani incelenen dönemler itibariyle Türk bankacılık sektörünün aktif kârlılığı ile “Ücret, Komisyon ve Bankacılık Hizmetleri Gelirleri/Ortalama Toplam Aktifler” ve “İşletme Giderleri/Ortalama Toplam Aktifler” rasyoları arasında Granger nedensellik ilişkisinin olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 8. Wald Testi Sonuçları (Bağımsız Değişken ROA)

Bağımsız Değişken	Bağımlı Değişken	d_{max}	k	Ki-Kare Test İstatistiği	Ki-Kare p-Değeri	İlişki ve Yönü
ROA	TCMB	1	1	0,0505	0,8221	Yok
	SYR	1	1	4,2521	0,0392*	Var
	FDG	1	1	8,5023	0,0308*	Var
	İGA	1	1	3,8716	0,0491*	Var
	UKA	1	1	4,0719	0,0436*	Var
	NPL	1	1	8,1861	0,085	Yok
	TÜFE	1	1	0,1034	0,9496	Yok
	İSE	1	1	1,2027	0,548	Yok
	TFO	1	1	4,2227	0,0399*	Var

* 0,05 önem seviyesinde anlamlıdır.

Tablo 8 Wald testi sonuçlarına göre, %5 anlamlılık seviyesinde FDG, SYR, İGA, UKA ve TFO bağımlı değişkeninde ROA bağımsız değişkenine doğru kurulan hipotezlerde H_0 hipotezinin reddedildiği, H_1 hipotezinin kabul edildiği görülmüştür. Diğer bağımsız değişkenlerde ise H_0 hipotezi kabul edilmiş olup, H_1 hipotezi reddedilmiştir. Test sonuçları faiz dışı gelirler, sermaye yeterlilik oranı, genel işletme giderleri, faiz dışı gelirlerin toplam aktif içerisindeki payı ve ticari kredilere uygulanan faiz aylık faiz oranı ile aktif kârlılığı arasında tek yönlü nedensellik ilişkisini olduğunu göstermektedir.

5. SONUÇ

Bankalar ülke ekonomilerinin kalkınması bakımından çok önemli bir fonksiyona sahiptirler. Bu nedenle bankacılık sektörünün faaliyetlerini başarılı bir şekilde sürdürmesi ülkelerin ekonomi alanındaki gelişmeleri açısından önemlidir. Bankacılık sektörünün finansal sistemin önemli bir parçası olması, ekonomik büyümeye önemli katkılar sağlaması açısından performansı ve kârlılığının sürekli olarak izlenmesi ve denetlenmesi gerekmektedir. Bankacılık sektörünün performansı hem sektöre özgü unsurlardan hem bankaya özgü faktörlerden hem de makroekonomik değişkenlerden etkilenmektedir.

2001 yılında yaşanan kriz sonrasında Türk bankacılık sektörü yeniden toparlanma süreci içerisine girmiştir. Bankacılık sektörünün yeniden yapılandırma süreci kapsamında, bankaların hem mali hem de operasyonel yapılarının güçlendirilmesi ve rekabet edebilir bir yapıya kavuşturularak, finansal sistem içerisinde kalıcı olarak yerleştirilmesi hedeflenmiştir. Bu sayede, bankacılık sektörünün etkinliği ve kârlılığı kapsamında yapılan çalışmalar ön plana çıkmıştır. Bankacılık sektörünün kârlılığı, bankaların faaliyetlerini etkin bir şekilde yerine getirebilmesi açısından önemlidir. Bu sebeple, araştırmada bankacılık sektörünün kârlılık göstergesi olarak aktif kârlılığının (ROA) belirleyicileri incelenmiştir. Türk bankacılık sisteminin aktif ve sermaye kârlılığı rasyoları yüksek seviyede olmakla birlikte, bunun sürdürülebilir olması açısından kârlılığın belirleyicilerini iyi bir şekilde analiz edilmesi gerekmektedir.

Bankacılık sektörünün kârlılıklarına etki eden birçok unsur bulunmaktadır. Bu unsurlar arasında, mevduat ve kredi hacimleri, bankaların ücret ve komisyon gelirleri, tahsili gecikmiş alacaklar, teknolojik yenilikler, bankacılık hizmetlerinden sağlanan gelirler ve alternatif dağıtım kanallarından elde edilen gelirler vs. gibi içsel faktörlerin yanı sıra büyüme, enflasyon ve faiz oranları gibi dışsal değişkenler de yer almaktadır.

Bu çalışmada, Türk bankacılık sektörü kârlılığına etki eden faktörlerin tespiti ve değişkenlerin birbirleri arasındaki ilişki analiz edilmiştir. Analiz kısmında kullanılan yöntemler ve veri aralığı ile kurulan modellemeden elde edilen sonuçların literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Türk bankacılık sektörü aktif kârlılığı ile içsel ve dışsal değişkenler arasındaki ilişkiyi ortaya koyabilmek amacıyla uygulanan testler 01/2005 ile 11/2022 dönemini kapsamaktadır. Aktif kârlılığı ile seçilen içsel ve dışsal değişkenler arasındaki ilişkiyi incelemek için zaman serisi analizlerinden ADF ve PP birim kök testlerinden yararlanılmıştır. Çalışmada bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında bir nedensellik ilişkisinin olup olmadığı, nedensellik varsa yönlerinin tespit edilmesi ikili analiz şeklinde “Toda-Yamamoto” yöntemiyle test edilmiştir.

Toda-Yamamoto test sonuçlarına göre; %5 anlamlılık seviyesinde ROA bağımlı değişkeninde İGA ve UKA bağımsız değişkenlerine doğru kurulan hipotezlerde H_0 hipotezinin reddedildiği, H_1 hipotezinin kabul edildiği görülmüştür. İGA ve UKA dışındaki diğer bağımsız değişkenlerde ise H_0 hipotezi kabul edilmiş olup, H_1 hipotezi reddedilmiştir. Yani incelenen dönemler itibarıyla Türk bankacılık sektörünün aktif kârlılığı ile “Ücret, Komisyon ve Bankacılık Hizmetleri Gelirleri/Ortalama Toplam Aktifler” ve “İşletme Giderleri/Ortalama Toplam Aktifler” rasyoları arasında Granger nedensellik ilişkisinin olduğu tespit edilmiştir. ROA'nın bağımsız değişken olduğu karşılıklı yapılan test sonuçlarına göre ise, yine %5 anlamlılık seviyesinde, FDG, SYR, İGA, UKA, TFO bağımlı değişkeninde ROA bağımsız değişkenine doğru kurulan hipotezlerde H_0 hipotezinin reddedildiği, H_1 hipotezinin kabul edildiği görülmüştür. Diğer bağımsız değişkenlerde ise H_0 hipotezi kabul edilmiş olup, H_1 hipotezi reddedilmiştir. Test sonuçları faiz dışı gelirler, sermaye yeterlilik oranı, genel işletme giderleri, faiz dışı gelirlerin toplam aktif içerisindeki oranı ve ticari kredi faiz oranı ile aktif kârlılığı arasında tek yönlü nedensellik ilişkisini olduğunu göstermektedir. Anlamlı bulunan sonuçlar bankaların kârlılıkları açısından incelendiğinde, faiz dışı gelir ve giderlerin, bankacılık hizmet gelirleri ve komisyon kalemlerinin yanı sıra genel işletme giderleri ile aktif kârlılık arasında ilişki olması beklenen bir sonuç olmuştur. Çalışmanın sonucu literatürdeki diğer çalışmalarla ile karşılaştırıldığında; Demirhan (2010), Samırkaş ve diğerleri (2014), Killins ve Mollick (2020) çalışmaları ile benzer sonuçların çıktığı görülmüştür.

Aktif kârlılığını arttırmak isteyen bankaların, bu çalışmanın bir sonucu olarak faiz dışı gelir kalemleri ile genel işletme giderleri kalemleri üzerinde daha fazla çaba sarf etmeleri gerekmektedir. Faiz dışı gelir kalemleri bankalar açısından risksiz getiri kalemleri olduğu için kârlılık açısından önem arz etmektedir. Bankaların, aktif kârlılıklarını arttırmak için faiz dışı gelir kalemlerine daha fazla ağırlık vermesi, bu yönde hizmet ve satış politikalarını geliştirmeleri gerekmektedir. Faiz dışı gelir kalemleri, banka üst yönetimleri tarafından şubelerin birer performans kriterleri olarak etkin ve sıkı bir şekilde takip edilmelidir.

Bankacılık sektöründe başlıca faiz dışı gelir kalemleri, kredilerden alınan ücret ve komisyonlar, alınan kâr payları, bankacılık hizmet gelirleri, aktiflerin satışından elde edilen gelirler, kâr payı dışındaki diğer faiz dışı gelirlerden oluşmaktadır. Bankaların günümüzde fon alım satımı dışında bu faaliyet çeşitliliğine ulaşmalarının etkileri incelenmeye değerdir. Bu bağlamda, bankaların temel faaliyet konuları dışında farklı hizmetlere yönelmelerinin performansları üzerindeki etkisinin belirlenmesinin hem bankacılık sektörü hem de literatüre katkı açısından faydalı olacağı düşünülmektedir.

Genel işletme giderleri bankacılık sektörü kârlılığına etki eden önemli kalemlerden bir diğeridir. İşletme giderleri içerisinde de ağırlıklı gider kalemi personel giderleridir. Birçok kriz yaşan Türk bankacılık sektöründe kriz dönemlerinde işletme giderlerini minimize etmek için ilk başvurulmuş yol personel sayısının azaltılması yönünde olmuştur. Bunun yanı sıra teknoloji alanındaki gelişmeler, şubesiz bankacılık alt yapısının gelişmesi personele olan ihtiyacın her geçen gün azalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle personel maliyetinin azalması banka kârlılığına pozitif katkı sağlayacaktır.

Banka kârlılıklarına etki eden faktörlerin tespiti ve ilişkisini inceleyen literatürde çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmada kullanılan içsel ve dışsal faktörlere ilişkin kullanılan değişkenler açısından diğer çalışmalardan farklılık arz etmektedir. Bunun dışında incelenen zaman aralığının geniş ve günümüze kadar ki süreyi kapsamaması itibarıyla de farklıdır. Diğer taraftan, çalışmada kullanılan verilere ilişkin zaman aralığı, tüm dünya ve ülkemizi de etkisi altına alan covid-19 pandemi sürecini de kapsamakta olduğundan, bundan sonraki çalışmalarda pandemi önce ve sonrası şeklinde karşılaştırmalı bir değerlendirme yapılabilir. Bu sayede, pandemi etkisi ile elde edilecek sonuçlara göre dönemsel yorumlamalar yapılabilir. Ayrıca bankacılık sektörünün kârlılığına etki eden faktörlerin belirlenmesi hususunda, araştırmacılar tarafından ilerleyen dönemlerde etki etmesi muhtemel farklı içsel ve dışsal faktörlerin etkisine yönelik çalışmalar yapılabilir. Bu çalışmanın tarih aralığının 2008 küresel finansal krizinden sonraki dönemi kapsamaması çalışmanın kısıtı olarak belirtmek mümkündür.

Çatışma Beyanı/Conflict of Interest

Yazar tarafından herhangi bir potansiyel çıkar çatışması beyan edilmemiştir.
No potential conflict of interest was declared by the author.

Fon Desteği/Funding

Bu çalışmada herhangi bir resmi, ticari ya da kâr amacı gütmeyen organizasyondan fon desteği alınmamıştır.
Any specific grant has not been received from funding agencies in the public, commercial, or not-forprofit sectors.

Etik Standartlara Uygunluk/Compliance with Ethical Standards

Yazar tarafından, çalışmada kullanılan araç ve yöntemlerin Etik Kurul izni gerektirmediği beyan edilmiştir.
It was declared by the author that the tools and methods used in the study do not require the permission of the Ethics Committee.

Etik Beyanı/Ethical Statement

Yazar tarafından bu çalışmada bilimsel ve etik ilkelere uyulduğu ve yararlanılan tüm çalışmaların kaynakçada belirtildiği beyan edilmiştir.
It was declared by the author that scientific and ethical principles have been followed in this study and all the sources used have been properly cited.



Yazarlar, Verimlilik Dergisi'nde yayımlanan çalışmalarının telif hakkına sahiptirler ve çalışmaları CC BY-NC 4.0 lisansı altında yayımlanmaktadır.
The authors own the copyright of their works published in Journal of Productivity and their works are published under the CC BY-NC 4.0 license.

KAYNAKÇA

- Abate, T.W. ve Mesfin, E.A., (2019). "Factors Affecting Profitability of Commercial Banks in Ethiopia", *International Journal of Research and Analytical Reviews*, 6(1), 881-891.
- Albulescu, C.T. (2015). "Banks' Profitability and Financial Soundness Indicators: A Macro-Level Investigation in Emerging Countries", *Procedia Economics and Finance*, 23, 203-209.
- Arslan, Z. ve Yağcılar, G. (2021). "Türk Bankacılık Sektöründe Performansın Belirleyicileri", *Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi*, 56(3), 2111-2131.
- Athanasoglou, P., Brissimis, S., ve Delis, M. (2008). "Bank-Specific, Industry Specific and Macroeconomic Determinants of Bank Profitability", *Journal of International Financial Markets, Institutions & Money*, 121-136.
- Bankacılık Düzenleme ve Denetleme Kurumu (BDDK). (2022). "Türk Bankacılık Sektörü Temel Göstergeleri", <https://www.bddk.org.tr/Veri/EkGetir/8?ekId=131> (Erişim Tarihi: 25.04.2023).
- Bumin, M. (2009). "Türk Bankacılık Sektörünün Karlılık Analizi: 2002-2008", *Maliye Finans Yazıları*, 23(84), 39-60.
- Capraru, B. and Ichnatov, I. (2014). "Banks' Profitability in Selected Central and Eastern European Countries", 21st International Economic Conference, 587-591.
- Chronopoulos, D., Liu, H., McMillan, F. ve Wilson, J. (2015). "The Dynamics of US Bank Profitability", *The European Journal of Finance*, 21(5), 426-443.
- Curak, M., Poposki, K. ve Pepur, S. (2012). "Profitability Determinants of the Macedonian Banking Sector in Changing Environment", *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 44, 406-416.
- Çelik, S. ve Kaya, F. (2021). "Banka Kârlılığına Etki Eden Mikro Değişkenler: Türk Bankacılık Sektöründeki Yerli ve Yabancı Bankalar Üzerine Bir Araştırma", *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 13(1), 719-738.
- Demirhan, D. (2010). "Türkiye'deki Mevduat Bankalarının Finansal Yapıya İlişkin Kararlarının Karlılık Üzerine Etkileri", *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, 45, 157-168.
- Dizgil, E. (2017). "Türkiye'deki Mevduat Bankalarının Karlılığını Etkileyen Mikro Düzeyli Faktörler Üzerine Ampirik Bir Araştırma", *BDDK Bankacılık ve Finansal Piyasalar*, 11(2), 31-52.
- Dietrich, A. ve Wanzenried, G. (2014). "The Determinants of Commercial Banking Profitability in Low-Middle-, and High-income Countries", *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 54, 337-354.
- Djalilov, K. ve Piesse, J. (2016). "Determinants of Bank Profitability in Transition Countries: What Matter Most", *Research of International Business and Finance*, 38, 69-82.
- Doan, T-T. ve Bui, T.N. (2021). "How Does Liquidity Influence Bank Profitability? A Panel Data Approach", *Accounting*, 7, 59-64.
- Garcia, M.T.M., Guerreiro, J.P. ve Silva, M. (2016). "Internal and External Determinants of Banks' Profitability", *Journal of Economic Studies*, 43(1), 90-107.
- Gökalp, F. (2014). "Kriz Öncesi ve Kriz Sonrası Dönemler İtibariyle Katılım Bankaları ve Ticari Bankaların Karlılığı Üzerine Karşılaştırmalı Bir Araştırma", *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 32, 191-201.
- Gujarati, D.N. (1999). "Basic Econometrics", McGraw Hill, (3rd Edition), New York.
- Gündoğdu, F. ve Aksu, H. (2011), "Mevduat bankacılığında Karlılık ve Makro Ekonomik Değişkenler İlişkisi Türkiye Üzerine Bir Uygulama", *Atatürk Üniversitesi İİBF Dergisi*, Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu Özel Sayısı, 243-270.
- Gülhan, Ü. ve Uzunlar, E. (2011). "Bankacılık Sektöründe Karlılığı Etkileyen Faktörler: Türk Bankacılık Sektörüne Yönelik Bir Uygulama", *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 15(1), 341-368.
- Güngör, B. (2007). "Türkiye'de Faaliyet Gösteren Yerel ve Yabancı Bankaların Kârlılık Seviyelerini Etkileyen Faktörler", *İşletme ve Finans Dergisi*, 258(9), 41-61.
- Güzel, A. ve İltaş, Y. (2018), "Ticari Bankalarda Kârlılığın Belirleyicileri: Türkiye Örneği (2003-2016)", *Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 20(3), 505-534.
- Hasan, M.S.A., Manurung, A.H. ve Usman, B., (2020). "Cointegration of Oil Price, Exchange Rate and Fed Rate to Bank Performance", *International Journal of Scientific & Technology Research*, 9(6), 644-649.
- Ho, T. ve Saunders. A. (1981). "The Determinants of Bank Interest Margins: Theory and Empirical Evidence", *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 16(4), 581-600.
- Jain, A. ve Ghosh, S., (2013), "Dynamics of Global Oil Prices, Exchange Rate and Precious Metal Prices in India", *Resources Policy*, 38(1), 88-93.
- Jiang, G., Tang, N., Law, E. ve Sze, A. (2003). "The Profitability of the Banking Sector in Hong Kong", Hong Kong Monetary Authority Quarterly Bulletin, Hong Kong.

- Kayran, O. (2020). "Bankalarda Gelir Çeşitlendirmesinin Performans Üzerine Etkileri ve Türkiye'deki Mevduat Bankalarına Yönelik Bir Araştırma", Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Killins, R.N. ve Mollick, A.V. (2020). "Performance of Canadian Banks and Oil Price Movements", *Research in International Business and Finance*, 54, 1-16.
- Küçükbay, F. (2017). "Banka Kârlılığını Etkileyen Faktörler: Avrupa Birliği Bankaları ve Türk Bankaları Arasında Bir Karşılaştırma", *Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, 24(1), 137-149.
- Lipunga, M.A. (2014). "Determinants of Profitability of Listed Commercial Banks in Developing Countries: Evidence from Malawi", *Research Journal of Finance and Accounting* 5(6), 41-49.
- Liu H. ve Wilson, J. (2010). "The Profitability of Banks in Japan", *Applied Financial Economics*, 20(24), 1851-1866.
- Poyraz, E. (2012). "Türk Bankacılık Sektöründe Optimal Kredi Düzeyinin Belirlenmesi", *Business and Economics Research Journal*, 3(2), 41-49.
- Reis, Ş.G., Kılıç, Y. ve Buğan, M.F. (2016). "Banka Karlılığını Etkileyen Faktörler: Türkiye Örneği", *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, 72, 21-36. DOI: 10.25095/mufad.396715
- Riaz, S. ve Ayup, M. (2013). "The Impact of Bank Specific and Macroeconomic Indicators on the Profitability of Commercial Banks", *The Romanian Economic Journal*, 16(47), 91-110.
- Samırkaş, C.M., Evcı, S. ve Ergün, B. (2014). "Türk Bankacılık Sektöründe Kârlılığın Belirleyicileri", *Kafkas Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 5(8), 117-134.
- Sufian, F. ve Habibullah, M.S. (2009). "Determinants of Bank Profitability in A Developing Economy: Empirical Evidence From Bangladesh", *Journal of Business Economics and Management*, 10(3), 207-217.
- Suganya, S.J. ve Kengatharan, L. (2018). "Impact of Bank Internal Factors on Profitability of Commercial Banks in Sri Lanka: A Panel Data Analysis", *Journal of Business Studies*, 5(1), 61-74.
- Tan, Y. ve Floros, C. (2012). "Bank Profitability and Inflation: The Case of China", *Journal of Economic Studies*, 6(39), 675-696.
- Taşkın, D.F. (2011). "Türkiye'de Ticari Bankaların Performansını Etkileyen Faktörler", *Ege Akademik Bakış*, 11(2), 289-298.
- Toda, H.Y., ve Yamamoto, T. (1995). "Statistical Inference in Vector Autoregressions with Possibly Integrated Processes", *Journal of Econometrics*, 66(1), 225-250.
- Trujillo-Ponce, A. (2013). "What Determines the Profitability of Banks? Evidence from Spain", *Accounting and Finance*, 53(2), 561-586.
- Yavuz, N. Ç. (2006). "Türkiye'de Turizm Gelirlerinin Ekonomik Büyümeye Etkisinin Testi: Yapısal Kırılma Ve Nedensellik Analizi." *Doğuş üniversitesi dergisi*, 7(2), 162-171.
- Yıldırım, O. (2008). "Türk Bankacılık Sektöründe Karlılığın Belirleyicileri", Yayınlanmamış Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Yılmaz, A.A. (2013). "Profitability of Banking System: Evidence From Emerging Markets", *WEI International Academic Conference Proceedings*, 105-111.

Zincir Marketlerde Stok Yönetiminde Fire Oranlarının Azaltılması: Ankara İlinde Bir Uygulama

Rumeysa Güneş¹ , Buğra Akyol¹ , Emel Güven¹ , Tamer Eren¹ 

ÖZET

Amaç: Zincir marketlerde tarihi geçmemiş, kaliteli, tüketici taleplerine uygun ürünlerin doğru yer ve zamanda tüketicilere sunulması amaçlanmaktadır. Doğru stok yönetimi stratejisiyle tüketici memnuniyetinin sağlanması ve zincir marketlere rekabet üstünlüğü, sürdürülebilirlik ve verimlilik avantajının sağlanması hedeflenmektedir. Fire oranlarının en aza indirilerek ürün israfının engellenmesi, marketlerde maliyetlerin azaltılması ve müşterilere kaliteli ürünlerin sağlanması çalışmanın amaçları arasında yer almaktadır. Bu çalışmada kullanılan parametreler diğer zincir marketler için örnek yol gösterici bir çalışma olacaktır.

Yöntem: Yapılan çalışma kapsamında, zincir marketlerde stok yönetimi için kriterlerin ağırlıklandırılması ve fire oranlarının en aza indirilmesi için yapılacak faaliyetlerin sıralanmasında Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri kullanılmıştır. Uzman görüşü ile elde edilen kriterler Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ile ağırlıklandırılmış ardından belirlenmiş olan stratejilerin önceliklendirilmesinde Technique for Order Preference by Similarity to An Ideal Solution (TOPSIS) yöntemi kullanılarak çözüm bulunmuştur.

Bulgular: Zincir marketlerde fireye sebep olan ağırlığı en yüksek kriter "Talep Düşüklüğü" olmuştur. Bu kriterler sırasıyla "Depo Kapasitesi", "Raf Ömrü", "Konum", "Müşteri Özellikleri", "Lojistik ve Kontrol Eksikliği" olarak belirlenmiştir. Kriterler dahilinde oluşturulan stratejilerden en etkili stratejinin "Doğru Zamanda İndirim Kampanyaları" olduğu sonucuna varılmıştır.

Özgünlük: Bu çalışma bir zincir markette fire oranlarını azaltmaya yöneliktir. Yapılan literatür araştırması sonucunda zincir market içerisinde uygulama yapılarak stok yönetimi kriterlerinin belirlendiği ve fire oranlarının azaltılması için yapılacak faaliyetlerin sıralanmasını içeren sınırlı sayıda çalışmaya rastlanmıştır. Bu nokta çalışmaya özgün değer katmış, çalışmayı bu alanda önemli kılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Stok Yönetimi, Fire Oranları, AHP, TOPSIS.

JEL Kodları: D24, M11, L23.

Reducing Waste Rates in Inventory Management in Chain Markets: An Application in Ankara

ABSTRACT

Purpose: The aim of chain markets is to offer unexpired, quality products that meet consumer demands to consumers at the right place and time. By choosing the right inventory management strategy, it's aimed to ensure both consumer satisfaction and to provide competitive advantage, sustainability, and efficiency advantage to chain markets. Preventing product waste by minimizing waste rates, reducing costs in markets and providing quality products to customers are among the aims of the study. The parameters used in this study will serve as a guiding example for other chain markets.

Methodology: In the study, "Multiple Criteria Decision Analysis (MCDA)" methods were used to weight the criteria for inventory management in chain markets and to list the activities to reduce wastage rates. The criteria obtained by expert opinion were weighted with Analytical Hierarchy Process (AHP) and finally the Technique for Order Preference by Similarity to An Ideal Solution (TOPSIS) method was used to prioritize the strategies.

Findings: The most important criterion causing wastage in chain markets was "Low Demand". These criteria were determined as "Warehouse Capacity", "Shelf Life", "Location", "Customer Features", "Lack of Logistics and Control", respectively. It was concluded that the most effective strategy among the strategies created with the criteria was "Right-Time Discount Campaigns".

Originality: As a result of the literature research a limited number of studies were found that determine the inventory management criteria by applying them in the chain market and list the activities that need to be done to reduce wastage rates. This point added originality to the study and made it important in this field.

Keywords: Inventory Management, Wastage Rates, AHP, TOPSIS.

JEL Codes: D24, M11, L23.

¹ Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale, Türkiye

Sorumlu Yazar-Corresponding Author: Tamer Eren, tamereren@gmail.com

DOI: 10.51551/verimlilik.1435631

Araştırma Makalesi / Research Article | Geliş / Submitted: 12.02.2024 | Kabul / Accepted: 18.03.2024

Atıf/Cite: Güneş, R., Akyol, B., Güven, E. ve Eren, T. (2024). "Zincir Marketlerde Stok Yönetiminde Fire Oranlarının Azaltılması: Ankara İlinde Bir Uygulama", *Verimlilik Dergisi*, 58(2), 231-246.

EXTENDED ABSTRACT

Markets with many stores constitute the definition of a chain market. Multiple products meet consumers in these chain markets. While some chain markets have dozens of branches, others have hundreds of branches (Şekerkeya and Cengiz, 2010). In the food industry, retail has a place in making people's daily lives more accessible by offering a wide range of products to consumers. Consumers are provided fresh produce, packaged food, and product options in different categories through retail activities carried out through markets, supermarkets, and online platforms.

Inventory management is essential in situations such as extending the shelf life of products in markets and reducing companies' costs, being caught off guard, and increasing profitability. Within the scope of inventory management, companies create inventory strategies that align with demands, unforeseen events, and warehouse capacities. Wrong choice of strategy may cause material and moral damage to the company. Since there are an average of 5000-15000 types of products in chain markets, inventory management is more strategically important in reducing wastage rates. (Bal, 2012; 41). The study aims to ensure that unexpired, high-quality products that meet consumer demands are offered at the right place and time in chain markets. Choosing the right inventory management strategy aims to ensure consumer satisfaction and provide a competitive, sustainable, and efficient advantage to chain markets. Thanks to this study is expected to minimize waste rates, prevent product waste, reduce market costs, provide quality products to customers, and play a role in increasing companies' strengths.

The criteria included in the study are created based on the literature review. Criteria determined for the evaluation of the chain market; "Low Demand (LD)", "Shelf Life (SL)", "Logistics (LOG)", "Warehouse Capacity (WC)", "Location (LOC)", "Customer Characteristics (CC)", "Lack of Control (LC)". Strategies Determined to Reduce Wastage Rates in the Implemented Chain Market; "Discount Campaigns at The Right Time (DCRT)", "Right Product Price Analysis (RPPA)", "Right Supplier Selection (RSS)", "Right customer demand determination (RCDD)", "Recycling (REC)".

Within the scope of the study, AHP (Analytical Hierarchy Process) and TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to An Ideal Solution) methods, which are among the Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods, used to weight the criteria for inventory management in chain markets and list the activities to be carried out to minimize waste rates. The AHP method is preferred in criterion weighting because it supports using objective and subjective evaluation criteria. It is beneficial in making group decisions, and complex problems can be simplified with the established hierarchy (Eraslan and Algün, 2013). The TOPSIS method, which is used to prioritize alternative strategies, is frequently preferred in ranking alternatives and is a method that ranks alternatives because it is a method that can be easily used in real-life problems and produces realistic results (Erol et al., 2021).

The values in the TOPSIS result table are ranked according to their proximity to value 1. According to the results, the "Discount Campaigns at the Right Time" strategy ranks first, "Right Customer Demand Determination" ranks second, "Product Correct Price Analysis" ranks third, "Recycling" ranks fourth, and "Right Supplier Selection" ranks last.

The study is limited to a chain market branch in Ankara. As a result of the research and evaluations, it is aimed to positively affect situations such as strengthening the market position of the market, increasing sales rates, and strengthening customer relations. Correct inventory management practices and taking appropriate measures for situations that directly or indirectly affect waste rates will be essential in minimizing waste rates. When these stages are implemented systematically in the future, it's expected that the market will revitalize due to increased competition between different chain markets and material and moral losses due to wastage will be prevented. The inventory management strategy, which will give the business prestige and a strong position in the market, is aimed to lead to new investments. This study is conducted on inventory, demand, wastage, etc., data obtained from a chain market in Ankara and is expected to be a solution for businesses facing similar problems in the food retail sector across Turkey.

1. GİRİŞ

Çok sayıda mağazası olan marketler, zincir market tanımını oluşturur. Birden çok ürün bu zincir marketlerin içinde tüketiciyle buluşur. Zincir marketlerin bir kısmının onlarca şubesi varken, yüzlerce şubesi olan marketler de vardır (Şeker kaya ve Cengiz, 2010). Zincir marketlerde en önemli noktalardan bir tanesi stok yönetimidir. Stok yönetimi ürün maliyetini oluşturan etmenler arasında büyük bir yere sahiptir. Talebin zamanında karşılanması üretim ve satışın belirlenen zamanda yapılabilmesi açısından işletme yöneticisinin önemli görevleri arasında yer almaktadır. (Top, 2006: 191). Bu süreç işletmenin arz ve talep dengesini korumayı aynı zamanda müşteri memnuniyetinin artmasını ve maliyetleri optimize edilmesini hedefler. İşletmenin ihtiyacı olan malzemelerin önceden stoklanması için gerekli olan yatırım maliyetinin karşılanabilirliği zordur. İşletme için ise bu yatırım maliyetine dayanabilmek pek mümkün değildir. Bu sebeple işletmeler stoklarını belirli zaman dilimlerinde, gereksinim duydukları kadar edinmelidirler. (Yamak, 2007; 225). Böyle bir sürdürülebilir rekabet avantajı statüsüne ulaşmak, uygun bir yol haritasından veya stratejilerin belirlenerek uygulamaya konulmasından geçer (King, 2007).

Gıda sektöründe perakende, tüketicilere geniş ürün yelpazesi sunarak insanların günlük yaşamlarını kolaylaştıran bir yere sahiptir. Marketler, süpermarketler ve online platformlar aracılığıyla gerçekleşen perakende faaliyetleri ile tüketicilere taze ürün, paketlenmiş gıda ve farklı kategorilerde yer alan ürün seçeneği sunulmaktadır. Ayrıca, müşteri taleplerine hızlı dönüşler sağlamak, stoklarını doğru ve sistematik takip etmek, doğru zaman ve ürüne indirim yapmak rekabet avantajını belirleyen önemli unsurlardandır. Müşteri memnuniyetini artırmak için yenilikçi pazarlama stratejileri, sürdürülebilir tedarik zincirleri ve teknolojik gelişmelere ayak uydurmak perakende sektöründe başarıyı şekillendiren öğeler arasında yer almaktadır. Başarının yanı sıra işletmelerde maddi ve manevi öneme sahip olan fire oranları gıda sektöründe yüksek oranlarda ortaya çıkıp ekonomik olarak işletmeleri zarara uğratabilmektedir (Ömürbek, 2003; 32).

Stok yönetim zincirinin herhangi bir kısmında oluşacak sorunda süreç aksaklığa uğrayacaktır. Marketlerdeki ürünlerin raf ömürlerini uzatmak ve firmaların maliyet düşürme, hazırlıksız yakalanma, kârlılığı artırma gibi durumlarda stok yönetimi önemlidir. Stok yönetimi kapsamında firmalar talepler, öngörülemeyen olaylar ve depo kapasiteleri doğrultusunda stok stratejilerini oluştururlar. Stratejinin yanlış seçimi firmayı maddi ve manevi olarak zarara uğratabilir. Zincir marketlerde ortalama 5000-15000 çeşit ürün bulunması sebebiyle fire oranlarının azaltılması için stok yönetimi daha da stratejik bir öneme sahiptir. (Bal, 2012; 41).

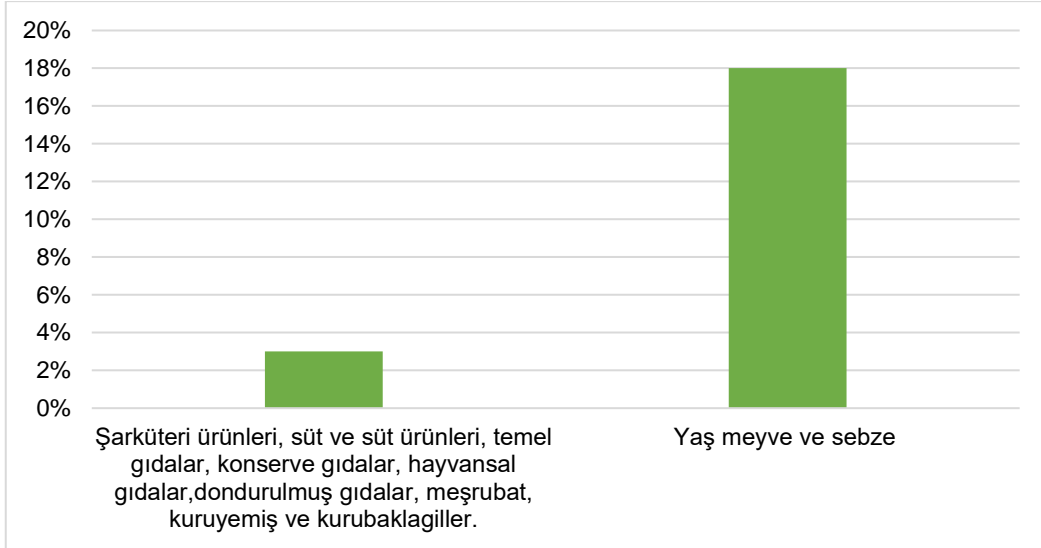
Ürünlerin sınırlı bir raf ömrüne sahip olması ve zamanla bozulma, çürümeye başlamaları durumunda olmaları bozulabilirlik olarak adlandırılır (Bayır, 2023: 4). Zincir marketlerde bozulabilirlikte birçok etmen rol oynamaktadır. Bozulabilirliği etkileyen faktörler ürünlerin ambalaj malzemelerine, ortamdaki nem, sıcaklık ve ışık seviyesine, mikroorganizmalara, enzimatik aktiviteye, oksidasyon ve kimyasal katkılara bağlı olarak değişim gösterir.

Bir yıl içerisinde yaklaşık 1,3 milyar ton gıdanın israf olduğu tahmin edilmektedir (Kaneti, 2014: 1). Türkiye’de taze gıdalar, sebze ve meyveler en çok fire verilen ürünler arasında yer almaktadır. Bu tür ürünler, depolama süreçlerinde, taşıma sırasında veya perakende satış noktalarında çeşitli sebeplerle bozulabilir veya kayıp verebilir. Hızlı bozulabilirlik oranı taşıyan süt ürünleri, et ürünleri gibi ürünler de belirli fire oranlarına sahiptir.

Taze gıda ve bozulabilir gıda kategorisinde bulunan yaş sebze ve meyvelerde tedarik zinciri süreci oldukça karmaşık yapıdadır. Bu durum tedarikin müşteri talebine bağlı biçimde gerçekleştirilmesi ve uygun bir tedarikçi ağı gerektiren bir dizi iş sürecine gerek duyulmasından kaynaklıdır. (Pralhad ve Ramaswamy, 2000). Tedarik zinciri içerisinde talebin hızlı ve uygun maliyetli karşılanabilmesi için sağlıklı ve doğru bilgiye ihtiyaç duyulmaktadır. (Cecere ve diğerleri, 2004).

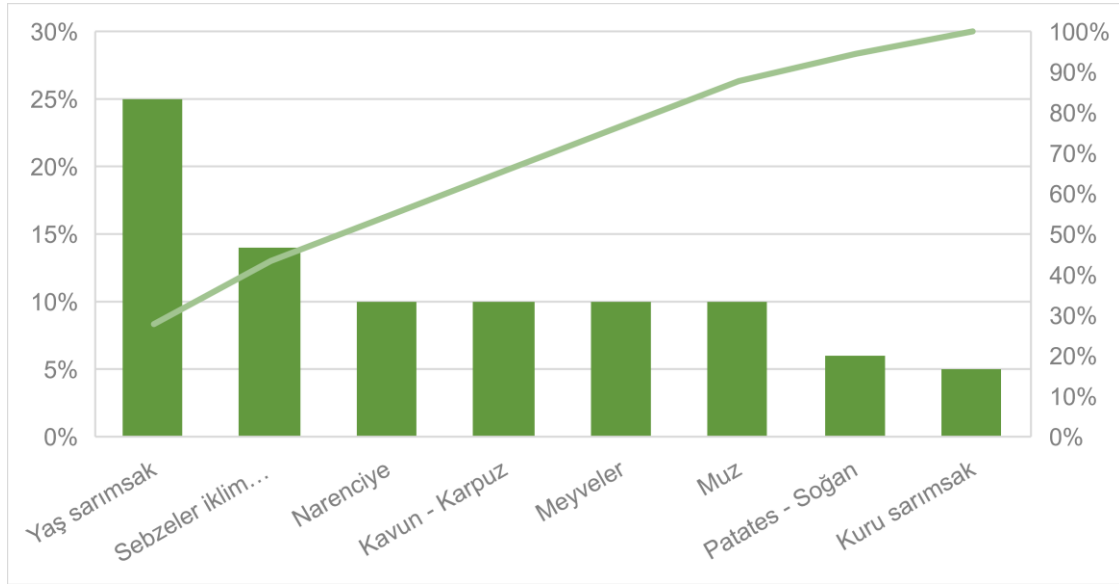
Normal üretim kayıpları gerek sanayi işletmeleri ve gerekse ticaret işletmeleri için tabii bir durumdur. Söz konusu kayıpları sıfıra indirmek çoğu zaman mümkün olmasa da bazı durumlarda bu yoldaki çabalar sonucu ortaya çıkan maliyetler genellikle kayıp maliyetlerini aşarak işletme açısından ekonomik anlamda daha büyük iktisadi kayıplara sebep olmaktadır. Ancak her halükârda gerek normal kayıplar ve gerekse anormal kayıpların ortaya çıkması işletme bünyesinde verimliliğin azalmasına ve birim maliyetlerinin yükselmesine yol açarak kâr marjının düşmesine sebep olacaktır (Yaşaran, 2009: 12).

Fire oranının kontrol edilmemesi durumunda işletme ekonomik olarak hasar alabilmektedir. Gıda sektöründe perakende satışta fire oranları hesaplanmakta ve takip edilmektedir. Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği Genel Sekreterliği’ne Ankara Ticaret Odası tarafından iletilen ve belirlenen fire oranları Şekil 1-4’te gösterilmiştir (Ankara Ticaret Odası, 2017).



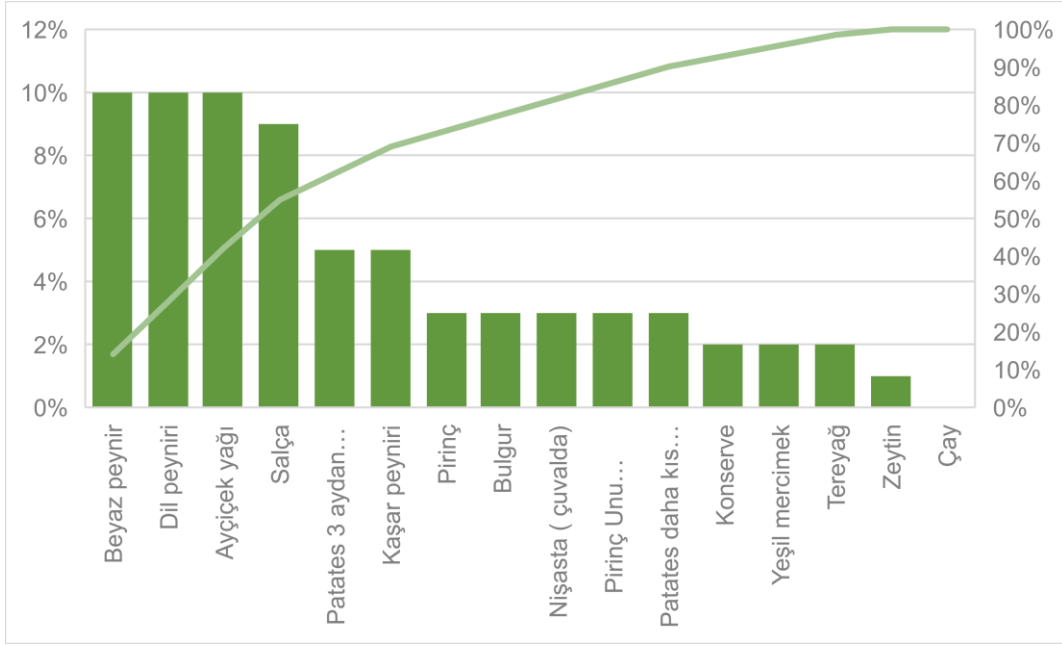
Şekil 1: İhtiyaç maddeleri ve gıda ve toptan ticareti fire oranları (12/04/2011-1539/17 Y.K.K.) ve yaş meyve sebze fire oranları (10/06/2015 – 1445/05 Y.K.K.)

Şekil 1’de perakende fire oranları verilmiştir. Yaş meyve ve sebze fire oranları %15-%20 civarındayken diğer ürünler %2-%3 dolaylarında fire oranına sahiptir. Bu durumda yaş meyve ve sebze fire oranlarının diğer gıda ürünlerine göre oldukça yüksek olduğu gözlemlenmektedir.



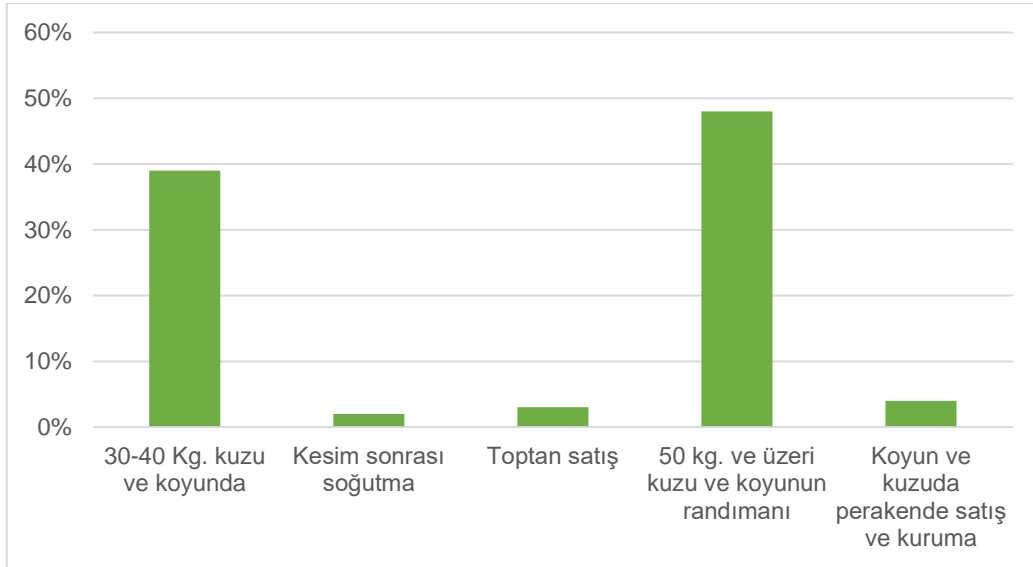
Şekil 2: Meyve ve Sebze Fire Oranları (02/11/2010- 1227/03 Y.K.K.)

Şekil 2’de perakende fire oranları verilmiştir. Sebze ve meyveler arasında en çok firenin %25 oranla yaş sarımsakta, iklim şartlarına göre değişen sebzelerde firenin %10-%15 oranında, narenciye kavun-karpuz, meyveler ve muzda firenin %10 oranında, patates-soğanda firenin %4-%6 oranında ve kuru sarımsakta %5 oranında olduğu görülmektedir.



Şekil 3: İhtiyaç Maddeleri ve Gıda Perakende Fire Oranları (21/12/2010-1312/12 Y.K.K)

Şekil 3'te gıda ve ihtiyaç maddelerinin perakende fire oranları verilmiştir. En yüksek firenin %10'luk oranla beyaz peynir, dil peyniri ve Ayçiçek yağında en düşük düşük firenin de %1'lik oranla zeytinde olduğu çayda ise hiç firenin olmadığı görülmektedir.



Şekil 4: Et Çeşitleri Fire Oranları (01/02/2011- 1405/12 Y.K.K.)

Şekil 4'te et fire oranları verilmiştir. Bu verilere göre 50 kg üzerindeki canlı kuzu-koyunun randıman oranının %48 olduğu ve 30-40 kg arası canlı kuzu koyunun fire oranının %38-%40 olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada amaçlanan, zincir marketlerde tarihi geçmemiş, kaliteli ve tüketici taleplerine uygun ürünlerin doğru yer ve zamanda tüketicilere sunulmasının sağlanmasıdır. Doğru stok yönetimi stratejisi seçimiyle hem tüketici memnuniyetinin sağlanması hem de zincir marketlere rekabet üstünlüğü sürdürülebilirlik ve verimlilik avantajının sağlanması hedeflenmektedir. Bu çalışma sayesinde fire oranlarının en aza indirilerek ürün israfının engellenmesi, marketlerde maliyetlerin azaltılması, müşterilere kaliteli ürünlerin temin edilmesi ve firmaların güçlü yönlerini artırıcı rol oynaması beklenmektedir.

Yapılan çalışma Ankara ilinde bir zincir markette ortaya çıkan fireleri azaltmak amacıyla yapılmıştır. Fire oranlarını azaltmak için birçok alternatif değerlendirilmiş kriterler ağırlıklandırılmıştır. Literatür incelendiğinde stok yönetimi ile fire oranlarını azaltmaya yönelik çok az çalışma bulunmaktadır. Çalışmada yer alan stratejiler çalışma yapılan zincir marketin stok sorunlarını göz önüne alarak belirlenmiş olup yeni stratejiler sunmaktadır.

Çalışmanın devam eden bölümlerinde literatürde konuyla ilgili yapılan benzer çalışmalar incelenmiştir. Çalışmanın üçüncü bölümünde kullanılan yöntemler açıklanmış dördüncü bölümünde ise kullanılan yöntemlerin çalışma üzerindeki elde edilen uygulama sonuçları gösterilmiştir. Beşinci bölümde tartışma yer alırken son bölümde çalışmadan elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ve yorumu yapılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Zincir marketlerde stok yönetimi ve fire oranı kavramları literatürde incelendiğinde alt başlıklar halinde birçok çalışma olduğu görülmüştür. Zincir marketlerde stok yönetimi yapılarak işletme verimliliğini, pazar içerisinde rekabet, avantaj ve dezavantaj bulunduran durumları kapsayan çalışmalar literatürde öne çıkmaktadır.

Ürencik (1990; 28) çalışmasında klasik ABC analizlerinin ötesinde birden fazla kriterin değerlendirilmesi sonuçlarının analiz edilmesi ve bu tür malzeme sınıflandırmalarının işletmelerdeki önemi üzerinde durmuştur. Bu çalışmada stok parçalarını içeren bir veri tabanı oluşturmuş ve sınıflandırma yapılacak malzemeleri bu alana kaydetmiştir. Yaptığı sınıflandırmalar sonucunda ziyan olan malzeme ve mamullerin miktarı azaltılmış, stoklara bağlanan para tam ihtiyaca göre saptandığından sağlıklı bir finans yönetimine olanak sağlamış, satış ve tedarik masraflarının azalması gibi sonuçlar elde etmiştir.

Armutak ve Bayındırlı (1995), çalışmasında gıdaların raf ömrünün belirlenmesinde kullanılan yöntemleri incelemiş, temel gıda maddeleri için çevresel etmenlerin raf ömrünü azaltmasına olan etkileri ve gıdaların raf ömrü hesaplanırken kullanılabilir olan bilimsel prensipleri derlemiştir. Zaman-sıcaklık-tolerans (TTT) metodunun geçerliliğini, donmuş gıda maddeleriyle örneklemiştir. raf ömrü azalmasıyla ilgili, sıfırıncı ve birinci dereceden reaksiyonlar kullanarak türetilen denklemler incelemiş, nem artışı ve nem kaybına bağlı olarak raf ömrünün azalışını açıklamıştır.

Kaya (2004; 151) çalışmasında Türkiye'deki ilk 500 içinde bulunan üreticilerden 100 tanesi üzerinde bu etkin stok politikalarının hangi ölçüde uygulanabildiğini araştırmış ve bir anket yaparak çoğu işletmenin etkin stok politikalarını sürdürecektir yönetimi anlayışında olmadığı sonucuna varmıştır. Stok maliyetlerinin de minimize edilebilmesi için uygun seviyede stok yönetim modellerinin uygulanamadığını belirlemiştir. Tanrıverdi (2010; 67) çalışmasının ilk bölümünde de tedarik zinciri ve tedarik zinciri yönetimi kavramlarını ele almış, tedarik zincirinin gelişimi ve yapısını tanımlayarak, dış kaynak kullanımının ve bilişim teknolojilerinin tedarik zincirine olan etkisi üzerinde durmuştur. Çalışmada AHP ve ABC yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemler sonucunda avantaj ve dezavantajların değerlendirildiği görülmüştür.

Doğu ve Akolaş (2015) çalışmalarında stok yönetim politikalarını, Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP) ile incelemiş, disiplinler arası bir yaklaşım dahilinde, depoların stok yönetimi çalışmalarını gıda güvenliği sistemine uyumlu hale getirmişler ve depo için HACCP gıda güvenliği sistemi kurmuş, ürün kalitesinin korunarak tüketiciye kaliteli ve güvenilir ürünün ulaştırılmasını sağlamışlardır.

Literatürde perakende (süpermarket) sektörüne endüstri 4.0 tabanlı çözüm modeli geliştiren bir çalışmaya rastlanmıştır. Kazak (2018) çalışmasında örnek olarak sunduğu modelde Türkiye'de bir süpermarket zincirinde uygulama yapmıştır. Bu modelde amaçlanan süpermarketin raflarındaki ürün ve malzemelerin stock out olmasının (yoka düşmesini) önüne geçmek, zamanında ürün tedariki sağlamak, kullanıcı hatalarını minimize etmektir. Çalışmada bilgi işlem teknolojileri ve akıllı programlama kullanılarak otomatik sipariş oluşturan, tedarik ve sevki işlemlerini sağlayan bir model ortaya koyulduğu görülmektedir. Ortaya konulan model ile perakendecinin ihtiyaç duyduğu ürünleri tedarik etmesi ve mağazalara sevkini sağlayacak siparişlerin otomatik olarak oluşturulması sağlanmıştır.

Demir ve Keskin'in (2022) Tedarikçi Yönetimli Stok sistemini incelemiş ardından Dağıtım Merkezleri (DM) ve bağlı oldukları mağazaları inceledikleri görülmüştür. Çalışma sonucunda DM'lere gelen dalgalı talebin, DM'ler üzerindeki olumsuzlukların en küçüklenmesi amaçlanmıştır. Sunulan çözüm yöntemleri ile DM'lerin iş yükünün daha dengeli dağıtılması ve söz edilen olumsuz etkilerin azaltılması sağlanmıştır.

İncelenen çalışmalara ek olarak gıda sürdürülebilirliğinin sağlanmasıyla ilgili çalışmaların olduğu da gözlemlenmiştir. Bu konuda Tümenbatur (2022) Birleşmiş Milletler'in sürdürülebilir kalkınma hedeflerini önceliklendirilmiş ve değerlendirmeler sonucunda gıda kaybının ve oluşan atıkların önüne geçilmesinde soğuk zincir lojistiğinin önemli olduğunu, yatırım maliyetlerinin yüksek olması hem de ilerleyen teknolojide sürekli yenilik takibinin ulaştırma maliyetini düşürmeye yönelik bir model kullanılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Güncel gelişmelerin takibi açısından lojistik maliyetleri düşürücü paylaşımlı bir model kullanılması gerektiği sonucuna varmıştır.

Literatür taramasında ayrıca bozulabilirlik oranı yüksek ve raf ömrü kısa ürünler ele alındığında bu ürünlerin tedarik aşamasında yaşanan durumların tedarik süreçlerini etkilediği çalışmalara da rastlanmıştır. Sarı ve diğerleri (2023) süt ve süt ürünleri tedarik zincirinde verimliliğini Covid-19 sonrasında etkileyen faktörleri analiz etmişlerdir. Analiz sonuçlarına göre, ürün talebini doğru tahmin edememenin, üretim ve lojistik

maliyetlerindeki yüksek artışın, hammadde tedarik süresindeki değişimlerin, talepteki dalgalanmalar ve planlanmamış siparişlerin, üretim süreçleri esnasında yaşanan ürün kayıp ve israfının verimliliği büyük ölçüde etkileyen faktörler olduğu belirtilmiştir.

Zincir marketlerde stok yönetimi ve fire oranı kavramları kapsamında ele alınan literatür taramasında farklı çalışmaların olduğu görülmektedir. Ancak gerçek hayatta mevcut olarak hizmet veren bir zincir market içerisinde uygulama yapılarak stok yönetimi kriterlerinin belirlendiği ve fire oranlarının azaltılması için yapılacak faaliyetlerin sıralanmasını içeren sınırlı sayıda çalışmaya rastlanmıştır. Bu çalışma bir gerçek yaşam problemini ele almış ve mevcutta faaliyet gösteren bir zincir markette gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın bu yönüyle özgün olup literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

3. YÖNTEM

Karmaşık problemlerin çözümünde genellikle çok kriterli karar verme yöntemleri (ÇKKV) kullanılmaktadır. Karmaşık problemler belirlenen kriter ve alternatifler doğrultusunda çözülerek en uygun sonuca ulaşılır (Danışan ve diğerleri, 2022). ÇKKV problemlerinin çözümünde, alternatiflerin belirli kriterler ile sıralanmasında, en uygun alternatifin belirlenmesinde kullanılmaktadır. ÇKKV yöntemi aynı seçim sıralama problemlerinin çözümünde birden fazla şekilde kullanılabilen, kullanılan yöntemlerin sonuçları da farklılıklar gösterebilmektedir. Karar probleminin elemanlarını karar verici belirli öncelikleri kullanarak oluşturur. Bu yöntemlerde sıralama yapılırken alternatiflerin belirli referans noktasına uzaklıkları, kriterlerin üstünlükleri gibi etkenler dikkate alınmaktadır (Arslan ve Bircan, 2018; Dağdeviren ve Eren, 2001).

Karar verme süreci; problem tanımı yapılarak, çeşitli alternatifler arasından, belirli ölçütlere göre nihai bir karar ile sonuçlanan sürece denilmektedir. Karar verici, kriterler, alternatifler, çevresel faktörler, karar vericinin öncelikleri ve sonuçlar; karar verme sürecinin elemanlarını oluşturmaktadır (Kutlu ve diğerleri, 2012). ÇKKV, karar sürecini kriterlere göre modelleyen ve farklı yaklaşımları bir arada bulandıran yöntemler bütünü oluşturmaktadır. ÇKKV yöntemleri; seçim, sıralama ve sınıflandırma problemlerinde kullanılmaktadır. Birden fazla alternatifin bulunduğu seçim problemlerinde, en iyi alternatifin belirlenmesi, seçim problemlerinin amacını oluşturmaktadır (Değirmenci ve Ayvaz, 2016). Gerçekleştirilen çalışma kapsamında, zincir marketlerde stok yönetimi için kriterlerin ağırlıklandırılması ve fire oranlarının en aza indirilmesi için yapılacak faaliyetlerin sıralanmasında ÇKKV yöntemlerinden olan AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) ve TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to An Ideal Solution) yöntemleri kullanılmıştır. AHP yöntemi objektif ve subjektif değerlendirme kriterlerinin birlikte kullanımını desteklemesi, grup kararlarının alınabilmesinde sağladığı yarar ve kurulan hiyerarşi ile karmaşık problemlerin daha basit hale getirilebilmesi sebebiyle kriter ağırlıklandırmada tercih edilmiştir (Eraslan ve Algün, 2013). Alternatif stratejilerin önceliklendirilmesinde kullanılan TOPSIS yöntemi ise alternatiflerin sıralanmasında sıklıkla tercih edilmekte olup gerçek hayat problemlerinde rahatlıkla kullanılabilen ve gerçekçi sonuçlar üreten bir yöntem olması sebebiyle alternatiflerin sıralayan bir yöntemdir (Erol ve diğerleri, 2021).

3.1. AHP

İlk olarak Myers ve Alpet (1968) tarafından bahsedilen AHP, Saaty (1977; 234-281) tarafından geliştirilerek karar verme problemlerinin çözümünde kullanılabilir hale getirilmiştir. AHP karar verme sürecindeki karmaşıklığı azaltmak ve çeşitli seçenekler arasında tercih yapmayı kolaylaştırmak için kullanılan çok kriterli karar verme yöntemidir. Bu yöntemde, karar verme problemlerine ilişkin öncelikleri belirlemek için farklı kriterler arasında ağırlıklandırmalar yapılır. AHP, Saaty (1977) tarafından, karmaşık problemlerin çözümü için geliştirilen ve birçok alandaki çeşitli problemlerin çözümünde başarılı bir şekilde uygulama alanı bulan ÇKKV yöntemidir (Saaty, 1980; 285). AHP yöntemiyle nitel ve nicel faktörlerin değerlendirilmesinin yanı sıra kişilerin yargılarını, bilgilerini, tecrübelerini, düşünce ve sezgilerini de karar verme sürecine dahil eder (Özbek ve Eren, 2013). AHP'nin 6 aşaması vardır.

Adım 1. Hiyerarşik Yapıyı Elde Etme: AHP'de öncelikle amacın belirlenmesi gereklidir. Bu amaç doğrultusunda seçimde etkili olan kriterler belirlenir (Dağdeviren ve Eren, 2001). Sonuç olarak hiyerarşik yapıyı kriterler ve kriter öncelikleri oluşturur.

Adım 2. Önceliklerin Belirlenmesi: Bu aşamada Saaty'nin geliştirdiği önem skalasından faydalanılarak karşılaştırma matrislerinin belirlenmesi için öncelikler bulunur. Saaty önem skalası (Saaty, 2008; Saaty, 1994: 19-43) Tablo 1'de verilmiştir.

Adım 3. İkili Karşılaştırma Matrisinin Oluşturulması: Önem dereceleri belirlendikten sonra ikili karşılaştırma matrisinin oluşturulması kriterlerin kendi arasında ve her bir kriter için alternatiflerinin birbirleriyle karşılaştırılmasıyla elde edilir (Eşitlik 1).

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} = 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} = 1/a_{1n} & a_{n2} = 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Tablo 1. Önem skalası

Önemi Tanım	Açıklama
1	Eşit öneme sahip Her iki seçenek de 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.

Adım 4. İkili Karşılaştırma Matrislerini Normalleştirme ve Önem Ağırlıkları: Bu aşamada matrislerin normalize edilmesi her elemanın kendi sütun toplamına bölünmesiyle elde edilir. Normalleştirilmiş karşılaştırma matrisinde matrisinde her bir sıranın ortalama değerleri bulunarak önem ağırlıkları belirlenir (Eşitlik 2).

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}, w = \frac{\sum_{j=1}^n b_{ij}}{n} \quad (2)$$

Adım 5. Tutarlılık Oranının Hesaplama: Oluşan matrislerin tutarlılık oranı doğruluk değerlendirilmesinde önemlidir. Tutarlılık İndeksi (Consistency Index) hesaplanabilmesi için karar matrisi önem ağırlıkları ile çarpılarak Eşitlik 3'teki sonuca ulaşılır.

$$A \times W = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} = 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} = 1/a_{1n} & a_{n2} = 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \quad (3)$$

Eşitlik 3'te elde edilen sütun değerleri önem ağırlıklarına bölünmesiyle Eşitlik 4 kullanılarak d_i değeri elde edilir.

$$d_i = \frac{x_i}{w_i}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

Eşitlik 4'te bulunan değerlerin aritmetik ortalaması Eşitlik 5 ile bulunur.

$$\lambda_{max} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \quad (5)$$

Formüldeki λ_{max} değeri Eşitlik 6'da yerine yazılarak Cl değeri hesaplanır.

$$Cl = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (6)$$

Tutarlılık oranının değerlendirilebilmesi için Rassal İndeks (Random Index) değeri kullanılır. Tablo 2'de Rl değerleri verilmiştir. Eşitlik 7 kullanılarak tutarlılık oranı hesaplanır (Karagiannidis ve diğerleri, 2010; Wang ve diğerleri., 2010: 1023-1034).

Tablo 2. Karşılaştırma matrislerinin boyutlarına göre RI değerleri

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Rl	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,53	1,56	1,57	1,59

$$CR = \frac{Cl}{Rl} \quad (7)$$

Yapılan işlemler sonucunda çıkan tutarlılık oranının 0,10'dan küçük olması tutarlı olduğu anlamına gelmektedir. Bu değerden büyük gelen sonuçlar karşılaştırma matrisinin tutarsız olması demektir. Tutarlılık oranı 0,10 un altına inene kadar aşamalar tekrarlanır.

Adım 6. Nihai Sıranın Belirlenmesi: Alternatifler, kriterlerin önem ağırlıkları ile çarpılarak her alternatife ait öncelik değerleri hesaplanır. Öncelik değerleri sıralandığında en yüksek değeri alan alternatif, tercih edilmesi en öncelikli seçeneği belirler.

3.2. TOPSIS

TOPSIS yöntemi 1981'de Hwang ve Yoon tarafından geliştirilmiştir. Yöntem alternatiflerin sıralanarak ideal çözüme en yakın mesafede olan ve negatif ideal çözüme en uzak mesafede yer alan alternatiflerin seçilmesi şeklinde uygulanır (Kutlu ve diğerleri, 2012). Bu yöntem, birkaç alternatif arasında tercih yaparken, alternatiflerin her birinin birbirleriyle olan benzerliklerine göre sıralama yapılmasını sağlar. Bu sayede, en uygun seçim belirlenir (Arslan ve diğerleri, 2023). TOPSIS yöntemi 6 adımdan oluşmaktadır.

Adım 1. Karar Matrisini Oluşturma: Karar matrisi oluşturma aşamasında satırlarda alternatifler sütunlarda ise kriterler bulunmaktadır. Karar matrisindeki n karar seçeneklerine, m ise değerlendirme kriterlerine karşılık gelmektedir. Karar seçenekleri ve değerlendirme kriterleri sırasıyla $n \times m$ boyutlu matrisi oluşturmaktadır.

Adım 2. Standart Karar Matrisini Oluşturma: Karar matrisinin her bir elemanının sütun değerlerinin kareleri toplamının karekökü alınır ve ilgili elemanın bulunan değere bölünmesiyle standart karar matrisi elde edilir. Eşitlik 8'de verilmiştir.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (8)$$

Adım 3. Ağırlıklı Standart Karar Matrisini Oluşturma: Öncelikli olarak ağırlık değerleri w_i , $i = 1, 2, \dots, m$ belirlenir. Sonraki aşamada standart karar matrisine ait elemanların ağırlık değerleri ile çarpılması ile ağırlıklı standart karar matrisi elde edilir.

Adım 4. İdeal (A^*) ve Negatif İdeal (A^-) Çözümleri Oluşturma: Ağırlıklı standart matrisindeki yer alan değerler büyükten küçüğe sıralanır. En büyük değer ideal çözüm için seçilirken, en küçük değerler negatif ideal çözüm için seçilir.

Adım 5. Ayırım Ölçülerini Hesaplama: Bu aşamada Euclidian Uzaklık Yaklaşımından yararlanılmaktadır. Her bir karar noktasının değerlendirme faktöründe pozitif ideal ve negatif ideal çözüm değerlerinden sapmalarının bulunabilmesi için Euclidian Uzaklık Yaklaşımından faydalanılır. Eşitlik 9 ve 10'da verilmektedir.

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

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

Adım 6. İdeal Çözüme Göreli Yakınlığın Hesaplanması: Eşitlik 11 ideal çözüme göreli yakınlığın hesaplanması için kullanılır. Buna göre hesaplanan değerler arasında 1 sayısına en yakın olan karar seçenekleri öncelikli alternatif olarak tercih edilir.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (11)$$

4. BULGULAR

4.1. Problem Tanımı

Türkiye genelinde 100 şubesi bulunan bir zincir marketin Ankara ilinde bulunan şubesinde uygulama gerçekleştirilmiştir. Zincir markete ait gerekli veriler yerinde alınmıştır. Çalışma yapılan zincir markette, fire oranlarının azaltılmasına yönelik gerçekleştirilen çalışmada AHP ve TOPSIS yöntemleri kullanılmıştır. Problem oluşumunda fireye sebep olan 7 kriter AHP yöntemiyle ağırlıklandırılmıştır. Ardından fire oranlarını azaltmak için oluşturulan 5 alternatif strateji TOPSIS yöntemi kullanılarak önceliklendirilmiştir. Birden fazla alternatif ve kriterler üzerinde karar verme sürecinde bu yöntemlerle daha belirgin sonuçlar elde edilmiştir. Böylelikle fire oranlarının düşürülmesine yönelik stratejiler önceliklendirilerek uygulamanın yapıldığı zincir market için strateji kararı belirlemede yol gösterici bir harita oluşturulmuştur.

4.2. Kriterler

Çalışma içerisinde yer alan kriterler literatür taraması sonucu oluşturulmuştur. Zincir marketin değerlendirilmesi için belirlenen kriterler; "Talep Düşüklüğü (TD)", "Raf Ömrü (RÖ)", "Lojistik (LO)", "Depo Kapasitesi (DK)", "Konum (KO)", "Müşteri Özellikleri (MÖ)", "Kontrol Eksikliği (KE)" dir. Kriterlerin açıklamaları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Kriter açıklamaları

Kaynak	Kriterler
Sultanoğlu ve diğerleri (2023)	Raf Ömrü (RÖ): Zincir markette bulunan ürünlerin raf ömrünün kısa olması, takip edilmemesi ve raf ömrüne göre düzenin kurulmaması fire oranlarının artmasına neden olur. Lojistik (LO): Verilen siparişlerin teslimat süresinde gecikme ve tüketicinin istediği ürüne zamanında ulaşamamasından kaynaklanan kayıp, fire olarak yansımaktadır. Depo Kapasitesi (DK): Depo kapasitesinin optimize edilmediği marketlerde yeterli düzeyde stok bulundurmama, stok maliyetinin artışı, müşteri memnuniyetsizlikleri gibi birçok etmen fireye sebebiyet vermektedir.
Atça (2018)	Talep Düşüklüğü (TD): Tüketicilerin ürün ve hizmetlere olan talebin beklenenden daha az olması sonucunda zincir markette görülen talep düşüklüğü fire oranını artırıcı etkide bulunmaktadır. Konum (KO): Zincir marketlerde tedarik zinciri erişiminin verimli bir şekilde işlemesi için müşterilerin markete erişim kolaylığı müşteri sayısını etkilemektedir. Nüfus yoğunluğunun az olduğu ve ulaşım imkanlarının kısıtlı olduğu bölgelerde konum özellikleri fire oranlarını olumsuz etkilemektedir. Müşteri Özellikleri (MÖ): Zincir marketin bulunduğu bölgedeki müşteri profilinin doğru tespit edilmemesinden kaynaklanan yanlış ürün stratejisi fireye sebebiyet vermektedir. Kontrol Eksikliği (KE): Zincir markette raflarda ve stoklarda bulunan ürünlerin sayımının yapılmaması ve son kullanma tarihlerinin kontrol edilmemesi fireyi artırmaktadır.

4.3. Alternatifler

Uygulama yapılan zincir markette fire oranlarını azaltmak için belirlenen stratejiler; “Doğru zamanda indirim kampanyaları (DZİK)”, “Ürün doğru fiyat analizi (ÜDFA)”, “Doğru tedarikçi seçimi (DTS)”, “Doğru müşteri talebi belirleme (DMTB)”, “Geri dönüşüm (GD)” dir. Alternatiflerin açıklamaları Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4. Alternatif açıklamaları

Kaynak	Alternatifler
İrmiş ve diğerleri (2023)	Doğru Zamanda İndirim Kampanyaları (DZİK): Doğru zamanda uygulanan indirim kampanyaları ile satılmayan ya da tercih edilmeyen ürünler tespit edilir. Uygulanan kampanya ile satış oranları artırılarak fire oranı azaltılabilir.
Atça (2018)	Ürün Doğru Fiyat Analizi (ÜDFA): Zincir markette satışı yapılan ürünlerin fiyat analizinin doğru yapılması marketin müşteri odaklı olmasını ve pazarda rekabet avantajı elde etmesini sağlar. Doğru Tedarikçi Seçimi (DTS): Tedarikçi seçiminde tedarikçinin sunduğu kalite, kâr marjı, teslimat güvenilirliği ve süresi, tedarikçinin sürdürülebilirlik ilkeleri zincir marketin pazardaki konumunu önemli derecede etkilemektedir. Doğru Müşteri Talebi Belirleme (DMTB): Zincir marketin satış yapılacak bölgedeki müşterilerinin profillerini doğru analiz ederek doğru ürün listelemesini yapması satışların artışına katkıda bulunmaktadır. Geri Dönüşüm (GD): Satılmayan fakat değerlendirilmesi mümkün olan sebze, meyve ve bazı gıda malzemelerinin atıkları azaltmak, israfı önlemek ve çevreye katkı sağlamak için geri dönüştürülerek kullanılabilir hale getirilmesi geri dönüşüme imkân sağlamaktadır.

4.4. Kriterlerin AHP ile Ağırlıklandırılması

Fire oranlarını etkileyen 7 kriterin ağırlıkları AHP yöntemiyle elde edilmiştir. Yönteme karar matrisi oluşturularak başlanmıştır. Oluşturulan karar matrisi Tablo 5’te sunulmuştur.

Tablo 5. Karşılaştırmalar matrisi

Kriterler	TD	RÖ	LO	DK	KO	MÖ	KE
TD	1	3,87	3,87	3,87	3,87	3,00	5,00
RÖ	0,26	1	3,87	0,26	3,87	1,18	1,22
LO	0,26	0,26	1	0,22	1,00	1,73	0,77
DK	0,26	3,87	4,58	1	3,87	3,87	5,00
KO	0,26	0,26	1,00	0,26	1	1,00	1,73
MÖ	0,33	0,85	0,58	0,26	1,00	1	0,77
KE	0,20	0,82	1,29	0,20	0,58	1,29	1

Tablo 5'te belirlenen karar seçenekleri karar vericiler tarafından AHP yöntemiyle Tablo 1'de verilen önem derecesi ölçeği kullanılarak değerlendirilmiştir. Daha sonra iki değerlendirmenin geometrik ortalaması alınıp karşılaştırmalar matrisi oluşturulmuştur. Karar matrisi uzmanlarının Tablo 1'deki önem derecesi ölçeğini kullanarak yaptıkları değerlendirmenin geometrik ortalamasının alınması ile oluşturulmuştur. Tablo 5'te oluşan karar matrisinin her bir değerinin bulunduğu sütun toplamına bölünmesiyle Tablo 6'teki normalize matris elde edilmiştir.

Tablo 6. Standart karar matrisi (Normalize matris)

Kriterler	TD	RÖ	LO	DK	KO	MÖ	KE	Toplam
TD	0,390	0,355	0,239	0,638	0,255	0,229	0,322	2,429
RÖ	0,101	0,092	0,239	0,043	0,255	0,090	0,079	0,898
LO	0,101	0,024	0,062	0,036	0,066	0,132	0,050	0,470
DK	0,101	0,355	0,283	0,165	0,255	0,296	0,322	1,776
KO	0,101	0,024	0,062	0,043	0,066	0,076	0,112	0,483
MÖ	0,130	0,077	0,036	0,043	0,066	0,076	0,050	0,478
KE	0,078	0,075	0,080	0,033	0,038	0,099	0,064	0,467

Tablo 6'daki normalize matrisin satır toplamının kriter sayısına bölünmesiyle Tablo 7'teki kriter ağırlıkları bulunmuştur.

Tablo 7. Kriter ağırlıkları

Kriterler	TD	RÖ	LO	DK	KO	MÖ	KE
w	0,34693	0,12831	0,06717	0,25377	0,06893	0,06824	0,06665

Bu matristen elde edilen satır toplamaları karar seçenekleri adedine bölünerek Tablo 5'te görülen Öncelik Vektörü (w) değerleri elde edilmiştir. En yüksek kriter ağırlığı oranının "Talep Düşüklüğü" kriterinde daha sonra "Depo Kapasitesi" kriterinde en düşük ağırlığı ise "Kontrol Eksikliği" kriterinde olduğu belirlenmiştir. Bu ağırlık değerlerinin TOPSIS sıralamasında kullanılabilmesi için tutarlılık oranının hesaplanması ve 0,1 değerinden küçük bir değer bulunması gerekmektedir. Yapılan tutarlılık analizi sonucunda tutarlılık oranı 0,08 bulunmuştur. Değerin tutarlı olduğu görülmektedir.

4.5. Alternatif Stratejilerin TOPSIS ile Sıralanması

Fire oranlarının azaltılmasında belirlenen stratejiler TOPSIS yöntemi ile çözümlenerek karar matrisi oluşturulmuştur. Sütunlarda kriterler satırlarda stratejiler yer almaktadır. Oluşturulan karar matrisi Tablo 8'da verilmiştir. Belirlenen stratejiler kriterlere göre değerlendirme ölçeği (5- En uygun, 1- En uygun olmayan olacak şekilde) kullanılarak puanlandırılmış ve Tablo 9'da görülen karar matrisi oluşturulmuştur (Danışan ve diğerleri, 2022).

Tablo 8. Karar matrisi

	TD	RÖ	LO	DK	KO	MÖ	KE
DZİK	5	2	1	2	3	3	1
ÜDFA	4	2	1	2	5	5	1
DTS	2	1	5	1	4	2	1
DMTB	5	2	1	5	5	5	1
GD	3	5	1	3	1	1	5

Tablo 8'deki karar matrisinde gerekli satır sütun işlemleri yapılarak Tablo 9'da görülen normalize matris haline getirilmiştir. Matrisin ilgili elemanları ağırlık değerleriyle çarpılmıştır. Bu şekilde ağırlıklı standart karar matrisi elde edilmiştir. Bu problemde TOPSIS yöntemindeki geriye kalan tüm adımlar sırasıyla uygulandıktan sonra Tablo 10'da görülen sonuç tablosu elde edilmiştir.

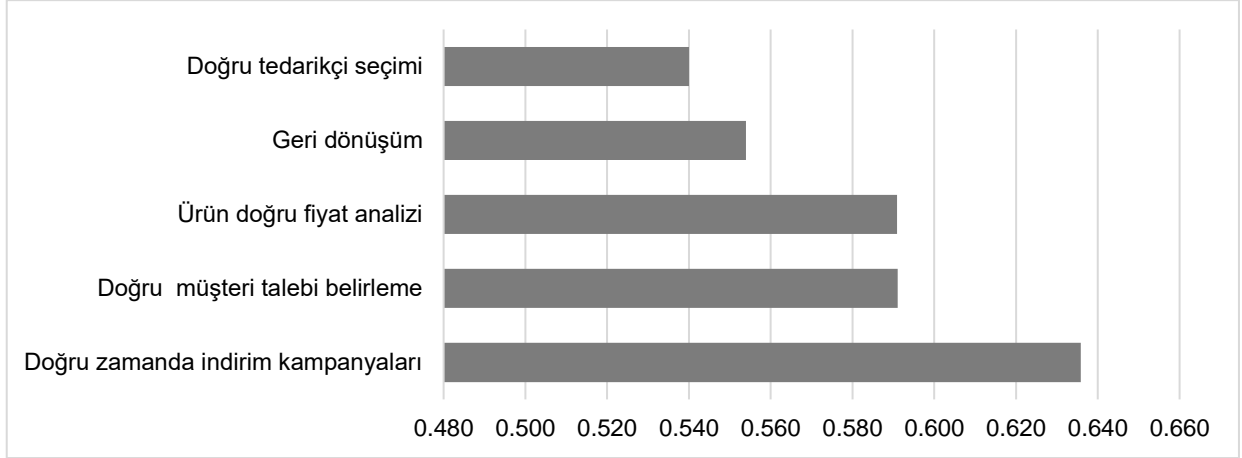
Tablo 9. Standart karar matrisi (Normalize matris)

	TD	RÖ	LO	DK	KO	MÖ	KE
DZİK	0,032	0,026	0,017	0,023	0,020	0,023	0,017
ÜDFA	0,025	0,026	0,017	0,023	0,033	0,039	0,017
DTS	0,013	0,013	0,086	0,012	0,026	0,016	0,017
DMTB	0,032	0,026	0,017	0,058	0,033	0,039	0,017
GD	0,019	0,066	0,017	0,035	0,007	0,008	0,086

Tablo 10. TOPSIS sonuç tablosu

Stratejiler	C*
DZİK	0,635836
ÜDFA	0,590893
DTS	0,540013
DMTB	0,591027
GD	0,553942

TOPSIS sonuç tablosundaki değerler 1'e olan yakınlıklarına göre sıralandıktan sonra Şekil 5'te elde edilmiştir. Sonuçlara göre "Doğru Zamanda İndirim Kampanyaları" stratejisi ilk sırada, "doğru Müşteri Talebi Belirleme" ikinci sırada, "Ürün Doğru Fiyat Analizi" üçüncü sırada, "Geri Dönüşüm" dördüncü sırada ve "Doğru Tedarikçi Seçimi" son sırada yer almaktadır.

**Şekil 5. TOPSIS sonuçlarına göre stratejileri sıralama tablosu**

5. TARTIŞMA

Gerçekleştirilen çalışmada bir zincir marketin stok yönetimi kullanılarak fire oranlarının azaltılması hedeflenmiştir. Tüketicilerin en uğrak yerlerinden olan zincir marketler hem müşteri memnuniyeti açısından hem de işletmenin kâr zarar maliyetleri bakımından ele alınmış olup tüm detayların üzerinden geçilmiş hangi uygun koşulların ve uygulamaların sağlanması gerektiği analiz edilmiştir.

Literatürde stok yönetimi için benzer stratejiler ele alınmış fakat stok yönetimi ile fire oranlarını minimize etmeye yönelik çalışmalara çok az rastlanmıştır. Marketlerde genellikle rekabet üstünlüğü koşulları ele alınmış olup bu çalışmayla rekabet üstünlüğüne bağlı olarak değişen uygun kampanyalar, müşteri talep arz dengesi, doğru fiyat uygulaması ve tedarikçi seçimleri konuları bakımından benzerlik bulunmaktadır.

Atça (2018) perakende sektörü için Alokasyon uygulaması çalışmasında müşteri tipinin öncelikli olduğu sonucuna varılmıştır. Ancak zincir marketlerde fire oranlarının azaltılması için öncelikli kriter ağırlıkları kıyaslandığında sırasıyla talep düşüklüğü, depo kapasitesi, raf ömrü gibi kriterlerinin öncelikli değerlendirilmesinin daha uygun olacağı düşünülmüştür.

Sultanoğlu ve diğerleri (2023) çalışmalarında yaş meyve-sebze perakendeciliğinin fireleri için raf ömrü, lojistik ve kapasite faktörlerini ele almışlardır. Fakat zincir marketlerde yaş meyve-sebze dışında gıdaların fireleri de dahil edildiği için raf ömrü, lojistik ve kapasite faktörlerine ek olarak konum, müşteri özellikleri ve talep faktörlerinin de dikkate alınması gerektiği düşünülmüştür. Gıda perakendeciliğinde fire oranlarını azaltmak için yapılacak bir çalışmada daha uygun sonuçlar elde edilebilmesi için tüm faktörlerin bir arada ele alınması önerilmiştir.

İrmiş ve diğerleri (2023) incelendiğinde zincir marketlerden birinde maliyet yönetimi için uygun fiyat stratejisinin esas strateji olarak tercih edildiği ve uygulandığı görülmekte fakat zincir marketlerde fire oranlarının azaltılması için doğru indirim kampanyaları stratejisinin öncelikli olarak uygulanması önerilmiştir.

Zincir markette yapılan çalışmada stok yönetimi içerisinde yer alan birden fazla kriter ve strateji değerlendirilmiştir. Belirlenen kriter ve alternatif stratejiler gerçek hayat problemini ele alarak uygulanabilir sonuçlar ortaya koymuştur.

6. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Zincir marketler perakende ya da toptan satış yapan ve beşten fazla şubesi olan satış noktalarıdır. Bu işletmelerde süt ve süt ürünleri, et ürünleri, yaş meyve ve sebze gibi gıdalarda raf ömrü, çevresel faktörler, depolanma koşulları gibi etmenlere bağlı olarak hızlı bozulabilirlik görülmekte ve bu duruma bağlı olarak işletmeyi ekonomik olarak olumsuz etkilemektedir. Bu bozulabilirlik de işletmelerde yüksek oranlı firelere ve israfa sebebiyet vermektedir.

Ankara ilinde bir zincir marketin stok yönetimi ile fire oranlarının azaltılmasında zincir marketten edinilen bilgiler kapsamında bu çalışma yapılmıştır. Zincir markette fire oranlarını doğrudan ya da dolaylı etkileyen unsurlar incelenmiş bunun sonucunda dikkat edilmesi gereken kriterler ve çözüm yöntemi olabilecek alternatifler oluşturulmuştur.

Bu çalışma öncelikli olarak zincir markette stokların yönetilememesinden kaynaklı fire oranı artışlarının ve ürün israfının önüne geçmeyi amaçlamaktadır. Müşteri kayıplarının önüne geçilmesi, pazardaki konumunun güçlenmesi ve firelerden kaynaklı mali kayıpların engellenmesi gibi faydaların kazanılması sağlanacaktır. Bu kapsamda literatür incelemesi ve uzman görüşü sonucunda fire oranlarını etkileyen kriterlerin "Talep Düşüklüğü", "Raf Ömrü", "Lojistik, Depo Kapasitesi", "Konum", "Kontrol Eksikliği" olduğu belirlenmiştir. Çalışmanın alternatifleri ise "Doğru Zamanda İndirim Kampanyaları", "Ürün Doğru Fiyat Analizi", "Doğru Tedarikçi Seçimi", "Doğru Müşteri Talebi Belirleme" ve "Geri Dönüşüm" olarak belirlenmiştir. Kriterler AHP yöntemi kullanılarak ağırlıklandırılmış, bulunan kriter ağırlıkları kullanılarak alternatifler TOPSIS yöntemiyle sıralanmıştır.

Çalışma sonuçları incelendiğinde zincir marketin 5 alternatif içerisinde öncelikli olarak doğru zamanda indirim kampanyasını tercih etmesi sonucunda fire oranlarına en verimli alternatif olduğu sonucuna varılmaktadır. Zincir markette doğru zamanda indirim kampanyası raf ömrü tükenmeye yaklaşan ürünlerin uygun fiyatla tüketiciye ulaştırılmasıyla satış oranlarının artırılmasını ve fire oranlarının azalmasını sağlayacak bir alternatiftir. Doğru müşteri talebi belirleme ikinci alternatif, ürün doğru fiyat analizi üçüncü alternatif, geri dönüşüm dördüncü alternatif ve doğru tedarikçi seçimi sonuncu alternatif olarak sıralanmıştır. Zincir marketlerde fire oranlarının azaltılması için en önemli kriterin talep düşüklüğü olduğu gözlemlenmiştir.

Ele alınan bu çalışma ile mevcut çalışmalardan farklı olarak zincir marketlerde fire oranlarına sebebiyet veren faktörler karşılaştırılmış, fire oranını minimize edecek uygun alternatifler değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda perakende sektörü için yapılacak benzer stok yönetimi çalışmalarında bu veriler kullanılarak farklı sektörlerde de uygulanabilir stratejiler sunulmuştur.

Çalışma, Ankara ilindeki bir zincir market şubesi ile sınırlandırılmış olup yapılan araştırmalar ve değerlendirmeler sonucunda, marketin pazar konumunun güçlenmesi, satış oranlarının yükselmesi, müşteri ilişkilerinin güçlenmesi gibi durumların olumlu şekilde etkilenmesi hedeflenmektedir. Fire oranlarını doğrudan ya da dolaylı şekilde etkileyen durumlar için doğru stok yönetim uygulamaları yapmanın ve uygun tedbirler alınmasının fire oranlarının minimize edilmesinde önemli rol oynayacağı düşünülmektedir. İlerleyen süreçlerde bu aşamalar sistematik şekilde uygulandığında farklı zincir marketler arasındaki rekabet artışına bağlı olarak piyasanın canlanması hem de fire dolayısıyla maddi ve manevi kayıpların önüne geçilmesi beklenmektedir. İşletmeye prestij ve pazarda güçlü konum kazandıracak olan stok yönetim stratejisinin yeni yatırımlara öncülük etmesi hedeflenmektedir.

Bu çalışma Ankara ilinde bir zincir marketten edinilen stok, talep, fire vb. verileri üzerine yapılmış olup Türkiye genelindeki gıda perakendesi sektöründe benzer sorunlarla karşılaşan işletmeler için çözüm niteliğinde olması beklenmektedir. Sektör, arz, talep, kapasite, ürün gibi faktörler sonucunda bu veriler Türkiye genelinde değişebilir ve buna bağlı olarak sonuçlarda farklılıklar gözlemlenmektedir. Çalışma, Ankara ilindeki bir zincir marketten edinilen stok, talep, fire vb. verileri üzerine odaklanmış olsa da farklı strateji ve alternatiflerle Türkiye genelinde toptan ve perakende gıda ticareti, kozmetik, sağlık gibi farklı birçok sektörde rastlanan benzer fire sorunlarına çözüm sunabilir. Sektörde arz, talep, kapasite, ürün çeşitliliği gibi değişken nedenlerden dolayı çalışmada kullanılan stratejilerin ve çözüm önerilerinin hem sektör hem de konuma bağlı olarak, farklı işletmeler için uygulanması aşamasında özel çözümler geliştirilebilir. Bu çalışma, zincir marketlerin verimliliğini artırmak ve fire sorununu ortadan kaldırmak için dikkat çekici olabilir.

Yazar Katkıları / Author Contributions

Rumeysa Güneş: Literatür Taraması, Kavramsallaştırma, Veri Derleme, Metodoloji, Makale Yazımı-rijinal taslak Buğra Akyol: Literatür Taraması, Kavramsallaştırma, Veri Derleme, Metodoloji, Makale Yazımı-rijinal taslak. Emel Güven: Analiz, Metodoloji, Makale Yazımı-inceleme ve düzenleme Tamer Eren: Makale Yazımı-inceleme ve düzenleme

Rumeysa Güneş: Literature Review, Conceptualization, Data Curation, Methodology, Writing-original draft Buğra Akyol: Literature Review, Conceptualization, Data Curation, Methodology, Writing-original draft Emel Güven: Analysis, Methodology, Writing-review and editing Tamer Eren: Writing-review and editing

Çatışma Beyanı / Conflict of Interest

Yazarlar tarafından herhangi bir potansiyel çıkar çatışması beyan edilmemiştir.
No potential conflict of interest was declared by the authors.

Fon Desteği / Funding

Bu çalışmada herhangi bir resmi, ticari ya da kâr amacı gütmeyen organizasyondan fon desteği alınmamıştır.
Any specific grant has not been received from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Etik Standartlara Uygunluk / Compliance with Ethical Standards

Yazarlar tarafından, çalışmada kullanılan araç ve yöntemlerin Etik Kurul izni gerektirmediği beyan edilmiştir.
It was declared by the authors that the tools and methods used in the study do not require the permission of the Ethics Committee.

Etik Beyanı / Ethical Statement

Yazarlar tarafından bu çalışmada bilimsel ve etik ilkelere uyulduğu ve yararlanılan tüm çalışmaların kaynakçada belirtildiği beyan edilmiştir.
It was declared by the author(s) that scientific and ethical principles have been followed in this study and all the sources used have been properly cited.



Yazarlar, Verimlilik Dergisi'nde yayımlanan çalışmalarının telif hakkına sahiptirler ve çalışmaları CC BY-NC 4.0 lisansı altında yayımlanmaktadır.
The authors own the copyright of their works published in Journal of Productivity and their works are published under the CC BY-NC 4.0 license.

KAYNAKÇA

- Armutak Y. ve Bayındırlı A. (1995). "Gıdalarda Raf Ömrü Belirleme Yöntemleri". *The Journal of Food*, 20(4), 205-208.
- Arslan, R. ve Bircan, H. (2018). "Alternatif Sayısının Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Sonuçlarına Etkisi", *Bartın Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 9(18), 239-264.
- Arslan, B., E., Eren, T. ve Güven, E. (2023). "Afet Durumunda Arama Kurtarma Malzemelerinin Sevkiyatı İçin İnsansız Hava Araçlarının Seçimi". *Resilience*, 7(2), 293-303.
- Atça R. (2018). "Perakende Sektöründe Stok Yönetimi ve Alokasyon", Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Isparta.
- Ankara Ticaret Odası (2017), "Fire, Zayıt ve Randıman Oranları", <https://www.atonet.org.tr/hizmetlerimiz/fire--zayıt-ve-randi-man-oranlari-> (Erişim Tarihi: 23.06.2017).
- Bal, S. (2012). "Tedarik Zinciri Yönetiminde Envanter Modellerinin Önemi Üzerine Bir Uygulama", Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Bursa.
- Bayır, A. (2023). "Bozulabilir Ürünler İçin Soğuk Zincir Taşımacılığı ve Teslim Süresi Azaltma Seçenekleriyle Tedarik Politikası". Yüksek Lisans Tezi, İhsan Doğramacı Bilkent Üniversitesi, Ankara.
- Cecere, L., O'marah, K. ve Preslan, L. (2004). "Driven by Demand", *Supply Chain Management Review*, 8(8), 15-16.
- Dağdeviren, M. ve Eren, T. (2001). "Tedarikçi Firma Seçiminde Analitik Hiyerarşi Prosesi ve 0-1 Hedef Programlama Yöntemlerinin Kullanılması", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 16(1), 41-52.
- Danışan, T., Gümüş, G., Ercan, Z., Güven, E. ve Eren, T. (2022). "Türkiye'de Aşı Taşıma Sisteminde AHP ve TOPSIS Yöntemleri ile Taşıma Türü Seçimi", *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 36, 47-58.
- Değirmenci, A. ve Ayvaz, B. (2016). "Bulanık Ortamda TOPSIS Yöntemi ile Personel Seçimi: Katılım Bankacılığı Sektöründe Bir Uygulama", *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 15 (30), 77-93.
- Demir, Y. ve Keskin, M. E. (2023). "An Effective Heuristic for The Two-Level Vendor-Managed Inventory Problem İi a Supermarket Chain", *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 38(3), 1893-1906.
- Doğu, S. Ö. ve Akolaş, D. A. (2015). "Gıda Depolarında Gıda Kalite Sistemlerine Uygun Stok Yönetimi Sürecinin Geliştirilmesi", *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 33, 229-238.
- Eraslan, E. ve Algün, O. (2013). "İdeal Performans Değerlendirme Formu Tasarımında Analitik Hiyerarşi Yöntemi Yaklaşımı", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 20(1). 95-106.
- Erik, U. (2019). "Restoran İşletmelerinde Gıda İsrafının Önlenmesi ve İhtiyaç Fazlası Yemeğin Değerlendirilmesine Yönelik Bir Mobil Uygulama Modelinin Geliştirilmesi: LUSE", Necmettin Erbakan Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya.
- Erol, E., Özcan, E. ve Eren, T. (2021). "Elektrik Üretim Santrallerinde İş Güvenliği Uzmanı Seçiminde Hibrit Bir Karar Modeli", *Journal of Turkish Operations Management*, 5(1), 615-629.
- İrmiş, A., Demirel, A. ve Mengüloğlu, M.A. (2023). "Porter'in Jenerik Rekabet Stratejilerinin Ürün ve Süreç Açısından Analizi: Zincir Marketler Örneği", *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 57, 59-80.
- Kaneti H. (2014), "Gelişmiş Ülkelerde Gerçekleşen Gıda İsrafının Açlık ve Yoksulluğa Etkisi", http://www.mbmtr.org/uploads/1/7/9/4/17943871/gk7_1_harunkaneti.pdf. (Erişim tarihi: Aralık 2016).
- Karagiannidis A., Papageorgiou A., Perkoulidis G., Sanida G. ve Samaras P. (2010), "A Multi-Criteria Assessment of Scenarios On Thermal Processing of Infectious Hospital Wastes: A Case Study For Central Macedonia", *Waste Management*, 30(2), 251-262.
- Kaya, N. (2004). "Etkin Stok Yönetimi ve Türkiye'de Bir Uygulama", Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Erzurum.
- Kaya, N. (2020). "Stok Yönetimi", İksad Yayınevi, Erzurum.
- Kazak, H. (2018), "Perakende (Süpermarket) Sektöründe Tedarik ve Satın Alma Fonksiyonlarının Bilişim Teknolojileri Yardımıyla Gelişimi ve Endüstri 4.0 Tabanlı Çözüm Modeli", *2th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT) 2018*, 19-21 Ekim 2018, Ankara, 39-48.
- King A. W. (2007). "Disentangling Interfirm and Intrafirm Causal Ambiguity: A Conceptual Model of Causal Ambiguity and Sustainable Competitive Advantage", *Academy of Management Review*, 32(1), 156-178.
- Kutlu B., Abalı Y. ve Eren T., (2012), "Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri ile Seçmeli Ders Seçimi" *Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 2.2,5-25.
- Myers J. H. ve Alpert, M. I., (1968). "Determinant Buying Attitudes: Meaning and Measurement," *Journal of Marketing*, 32(4), 13-20.
- Ömürbek, V. (2003). "Kurumsal Kaynak Planlamasında Muhasebe Bilgi Sisteminin Rolü: Gıda Sektöründe Uygulama", Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Isparta.

- Özbek, A. ve Eren, T. (2013). "Çok Ölçütlü Karar Verme Teknikleri ile Hizmet Sağlayıcı Seçimi", *Akademik Bakış Dergisi*, 36, 1-22.
- Prahalad, C.K. and Ramaswamy, V. (2000). "Co-opting Customer Competence" *Harvard Business Review*, 78, 79-90.
- Saaty, T.L. (1977). "A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures". *Journal of Mathematical Psychology*, 15, 234-281.
- Saaty, T.L. (1980). "The Analytic Hierarchy Process", McGraw-Hill, New York.
- Saaty, T.L. (1994). "How To Make A Decision: The Analytic Hierarchy Process", *University of Pittsburg*. 24(6), 19-43.
- Saaty T.L. (2008), "Relative Measurement and Its Generalization in Decision Making Why Pairwise Comparisons Are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors the Analytic Hierarchy/Network Process", *Review of the Royal Spanish Academy of Sciences Series A Mathematics*, 102(2), 251-318.
- Sarı, T., Evyapan, Ş., Özkulbur, R. S., Avcı, İ., ve Gökçil, G. (2023). Covid-19 Sonrası Süt ve Süt Ürünleri Tedarik Zincirinde Verimliliği Etkileyen Faktörler. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 26(2), 425-435.
- Sultanoğlu, E. ve Yavuz, V.A. (2023). "Bölgesel Tedarik Zincirinde Meyve-Sebze Perakendeciliği Sorunları ve Lojistik Faaliyetlerine Etkisi: Hatay İli Örneği", *Sosyal, Beşerî ve İdari Bilimler Dergisi*, 6(7), 876-896.
- Şeker kaya, A. ve Cengiz, E. (2011). "Tüketicilerin Perakende Market Zincirlerine Yönelik Yapmış Oldukları Satın Alma Sıklıklarına Göre Bölümlendirilmesi", *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 24(2), 73-99.
- Tanrıverdi, Y. (2010). "Tedarik Zinciri ve Stok Yönetimi Üzerine Bir Uygulama", Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Denizli.
- Top A. (2006). "Üretim Yönetimi", Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
- Tümenbatur, A. (2022). "Sürdürülebilir Gıda Sistemleri Kapsamında Soğuk Zincir Lojistiğinin Değerlendirilmesi", *Five Zero*, 2(1), 35-47.
- Ürencik, C. (2015). "Stok Yönetiminde Çok Kriterli ABC Analizi", Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Wang H.S., Che Z.H. ve Wu, C. (2010), "Using Analytic Hierarchy Process and Particle Swarm Optimization Algorithm for Evaluating Product Plans", *Expert Systems with Applications*, 37(2), 1023–1034.
- Yamak, O. (2007). "Üretim Yönetimi Sistemsel Bir Yaklaşım", (5. Baskı), Türkmen Kitabevi, İstanbul.
- Yaşaran, E. (2009). "Tüm Yönleriyle Fire ve Zayıflar", *Vergi Raporu*.

Entelektüel Sermaye Performansının CRITIC ve Gri İlişkisel Analiz Yöntemi ile Ölçülmesi: Metal Eşya Sektörü Örneği*

Neilan Soylu¹ , Abdul Khair Zafari² 

ÖZET

Amaç: Günümüzde entelektüel sermaye işletmeler için stratejik bir kaynak haline gelmiştir. Entelektüel sermayesini yatırımlarla büyüten ve etkin yöneten işletmeler rekabet avantajı sağlayabilmekte ve piyasa değerlerini artırebilmektedirler. Bu nedenle, işletmelerde entelektüel sermayenin etkin yönetimi ve performansı giderek önemini artıran bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu bağlamda çalışmada işletmelerde entelektüel sermaye performansının çok kriterli karar verme yöntemleri ile ölçülmesi ve değerlendirilmesi amaçlanmaktadır.

Yöntem: Çalışma Borsa İstanbul'da kote Metal Eşya Makine Elektrikli Cihazlar ve Ulaşım Araçları sektöründe faaliyet gösteren işletmeler üzerine gerçekleştirilmiştir. Entelektüel sermaye performans kriterleri; çalışan sayısı (maliyet), Ar-Ge giderleri (maliyet), pazarlama giderleri (maliyet), kullanılan sermaye (maliyet), PD-DD farkı (fayda) ve net satışlar (fayda) şeklinde belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan veriler, işletmelerin 2016-2020 yıllarına ait finansal tablo ve dipnotları ile yıllık faaliyet raporlarından elde edilmiştir. Verilerin analizinde, önce CRITIC yöntemi aracılığıyla kriter ağırlıkları belirlenmiş, sonra Gri İlişkisel Analiz yöntemi kullanılarak işletmelerin performans sıralamaları elde edilmiştir.

Bulgular: Analiz sonuçlarına göre 2016 yılı hariç, tüm yıllarda entelektüel sermaye performans sıralamasında ilk sırada FROTO işletmesinin yer aldığı görülmüştür. Genel olarak, sonuçlar çalışmanın kapsadığı dönem boyunca işletmelerin entelektüel sermaye performans sıralamalarının fazla değişkenlik göstermediğini ortaya koymuştur.

Özgünlük: Bu çalışma işletmelerin entelektüel sermaye performansının çok kriterli karar verme yöntemlerinden CRITIC tabanlı Gri İlişkisel Analiz yöntemleriyle ölçülmesi bakımından özgün değer taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Entelektüel Sermaye, Performans, CRITIC, Gri İlişkisel Analiz.

JEL Kodları: E22, M40, L25, O34.

Measuring Intellectual Capital Performance Employing CRITIC and Gray Relational Analysis Method: The Case of Metal Products Sector

ABSTRACT

Purpose: Nowadays intellectual capital has become a strategic resource for businesses. Businesses that raise intellectual capital through investments and manage it efficiently can gain competitive advantage and increase their market value. For this reason, the efficient management and performance of intellectual capital in businesses is becoming an increasingly important issue. In this context, the study aims to measure and evaluate intellectual capital performance in businesses with multi-criteria decision-making methods.

Methodology: The study was carried on Metal Goods, Machinery, Electrical Devices and Transportation Vehicles sector businesses listed in Borsa Istanbul. Intellectual capital performance criteria were determined as the number of employees (cost), R&D expenses (cost), marketing expenses (cost), capital used (cost), PD-DD difference (benefit) and net sales (benefit). The data used in the study was obtained from the financial statements, footnotes and annual activity reports of the businesses for the years 2016-2020. In the analysis of the data, first the criteria weights were determined through the CRITIC method, afterwards the performance rankings of the enterprises were obtained using the Gray Relational Analysis method.

Findings: According to the analysis results FROTO company ranked first in the intellectual capital performance ranking in all years excepting 2016. In general, the results revealed that the intellectual capital performance rankings of enterprises did not vary excessively in the period covered by the study.

Originality: This study has unique value in terms of measuring the intellectual capital performance of businesses with CRITIC-based Gray Relational Analysis methods, one of the multi-criteria decision-making methods.

Keywords: Intellectual Capital, Performance, CRITIC, Gray Relational Analysis.

JEL Codes: E22, M40, L25, O34.

* Bu çalışma, Abdul Khair ZAFARİ tarafından Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nde Dr. Öğr. Üyesi Neilan SOYLU danışmanlığında yürütülen "Entelektüel Sermaye Unsurlarına Dayalı Bir Performans Ölçümü: Borsa İstanbul'da Bir Uygulama" başlıklı Yüksek Lisans Tezi'nden türetilmiştir.

¹ Karabük Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Girişimcilik Bölümü, Karabük, Türkiye

² Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük, Türkiye

Sorumlu Yazar-Corresponding Author: Neilan Soylu, neilansoylu@karabuk.edu.tr

DOI: 10.51551/verimlilik.1404849

Araştırma Makalesi / Research Article | Geliş / Submitted: 14.12.2023 | Kabul / Accepted: 26.03.2024

Atıf/Cite: Soylu, N. ve Zafari, A.K. (2024). "Entelektüel Sermaye Performansının CRITIC ve Gri İlişkisel Analiz Yöntemi ile Ölçülmesi: Metal Eşya Sektörü Örneği", *Verimlilik Dergisi*, 58(2), 247-262.

EXTENDED ABSTRACT

In the last decades, being recognized as a strategic resource for corporate success and value creation, intellectual capital has gained priority for businesses operating in a fiercely competitive environment (Akgün and Günay, 2021). Accordingly, businesses' intellectual capital and their performances to convert intellectual capital investments into value has become a great interest for investors and other market participants gaining gradually more importance in their decision making process (Zeghal and Maaloul, 2010; Yalama and Coşkun, 2007; Zaverbiaeva, 2016).

The efficiency and the performance of intellectual capital has been intensively addressed in the literature, particularly since Pulic (2004) introduced the Value Added Intellectual Coefficient (VAIC) model. More recently, as multi-criteria decision making (MCDM) approaches have been claimed to be more suitable to capture complex features of intellectual capital, researchers have started to adopt this perspective to assess performance (Lee and Wong, 2019). However, in Türkiye, despite the widespread use of MCDM in performance measurement, little research has been conducted from the perspective of intellectual capital. Within this frame, this study aims to measure and evaluate intellectual capital performance in businesses with MCDM methods.

The study has been conducted on a sample of 21 companies operating in Metal Goods, Machinery, Electrical Devices and Transportation Vehicles sector, which are listed in Borsa Istanbul. The sector is particularly suitable for the purpose of the study as a large proportion of value-added created by Turkish manufacturing industry originates from this sector. Since value creation in this sector is largely determined by R&D investments and innovative processes/activities, intellectual capital and its performance/efficiency is of high relevance for business belonging to the sector. In the study, intellectual capital performance criteria have been selected as to reflect intellectual capital components' contribution in the value creation process. The performance evaluation model consists of four cost criteria (i.e. number of employees, marketing expenses, R&D expenses, capital employed as proxies for main dimensions of intellectual capital) and two benefit criteria (Net sales and Market value (MV)-Book Value (BV)). The data covering the period between 2016 and 2020 was obtained from the companies' financial statements and annual activity reports available on Public Disclosure Platform (PDP). The weight levels of the criteria have been determined employing CRITIC method, which provides an objective weighting perspective by taking into account the interrelations between criteria. Consequently, performance rankings of the enterprises were obtained by using Gray Relational Analysis method.

The weighting process computed with the CRITIC method revealed that criteria with the highest weights were Net Sales, MV-BV and R&D expenses, respectively. According to Gray Relational analysis results, FROTO company ranked first in the intellectual capital performance ranking for all the covered period excepting 2016. In general, the results revealed that the intellectual capital performance rankings of enterprises did not vary excessively over the period covered by the study.

The importance order of the objective weights generated by CRITIC method remained consistent across the period covered suggesting that while benefit criteria had the highest weights, the most relevant cost criterion in the value creation process is R&D expense. The high weight of R&D expenses highlights the significance of this factor in value creation process, reflecting the structural characteristics of the sector. The ranking results obtained by Gray Relational Analysis provide valuable information about both the potential of the best performing companies to transform intellectual resources into value by using them efficiently and the capability to maintain their relative performance over time. Based on study results businesses operating in the sector are encouraged to support their R&D activities with adequate human capital investments and relational capital development efforts, and try to design optimum combinations among intellectual capital components. Further, given the investors' interest in intellectual capital (Zaverbiaeva, 2016), more information disclosure on intellectual capital creation and its management would be beneficial. This article considered a limited number of companies operating in a specific sector and covered a period of five years. Future research on different sectors employing different intellectual capital metrics would provide valuable contribution to the field allowing to better appraise the efficiency of intellectual resources in the value creation process.

1. GİRİŞ

Günümüz bilgi yoğun ekonomilerinde entelektüel sermaye başarının ve değer yaratmanın temelinde yer almaktadır. İnsan sermayesi, araştırma geliştirme (Ar-Ge), müşteriler ile ilişkiler gibi entelektüel sermaye unsurlarını önceliklendiren ve bilgiye dayalı kaynaklarını verimli yönetebilen işletmeler rekabette ön plana çıkabilmekte ve değer maksimizasyonu hedeflerine doğru daha hızlı ilerleyebilmektedirler (Akgün ve Günay, 2021). Bu nedenle, işletmelerin entelektüel sermaye yönetiminde gösterdiği performans piyasa katılımcıları için giderek önemini artırmakta ve finansal karar verme sürecini etkileyen faktörler arasında her geçen gün ağırlık kazanmaktadır (Zeghal ve Maaloul, 2010; Yalama ve Coskun, 2007; Zavertiaeva, 2016).

Entelektüel sermaye, işletmenin iç yapı ve dış yapı unsurlarıyla insan yeteneklerinin birleşimiyle ortaya çıkan (Sveiby, 1997) bilgi, enformasyon, entelektüel mülkiyet ile deneyimler birikimi olarak tanımlanmaktadır (Stewart, 1997:ix.-x). Bu alana yeterli yatırım yapıldığında ve doğru stratejiler kullanıldığında bir kaldıraç etkisi yaratılabilmekte, bunun sonucunda firmanın nakit akışları olumlu etkilenmekte ve firma değeri yükselmektedir (Sullivan ve Sullivan, 2000). Molodchick ve diğerleri (2012) entelektüel sermayenin değere dönüşüm mekanizmasını bir girdi – çıktı – sonuç zinciri olarak tarif etmekte ve bu süreç içerisinde girdiler, işletmenin sahip olduğu entelektüel varlıklar ile bu varlıklara yapılan yatırımlar; çıktı, yapılan yatırımların performans göstergelerine yansımaları; sonuç ise, yatırımcılar ve firma sahipleri için yaratılan değer veya zenginlik şeklinde ifade edilmektedir. İşletmenin değer yaratımına katkıda bulunan maddi ve maddi olmayan unsurları optimum şekilde kombine etme ve yönetme yeteneği ise entelektüel sermaye performansı veya etkinliği olarak adlandırılmaktadır (İka ve Widagdo, 2021:203-204).

Literatürde entelektüel sermaye performansının/etkinliğinin değerlendirilmesinde çoğunlukla Ante Pulic (2004) tarafından geliştirilen Entelektüel Katma Değer Katsayısı (Value Added Intellectual Coefficient-VAIC) yönteminin kullanıldığı görülmektedir. Bununla birlikte, entelektüel sermayenin soyut, dinamik, çok boyutlu ve etkileşimli bir yapıda olması, son zamanlarda performans ölçümlerinde gelişmiş tekniklerin ön plana çıkmasına neden olmuştur (Lee ve Wong, 2019).

Bu çalışmanın temel amacı, işletmelerde entelektüel sermaye performansının çok kriterli karar verme yöntemleri ile değerlendirilmesi olarak belirlenmiştir. Bu amaç doğrultusunda, öncelikle Borsa İstanbul'da Metal Eşya Makine Elektrikli Cihazlar ve Ulaşım Araçları sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin finansal tabloları aracılığıyla entelektüel sermaye performans kriterleri belirlenmiş ve belirlenen kriterlerin ağırlıkları CRITIC yöntemi ile hesaplanmıştır. Daha sonra, Gri İlişkisel Analiz yöntemi kullanılarak işletmelerin performans ölçümü gerçekleştirilmiştir. Bu yönüyle çalışma, entelektüel sermaye performansının çok kriterli gelişmiş yaklaşımlar çerçevesinde değerlendirmesine olanak sağlaması bakımından özgün değer taşımaktadır.

Çalışma beş bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünün ardından, ikinci bölümde entelektüel sermaye performansının çok kriterli yaklaşımlarla ele alındığı çalışmalara ilişkin literatür taramasına yer verilmiştir. Çalışmanın üçüncü bölümünde veri seti ile CRITIC ve Gri İlişkisel Analiz yöntemleri açıklanmış, dördüncü bölümde ise elde edilen bulgular sunulmuştur. Son bölümde sonuç ve değerlendirmelere yer verilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Entelektüel sermaye performansının ölçülmesine yönelik yapılan çalışmalarda son zamanlarda çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanılmaya başlandığı görülmektedir (Lee ve Wong, 2019). Bu yöntemler arasında Veri Zarflama Analizinin araştırmacılar tarafından sıklıkla tercih edildiği dikkat çekmektedir. Çalışmalarda entelektüel sermaye unsurlarının finansal başarı göstergeleriyle ilişkisi ortaya konularak entelektüel sermaye etkinliği/performansı araştırılmaktadır. Wu ve diğerleri (2006), Tayvan'da faaliyet gösteren devre tasarım işletmelerinin entelektüel sermaye yönetim performansını değerlendirmiştir. Çalışmada çalışan sayısı, Ar-Ge harcamaları ve Ar-Ge çalışan sayısı, patent sayısı, entelektüel sermaye stoku (Hesaplanmış Maddi Olmayan Değer yöntemi ile hesaplanan), faaliyet giderleri girdi değişkenleri olarak kullanılmıştır. Net satışlar, dönem sonu entelektüel sermaye stoku ve entelektüel sermaye değişimi çıktı değişkenleri olarak belirlenmiştir. Analiz sonucunda ele alınan işletmelerin üçte birinin entelektüel sermayesini etkin kullandığı bulgusuna ulaşılmıştır. Yalama ve Coşkun (2007), aynı yöntemle bankacılık sektöründe entelektüel sermaye performansının karlılığa etkisini sınıamıştır. Çalışmada ayrıca üç ayrı portföy oluşturulmuş ve performansları karşılaştırılmıştır. Araştırmada elde edilen bulgular, entelektüel sermayeye dayalı portföyün en yüksek getiriye sağladığı göstermiştir. Lu ve diğerleri (2010), entelektüel sermaye performansını, entelektüel sermaye yaratma kabiliyeti ve entelektüel sermaye performansı olmak üzere, iki aşamalı bir model aracılığıyla araştırmıştır. Araştırmada girdi değişkenleri toplam borç, özsermaye, personel giderleri, yönetim giderleri, Ar-Ge giderleri, çıktı değişkenleri ise net satışlar, piyasa değeri -defter değeri farkı ve toplam gelir olarak modele dahil edilmiştir. Zakery ve Afrazeh (2015), İran sigorta sektörü işletmelerinin entelektüel sermayeye dayalı performanslarını sigorta sektörüne özgü

değişkenleri kullanarak iki aşamalı bir model yardımıyla ölçmüştür. Sigorta sektörü işletmelerinin entelektüel sermaye performansı üzerine diğer bir çalışma Nourani ve diğerleri (2018) tarafından gerçekleştirilmiştir. Venugopal ve diğerleri (2018) tarafından gerçekleştirilen çalışmada Hindistan'da faaliyet gösteren bir işletmenin 20 yıllık bir dönem için (1997-2016) entelektüel performans değerlendirilmesini yapmıştır. Çalışmada kullanılan girdiler VAIC modeliyle hesaplanan entelektüel sermaye bileşenleri, çıktılar ise aktif getirisi, özsermaye getiri, hisse başına kazanç ve piyasa değeri gibi finansal performans göstergeleri şeklinde belirlenmiştir. Soylu (2020), çalışmasında BİST teknoloji işletmelerinin gelir ve kar yaratma süreçlerinde entelektüel sermaye etkinliklerini araştırmıştır. Olohunlana ve diğerleri (2023), Nijerya ticari bankalarının entelektüel sermaye etkinliklerini ölçmüştür. Yapılan analiz sonucunda bankaların yaklaşık %92'sinin etkin olmadığı sonucuna varılmıştır.

Srivihok ve Intrapairote (2006), Tayland'da faaliyet gösteren KOBİ'lerin entelektüel sermaye performansını çok kriterli bir yaklaşımla ele almıştır. Chen ve Chen (2010), Tayvan hayat sigortası işletmelerinin entelektüel sermaye performanslarını DEMATEL, ANP VE VIKOR yöntemleri aracılığıyla ölçmüştür. Çalışmada öncelikle insan sermayesi, yapısal sermaye ve ilişkisel sermaye boyutlarına ilişkin 10 kriter belirlenmiş ve bu kriterler ANP metoduyla ağırlıklandırılmıştır. Daha sonra, kriterler ve ağırlıkları dikkate alınarak VIKOR yöntemi aracılığıyla işletmelerin performans sıralaması yapılmıştır. Wang ve diğerleri (2011), Tayvan Borsasında kote ilaç sektörü işletmelerinin entelektüel sermaye performansını Gri İlişkisel Analiz ve Malmquist Verimlilik Endeksi yöntemleriyle değerlendirmiştir. Çalışmada entelektüel sermaye göstergeleri maliyet ve fayda yönlü kriterler olarak belirlenmiş ve analiz sonucunda performans sıralamaları elde edilmiştir. Khodamoradi ve diğerleri (2014), DEMATEL ve PROMETHEE II yöntemlerini kullanarak Tahran Borsasında faaliyet gösteren sigorta şirketlerinin performanslarını değerlendirmiştir. Çalışmada, insan sermayesi, yapısal sermaye ve ilişkisel sermaye kriterleri ile karlılık, etkinlik, likidite ve mali yapı rasyoları birlikte analize tabi tutulmuştur. Akgün ve Günay (2021), Borsa İstanbul'da kote olan sağlık işletmelerinin entelektüel sermaye etkinliğini ELECTRE, MAPPAC, ORESTE, TOPSIS ve WSA olmak üzere 5 farklı çok kriterli karar verme yöntemi ile irdelemiştir. Çalışmada VAIC yöntemiyle hesaplanan entelektüel sermaye etkinlik katsayıları ile finansal performans rasyoları kullanılmıştır. Tamošiūnienė ve Sajavičiūtė (2022), Litvanya borsasına kote 9 işletmenin entelektüel sermaye performanslarını TOPSIS yöntemiyle analiz etmiştir. Çalışmada ayrıca işletmelerin yıllık getiri oranları hesaplanarak entelektüel sermaye performansı ile bir ilişki kurulmaya çalışılmıştır.

Yapılan literatür araştırması sonucunda işletmelerde entelektüel sermaye performansının çok kriterli yaklaşımlar çerçevesinde ele alındığı uluslararası çalışmaların sayısında son zamanlarda bir artış olduğu, gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, ulusal yazında bu alanda büyük bir boşluk bulunmaktadır. Bu noktada, bu çalışmanın literatürdeki eksiğin giderilmesine katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

3. VERİ ve METODOLOJİ

Çalışmada işletmelerde entelektüel sermaye performansının çok kriterli karar verme yöntemleri ile ölçülmesi ve değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Bu doğrultuda, Borsa İstanbul'da Metal Eşya Makine Elektrikli Cihazlar ve Ulaşım Araçları sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin finansal tablolarından yararlanılarak entelektüel sermaye performans kriterleri belirlenmiş ve belirlenen kriterlerin ağırlıkları CRITIC yöntemi ile hesaplanmıştır. Daha sonra, Gri İlişkisel Analiz yöntemi kullanılarak işletmelerin performans ölçümü gerçekleştirilmiştir.

3.1. Veri Seti ve Kapsam

Metal Eşya Makine sektöründe inovasyon ve Ar-Ge temelli faaliyetlerinin yoğunlukta olması nedeniyle entelektüel sermaye performansı kritik bir önem taşımaktadır. Bu husus sektörün seçilmesinde teşvik edici unsur olmuştur. Analize temel oluşturan veriler Kamuyu Aydınlatma Platformu aracılığıyla işletmelerin 2016-2020 dönemine ait yıllık finansal tablo ve dipnotlarından derlenmiştir. İşletmelerin piyasa değeri verisi Finnet veri tabanından temin edilmiştir. Analize ihtiyaç duyulan verilerden bazılarının (Ar-Ge giderleri, piyasa değeri) tüm işletmelerin finansal tablolarında yer almaması/ulaşılamaması veya bazı yıllarda eksik olması nedeniyle çalışma 5 yıllık bir zaman dilimi ve 21 işletme ile sınırlandırılmıştır. Çalışma kapsamına alınan işletmeler Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Çalışma kapsamına alınan işletmeler

No	Kısaltma	İşletme Adı
1	ALCAR	ALARKO CARRIER SANAYİ VE TİCARET A.Ş.
2	ASUZU	ANADOLU ISUZU OTOMOTİV SANAYİ VE TİCARET A.Ş.
3	ARCLK	ARÇELİK A.Ş.
4	DITAS	DİTAŞ DOĞAN YEDEK PARÇA İMALAT VE TEKNİK A.Ş.
5	EGEEN	EGE ENDÜSTRİ VE TİCARET A.Ş.
6	EMKEL	EMEK ELEKTRİK ENDÜSTRİSİ A.Ş.
7	FROTO	FORD OTOMOTİV SANAYİ A.Ş.
8	IHEVA	İHLAS EV ALETLERİ İMALAT SANAYİ VE TİCARET A.Ş.
9	JANTS	JANTSA JANT SANAYİ VE TİCARET A.Ş.
10	KARSN	KARSAN OTOMOTİV SANAYİ VE TİCARET A.Ş.
11	KATMR	KATMERCİLER ARAÇ ÜSTÜ EKİPMAN SANAYİ VE TİCARET A.Ş.
12	KLMSN	KLİMASAN KLİMA SANAYİ VE TİCARET A.Ş.
13	OTKAR	OTOKAR OTOMOTİV VE SAVUNMA SANAYİ A.Ş.
14	SAYAS	SAY YENİLENEBİLİR ENERJİ EKİPMANLARI SANAYİ VE TİCARET A.Ş.
15	SILVR	SİLVERLINE ENDÜSTRİ VE TİCARET A.Ş.
16	TOASO	TOFAŞ TÜRK OTOMOBİL FABRİKASI A.Ş.
17	PRKAB	TÜRK PRYSMIAN KABLO VE SİSTEMLERİ A.Ş.
18	TTRAK	TÜRK TRAKTÖR VE ZİRAAT MAKİNELERİ A.Ş.
19	ULUSE	ULUSOY ELEKTRİK İMALAT TAAHHÜT VE TİCARET A.Ş.
20	VESBE	VESTEL BEYAZ EŞYA SANAYİ VE TİCARET A.Ş.
21	VESTL	VESTEL ELEKTRONİK SANAYİ VE TİCARET A.Ş.

Kaynak: <https://www.kap.org.tr/Sektorler> (Erişim tarihi: 10.01.2022)

Entelektüel sermayenin maddi varlıklar gibi somut bir yapıya sahip olmaması, bu varlıklara ilişkin ölçüm sorununu da beraberinde getirmektedir (Yereli ve Gerşil, 2005; Lee ve Wong, 2019). Bu nedenle, entelektüel sermayeye ilişkin performans ölçümlerinde göstergelerin doğru seçilmesi büyük önem taşımaktadır (Campisi ve Costa, 2008). Literatürden elde edilen bilgiler doğrultusunda, çalışmada öncelikle entelektüel sermaye unsurlarına ilişkin göstergeler belirlenmiş ve fayda ve maliyet kriterleri olarak kullanılmıştır. Performans değerlendirilmesinde kullanılan kriterler Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Entelektüel sermaye performans kriterleri

Kriterler	Kaynak	Kriter yönü
Çalışan sayısı (X1)	Chang ve diğerleri (2013), Soylu (2020), Wang ve diğerleri (2011), Wu ve diğerleri (2006)	Min
Pazarlama giderleri (X2)	Chang ve diğerleri (2013), Soylu (2020)	Min
Ar-Ge giderleri (X3)	Chang ve diğerleri (2013), Lu ve diğerleri (2010), Molodchik ve diğerleri (2012), Wang ve diğerleri (2011), Wu ve diğerleri (2006)	Min
Kullanılan sermaye (X4)	Lu ve diğerleri (2010), Pulic (2004)	Min
PD-DD farkı (X5)	Lu ve diğerleri (2010), Topaloğlu ve Karakozak (2017)	Maks
Net satışlar (X6)	Chang ve diğerleri (2013), Lu ve diğerleri (2010), Wang ve diğerleri (2011)	Maks

Bu çalışmada işletmelerin entelektüel sermaye performansı, diğer bir deyişle entelektüel kaynaklarını verimli kullanma ve değere dönüştürme kabiliyeti ölçülmeye çalışıldığından, X1, X2, X3 ve X4 kriterleri maliyet yönlü, X5 ve X6 kriterleri fayda yönlü olarak belirlenmiştir.

3.2. Yöntem

Entelektüel sermayenin değere dönüşüm sürecinin pek çok faktörden etkilenen, kompleks bir mekanizma olduğu bilinmektedir (Molodchick ve diğerleri, 2012). Dolayısıyla, entelektüel sermaye performans ölçümünün çok kriterli bir karar verme problemi olduğu söylenebilir. Öte yandan bu problemin çözümünde seçilen kriterler, kriterlere atanan ağırlıklar ve kriterler arası ilişkiler büyük önem taşır. Bu nedenle, çalışmada entelektüel sermaye performans kriterlerinin önem düzeylerinin belirlenmesinde objektif bir ağırlıklandırma yöntemi olan CRITIC metodu tercih edilmiştir. Ağırlıklandırma işlemlerinin gerçekleştirilmesinden sonra Gri İlişkisel Analiz yöntemi aracılığıyla performans sıralamaları elde edilmiştir. Bu bölümde CRITIC ve Gri İlişkisel Analiz yöntemleri açıklanmıştır.

3.2.1. CRITIC Yöntemi

CRITIC Yöntemi, objektif bir kriter ağırlıklandırma yöntemi olarak Diakoulaki ve diğerleri (1995) tarafından geliştirilmiştir. Subjektif ağırlıklandırma yöntemlerinden farklı olarak CRITIC yöntemi, performans ölçümünde dikkate alınan her değerlendirme kriterine ilişkin içsel bilgiyi sayısallaştırarak kriterlerin önem derecelerinin belirlenmesini mümkün kılar (Diakoulaki ve diğerleri, 1995). CRITIC yöntemi aşağıda gösterildiği gibi birkaç adımdan oluşmaktadır (Alinezhad ve Khalili, 2019: 199-201; Diakoulaki ve diğerleri, 1995; Şenol ve Ulutaş, 2018; Uygurtürk ve Yetik, 2022: 387-388).

Birinci adımda başlangıç matrisi (X) oluşturulur. Bu matriste kriterleri gösteren sütunlar ve alternatiflerin sıralandığı satırlar Eşitlik 1'deki gibi ifade edilir. X matrisinde m satır sayısını, n kriter sayısını göstermektedir.

$$X = [x_{ij}]_{m \times n} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad i = 0, 1, \dots, m \quad j = 1, \dots, n \quad (1)$$

İkinci adımda kriterlerin fayda ve maliyet özelliklerine göre Eşitlik 2 veya Eşitlik 3 kullanılarak normalizasyon işlemi gerçekleştirilir.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \quad (2)$$

$$r_{ij} = \frac{x_j^{\max} - x_{ij}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \quad (3)$$

Üçüncü aşamada Eşitlik 4 yardımıyla kriterler arası korelasyon katsayıları (ρ_{jk}) hesaplanır.

$$\rho_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_j)(r_{ik} - \bar{r}_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_j)^2 \sum_{i=1}^m (r_{ik} - \bar{r}_k)^2}} \quad j, k = 1, \dots, n \quad (4)$$

Sonraki aşamada C_j değeri Eşitlik 5 yardımıyla hesaplanır.

$$C_j = \sigma_j \sum_{k=1}^n (1 - \rho_{jk}) \quad j = 1, \dots, n \quad (5)$$

Bu formülde yer alan σ_j değeri ise j . kriterinin standart sapmasını göstermekte ve Eşitlik 6'da gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_j)^2}{m}} \quad (6)$$

Son adımda performans kriterlerinin ağırlıkları (w_j) Eşitlik 7 yardımıyla hesaplanır.

$$w_j = \frac{C_j}{\sum_{k=1}^n C_k} \quad j, k = 1, \dots, n \quad (7)$$

3.2.2. Gri İlişkisel Analiz (GİA) Yöntemi

GİA, Deng (1982) tarafından geliştirilen Gri Sistem Teorisine (GST) dayanan bir derecelendirme, sınıflama ve karar verme yöntemidir (Yıldırım, 2015). Zayıf veya eksik bilgi, faktörler arası karmaşık ilişkilerin var olduğu çok kriterli problemlerin çözümüne bir alternatif olarak geliştirilen GİA (Kuo ve diğerleri, 2008), referans bir seri ile alternatif seriler arasında benzerliğin ölçümüne dayanır (Hamzaçebi ve Pekkaya, 2011). GİA yönteminin uygulanması aşağıda gösterilen birkaç adımdan oluşmaktadır (Ecer ve Günay, 2014; Hamzaçebi ve Pekkaya, 2011; Peker ve Baki, 2011; Uygurtürk ve Yıldız, 2021; Yıldırım, 2015:232-235).

GİA yönteminin birinci adımında diğer ÇKKV yöntemlerinde olduğu gibi önce alternatifler (m) ve kriterler (n) belirlenir sonrasında karar matrisi (X) oluşturulur (Eşitlik 8).

$$X = \begin{bmatrix} x_1(1) & x_1(2) & \cdots & x_1(n) \\ x_2(1) & x_2(2) & \cdots & x_2(n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_m(1) & x_m(2) & \cdots & x_m(n) \end{bmatrix} \quad (8)$$

Eşitlik 8'de gösterilen karar matrisinde x_i 'ler alternatifleri, $x_i(j)$ 'ler alternatiflerin her bir kriter için aldığı değerleri ifade etmektedir. İkinci adımda Eşitlik (9)'da gösterildiği gibi referans seri oluşturulur.

$$X_0 = [x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(n)] \quad (9)$$

Eşitlik 9'da n toplam kriter sayısını, x_0 ise her bir kriter için en uygun (hedef) değeri göstermektedir. X_0 referans serisi Eşitlik 8'de gösterilen matrise ilk satır olarak eklenir ve bu şekilde karşılaştırma matrisi elde edilmiş olur.

Üçüncü adımda verilerin normalizasyonu yapılarak farklı ölçü birimlerinden arındırılması sağlanmaktadır. Gri ilişkisel oluşum olarak da adlandırılan bu işlem, problemin özelliğine göre kriterlerin fayda, maliyet ve optimumluk durumlarına göre 3 farklı yöntemle yapılabilir (Eşitlik 10-12).

$$\text{Fayda durumunda (kriterin en yüksek değeri isteniyorsa): } x_i^* = \frac{x_i - \min_j x_i(j)}{\max_j x_i(j) - \min_j x_i(j)} \quad (10)$$

$$\text{Maliyet durumu (kriterin en düşük değeri isteniyorsa): } x_i^* = \frac{\max_j x_i(j) - x_i(j)}{\max_j x_i(j) - \min_j x_i(j)} \quad (11)$$

$$\text{Optimallik durumu (kriterin optimal değer alması isteniyorsa): } x_i^* = \frac{|x_i(j) - x_{0b}(j)|}{\max_j x_i(j) - x_{0b}(j)} \quad (12)$$

Eşitlik 12'de $x_{0b}(j)$, j . kriter için belirlenen hedef değerdir.

Normalizasyon işlemlerinin gerçekleştirilmesinden sonra X matrisi normalleştirilmiş değerlerle yeniden düzenlendiğinde X^* ile gösterilir.

$$X^* = \begin{bmatrix} x_1^*(1) & x_1^*(2) & \dots & x_1^*(n) \\ x_2^*(1) & x_2^*(2) & \dots & x_2^*(n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_m^*(1) & x_m^*(2) & \dots & x_m^*(n) \end{bmatrix} \quad (13)$$

Sonraki adımda referans değer (x_0^*) ile diğer değerler (x_i^*) arasındaki fark alınarak mutlak değer tablosu oluşturulur.

$$\Delta_{0i} = |x_0^*(j) - x_i^*(j)| = \begin{bmatrix} \Delta_{01}(1) & \Delta_{01}(2) & \dots & \Delta_{01}(n) \\ \Delta_{02}(1) & \Delta_{02}(2) & \dots & \Delta_{02}(n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \Delta_{0m}(1) & \Delta_{0m}(2) & \dots & \Delta_{0m}(n) \end{bmatrix} \quad (14)$$

Beşinci adımda gri ilişkisel katsayı matrisi oluşturulur. Bu matrisin elemanları Eşitlik 15 yardımıyla hesaplanır.

$$\gamma_{0i}(j) = \frac{\Delta_{min} + \zeta \Delta_{max}}{\Delta_{0i}(j) + \zeta \Delta_{max}} \quad (15)$$

Eşitlik 15'te ζ katsayısı, ayırıcı katsayı olarak işlev görmektedir ve $[0, 1]$ aralığında değerler alır.

GİA son adımında gri ilişkisel dereceler hesaplanır. Bu adımda, kriterlerin eşit öneme sahip olması ya da farklı ağırlıklara sahip olması durumuna göre iki yöntem izlenebilir. Kriterler eşit öneme sahip ise Eşitlik 16'dan yararlanılır. Kriterlerin farklı ağırlıklara (w_i) sahip olduğu durumlarda Eşitlik 17 kullanılır.

$$\Gamma_{0i} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \gamma_{0i}(j) \quad (16)$$

$$\Gamma_{0i} = \sum_{j=1}^n [w_i(j) \cdot \gamma_{0i}(j)] \quad (17)$$

Gri ilişkisel dereceler hesaplandıktan sonra değerler büyükten küçüğe doğru sıralanır. Gri ilişkisel derece, bir seri (x_i^*) ile referans serisi (x_0^*) arasındaki benzerliği göstermektedir; bu nedenle, yüksek bir gri ilişkisel derece iki seri arasında kuvvetli bir ilişkinin varlığına işaret eder (Yıldırım, 2015:235). Bu durumda, en yüksek dereceye sahip alternatifin en iyi alternatif olduğuna karar verilir.

4. BULGULAR

Çalışma iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada, entelektüel sermaye performansının değerlendirilmesine ilişkin kriterler her bir yıl için ayrı ayrı CRITIC yöntemiyle çözümlenerek, kriterlerin ağırlıkları tespit edilmiştir. İkinci aşamada, hesaplanan ağırlık katsayıları Gri İlişkisel Analiz yöntemine entegre edilerek firmaların performans sıralamaları elde edilmiştir.

4.1. CRITIC Yönteminin Uygulanması Sonucu Elde Edilen Bulgular

Analiz kapsamına alınan işletmelerin 2016-2020 dönemine ilişkin yıllık mali tablolarından derlenen veriler her bir yıl için ayrı ayrı analize tabi tutulmuştur. Analiz sürecine örnek teşkil etmesi bakımından 2020 yılına ait verilerle gerçekleştirilen uygulamanın adımları detaylı gösterilmiştir.

CRITIC yönteminin uygulanması karar matrisinin oluşturulmasıyla başlar. Tablo 3'te 2020 yılına ait karar matrisi gösterilmiştir. Karar matrisinde performans ölçümü yapılacak alternatifler satırlarda ve entelektüel sermaye değerlendirme kriterleri sütunlarda yer almaktadır.

Tablo 3. Karar matrisi (2020 yılı)

İşletmeler	Kriterler					
	X1 (min)	X2 (min)	X3 (min)	X4 (min)	X5 (maks)	X6 (maks)
ALCAR	613	91.859.764	13.493.340	501.612.908	3.487.540.229	790.625.348
ASUZU	847	84.011.758	3.639.463	898.439.380	936.853.471	1.241.213.253
ARCLK	33.827	7.469.259.000	318.211.000	22.722.128.000	6.518.291.432	40.872.483.000
DITAS	341	11.130.496	4.213.851	47.748.273	297.306.004	140.625.861
EGEEN	516	13.721.597	4.976.863	730.458.878	4.865.479.033	509.913.739
EMKEL	212	9.375.675	1.584.303	115.276.742	101.551.940	103.215.877
FROTO	12.517	843.565.000	459.451.000	11.868.398.000	37.170.758.000	49.451.407.000
IHEVA	375	7.114.190	1.189.491	461.112.431	228.698.974	371.652.954
JANTS	947	43.269.933	2.719.615	395.742.999	3.307.989.998	689.216.930
KARSN	1.073	76.453.000	10.258.000	1.612.238.000	2.196.834.000	1.560.367.000
KATMR	402	29.010.794	1.117.061	795.630.951	429.887.513	353.082.258
KLMSN	1.834	69.398.321	8.140.353	887.861.949	330.364.558	978.280.732
OTKAR	2.258	382.208.000	87.325.000	2.207.491.000	6.634.257.000	2.908.711.000
SAYAS	194	3.919.330	1.629.851	46.897.222	184.000.858	151.666.873
SILVR	925	278.821	5.760.768	80.653.740	334.169.180	558.866.638
TOASO	6.943	480.225.000	75.997.000	8.594.887.000	12.491.389.000	23.556.747.000
PRKAB	520	86.315.711	4.651.103	426.024.585	2.218.911.978	1.802.184.466
TTRAK	2.834	204.493.061	39.482.108	2.566.985.428	8.309.349.863	6.243.308.297
ULUSE	869	14.170.708	1.031.192	411.704.559	3.707.492.786	660.957.685
VESBE	9.210	118.022.000	78.866.000	3.771.316.000	4.405.435.000	9.409.285.000
VESTL	18.864	2.328.754.000	335.131.000	9.954.130.000	-360.824.849	21.546.180.000

Tablo 3'te gösterilen değerlere Eşitlik 2 ve 3'ten yararlanılarak normalizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Normalize değerlerin yer aldığı matris Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4. Normalize matris (2020 yılı)

İşletmeler	X1 (min)	X2 (min)	X3 (min)	X4 (min)	X5 (maks)	X6 (maks)
ALCAR	0,9875	0,9877	0,9728	0,9799	0,1025	0,0139
ASUZU	0,9806	0,9888	0,9943	0,9624	0,0346	0,0231
ARCLK	0,0000	0,0000	0,3081	0,0000	0,1833	0,8262
DITAS	0,9956	0,9985	0,9931	1,0000	0,0175	0,0008
EGEEN	0,9904	0,9982	0,9914	0,9699	0,1393	0,0082
EMKEL	0,9995	0,9988	0,9988	0,9970	0,0123	0,0000
FROTO	0,6336	0,8871	0,0000	0,4787	1,0000	1,0000
IHEVA	0,9946	0,9991	0,9997	0,9817	0,0157	0,0054
JANTS	0,9776	0,9942	0,9963	0,9846	0,0978	0,0119
KARSN	0,9739	0,9898	0,9799	0,9310	0,0681	0,0295
KATMR	0,9938	0,9962	0,9998	0,9670	0,0211	0,0051
KLMSN	0,9512	0,9907	0,9845	0,9629	0,0184	0,0177
OTKAR	0,9386	0,9489	0,8118	0,9047	0,1864	0,0569
SAYAS	1,0000	0,9995	0,9987	1,0000	0,0145	0,0010
SILVR	0,9783	1,0000	0,9897	0,9985	0,0185	0,0092
TOASO	0,7993	0,9357	0,8365	0,6230	0,3424	0,4753
PRKAB	0,9903	0,9885	0,9921	0,9833	0,0687	0,0344
TTRAK	0,9215	0,9727	0,9161	0,8889	0,2310	0,1244
ULUSE	0,9799	0,9981	1,0000	0,9839	0,1084	0,0113
VESBE	0,7319	0,9842	0,8302	0,8357	0,1270	0,1886
VESTL	0,4449	0,6882	0,2712	0,5631	0,0000	0,4345

CRITIC yönteminin sonraki aşamasında kriterler arası korelasyon katsayıları Eşitlik 4 yardımıyla hesaplanmıştır. Hesaplama sonucu elde edilen değerlere Tablo 5'te yer verilmiştir.

Tablo 5. Korelasyon matrisi (2020 yılı)

	X1	X2	X3	X4	X5	X6
X1	1,0000	0,9341	0,8171	0,9662	-0,3064	-0,8281
X2	0,9341	1,0000	0,6368	0,9012	-0,1235	-0,6729
X3	0,8171	0,6368	1,0000	0,8452	-0,6804	-0,9325
X4	0,9662	0,9012	0,8452	1,0000	-0,4770	-0,9149
X5	-0,3064	-0,1235	-0,6804	-0,4770	1,0000	0,7630
X6	-0,8281	-0,6729	-0,9325	-0,9149	0,7630	1,0000

Son aşamada Eşitlik 5 ve 6 yardımıyla C_j değerleri hesaplanmış ve Eşitlik 7 aracılığıyla kriter ağırlıkları tespit edilmiştir. İşlemlere ilişkin sonuçlar Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6. Standart sapma, C_j değeri ve kriter ağırlıkları (2020 yılı)

	X1	X2	X3	X4	X5	X6
σ_j	0,2463	0,2223	0,2865	0,2485	0,2172	0,2867
C_j	0,8416	0,7388	1,2359	0,9141	1,2651	2,1745
W_j	0,1174	0,1030	0,1724	0,1275	0,1764	0,3033

Tablo 6'da 2020 yılında işletmelerin entelektüel sermaye performansını belirleyen kriterlerin ağırlıkları gösterilmektedir. Seçilen kriterler arasında Net satışlar kriteri (X6) 0,3033 önem ağırlığıyla ve PD-DD (X5) 0,1764 önem ağırlığıyla, Ar-Ge giderleri (X3) 0,1724 gibi kriterler en fazla ağırlığa sahip olduğu ortaya çıkmıştır.

2020 yılı için ayrıntılı gösterilen CRITIC yönteminin adımları 2016-2019 yılları için de uygulanmış, hesaplamalar sonucu elde edilen ağırlık değerleri Tablo 7'de sunulmuştur.

Tablo 7. Kriter ağırlıkları (2016-2020)

Yıllar	X1	X2	X3	X4	X5	X6
2020	0,1174	0,1030	0,1724	0,1275	0,1764	0,3033
2019	0,1182	0,1041	0,1730	0,1193	0,1897	0,2956
2018	0,1205	0,1059	0,1752	0,1239	0,1686	0,3058
2017	0,1157	0,1024	0,1504	0,1316	0,2187	0,2812
2016	0,1179	0,1030	0,1275	0,1295	0,2500	0,2720

4.2. Gri İlişkisel Analiz Bulguları

Kriter ağırlıklarının CRITIC yöntemiyle belirlenmesinde sonra Gri İlişkisel Analiz adımları her bir yıl için uygulanmıştır. 2020 yılına ilişkin analiz süreci aşağıdaki tablolarda ayrıntılı sunulmuştur. Gri İlişkisel Analiz yönteminin birinci adımında CRITIC yönteminde olduğu gibi karar matrisi Tablo 3'teki gibi oluşturulmuştur. İkinci adımda referans serisi ve karşılaştırma matrisi oluşturulmuş ve Tablo 8'de gösterilmiştir.

Tablo 8. GİA Referans serisi ve karşılaştırma matrisi

	X1 (min)	X2 (min)	X3 (min)	X4 (min)	X5 (maks)	X6 (maks)
Referans	194	278.821	1.031.192	46.897.222	37.170.758.000	49.451.407.000
ALCAR	613	91.859.764	13.493.340	501.612.908	3.487.540.229	790.625.348
ASUZU	847	84.011.758	3.639.463	898.439.380	936.853.471	1.241.213.253
ARCLK	33.827	7.469.259.000	318.211.000	22.722.128.000	6.518.291.432	40.872.483.000
DITAS	341	11.130.496	4.213.851	47.748.273	297.306.004	140.625.861
EGEEN	516	13.721.597	4.976.863	730.458.878	4.865.479.033	509.913.739
EMKEL	212	9.375.675	1.584.303	115.276.742	101.551.940	103.215.877
FROTO	12.517	843.565.000	459.451.000	11.868.398.000	37.170.758.000	49.451.407.000
IHEVA	375	7.114.190	1.189.491	461.112.431	228.698.974	371.652.954
JANTS	947	43.269.933	2.719.615	395.742.999	3.307.989.998	689.216.930
KARSN	1.073	76.453.000	10.258.000	1.612.238.000	2.196.834.000	1.560.367.000
KATMR	402	29.010.794	1.117.061	795.630.951	429.887.513	353.082.258
KLMSN	1.834	69.398.321	8.140.353	887.861.949	330.364.558	978.280.732
OTKAR	2.258	382.208.000	87.325.000	2.207.491.000	6.634.257.000	2.908.711.000
SAYAS	194	3.919.330	1.629.851	46.897.222	184.000.858	151.666.873
SILVR	925	278.821	5.760.768	80.653.740	334.169.180	558.866.638
TOASO	6.943	480.225.000	75.997.000	8.594.887.000	12.491.389.000	23.556.747.000
PRKAB	520	86.315.711	4.651.103	426.024.585	2.218.911.978	1.802.184.466
TTRAK	2.834	204.493.061	39.482.108	2.566.985.428	8.309.349.863	6.243.308.297
ULUSE	869	14.170.708	1.031.192	411.704.559	3.707.492.786	660.957.685
VESBE	9.210	118.022.000	78.866.000	3.771.316.000	4.405.435.000	9.409.285.000
VESTL	18.864	2.328.754.000	335.131.000	9.954.130.000	-360.824.849	21.546.180.000

Sonraki aşamada normalizasyon işlemleri Eşitlik (10) ve (11)'e göre gerçekleştirilmiş ve hesaplamalar sonucu elde edilen değerler Tablo 9'da gösterilmiştir.

Tablo 9. GİA Normalizasyon matrisi (2020 yılı)

	X1	X2	X3	X4	X5	X6
<i>Referans</i>	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
ALCAR	0,9875	0,9877	0,9728	0,9799	0,1025	0,0139
ASUZU	0,9806	0,9888	0,9943	0,9624	0,0346	0,0231
ARCLK	0,0000	0,0000	0,3081	0,0000	0,1833	0,8262
DITAS	0,9956	0,9985	0,9931	1,0000	0,0175	0,0008
EGEEN	0,9904	0,9982	0,9914	0,9699	0,1393	0,0082
EMKEL	0,9995	0,9988	0,9988	0,9970	0,0123	0,0000
FROTO	0,6336	0,8871	0,0000	0,4787	1,0000	1,0000
IHEVA	0,9946	0,9991	0,9997	0,9817	0,0157	0,0054
JANTS	0,9776	0,9942	0,9963	0,9846	0,0978	0,0119
KARSN	0,9739	0,9898	0,9799	0,9310	0,0681	0,0295
KATMR	0,9938	0,9962	0,9998	0,9670	0,0211	0,0051
KLMSN	0,9512	0,9907	0,9845	0,9629	0,0184	0,0177
OTKAR	0,9386	0,9489	0,8118	0,9047	0,1864	0,0569
SAYAS	1,0000	0,9995	0,9987	1,0000	0,0145	0,0010
SILVR	0,9783	1,0000	0,9897	0,9985	0,0185	0,0092
TOASO	0,7993	0,9357	0,8365	0,6230	0,3424	0,4753
PRKAB	0,9903	0,9885	0,9921	0,9833	0,0687	0,0344
TTRAK	0,9215	0,9727	0,9161	0,8889	0,2310	0,1244
ULUSE	0,9799	0,9981	1,0000	0,9839	0,1084	0,0113
VESBE	0,7319	0,9842	0,8302	0,8357	0,1270	0,1886
VESTL	0,4449	0,6882	0,2712	0,5631	0,0000	0,4345

Analizin sonraki adımında normalizasyon karar matrisinde bulunan değerlerin referans serisine göre mutlak farklarının değeri Eşitlik (14)'e göre hesaplanmış ve değerler Tablo 10'da gösterilmiştir.

Tablo 10. GİA Mutlak değer tablosu (2020 yılı)

	X1	X2	X3	X4	X5	X6
ALCAR	0,0125	0,0123	0,0272	0,0201	0,8975	0,9861
ASUZU	0,0194	0,0112	0,0057	0,0376	0,9654	0,9769
ARCLK	1,0000	1,0000	0,6919	1,0000	0,8167	0,1738
DITAS	0,0044	0,0015	0,0069	0,0000	0,9825	0,9992
EGEEN	0,0096	0,0018	0,0086	0,0301	0,8607	0,9918
EMKEL	0,0005	0,0012	0,0012	0,0030	0,9877	1,0000
FROTO	0,3664	0,1129	1,0000	0,5213	0,0000	0,0000
IHEVA	0,0054	0,0009	0,0003	0,0183	0,9843	0,9946
JANTS	0,0224	0,0058	0,0037	0,0154	0,9022	0,9881
KARSN	0,0261	0,0102	0,0201	0,0690	0,9319	0,9705
KATMR	0,0062	0,0038	0,0002	0,0330	0,9789	0,9949
KLMSN	0,0488	0,0093	0,0155	0,0371	0,9816	0,9823
OTKAR	0,0614	0,0511	0,1882	0,0953	0,8136	0,9431
SAYAS	0,0000	0,0005	0,0013	0,0000	0,9855	0,9990
SILVR	0,0217	0,0000	0,0103	0,0015	0,9815	0,9908
TOASO	0,2007	0,0643	0,1635	0,3770	0,6576	0,5247
PRKAB	0,0097	0,0115	0,0079	0,0167	0,9313	0,9656
TTRAK	0,0785	0,0273	0,0839	0,1111	0,7690	0,8756
ULUSE	0,0201	0,0019	0,0000	0,0161	0,8916	0,9887
VESBE	0,2681	0,0158	0,1698	0,1643	0,8730	0,8114
VESTL	0,5551	0,3118	0,7288	0,4369	1,0000	0,5655

Analizin son aşamasında, öncelikle Eşitlik (15) yardımıyla gri ilişkisel katsayılar hesaplanmış sonrasında CRITIC yönteminden elde edilen ağırlıklar entegre edilerek gri ilişkisel derceler ve performans sıralamaları elde edilmiştir. Hesaplamalara ilişkin sonuçlar Tablo 11'de yer almaktadır.

Tablo11.Gri ilişkisel katsayılar, gri ilişkisel dereceler ve performans sıralaması (2020 yılı)

İşletmeler	X1	X2	X3	X4	X5	X6	GİD	SIRA
ALCAR	0,9757	0,9761	0,9484	0,9614	0,3578	0,3365	0,6663	12
ASUZU	0,9626	0,9781	0,9887	0,9301	0,3412	0,3385	0,6657	13
ARCLK	0,3333	0,3333	0,4195	0,3333	0,3797	0,7420	0,4803	20
DITAS	0,9913	0,9971	0,9863	0,9999	0,3373	0,3335	0,6773	4
EGEEN	0,9812	0,9964	0,9831	0,9431	0,3674	0,3352	0,6740	8
EMKEL	0,9989	0,9976	0,9976	0,9940	0,3361	0,3333	0,6791	3
FROTO	0,5771	0,8158	0,3333	0,4896	1,0000	1,0000	0,7514	1
IHEVA	0,9894	0,9982	0,9993	0,9648	0,3369	0,3345	0,6751	6
JANTS	0,9571	0,9886	0,9927	0,9701	0,3566	0,3360	0,6738	9
KARSN	0,9503	0,9800	0,9613	0,8787	0,3492	0,3400	0,6550	15
KATMR	0,9878	0,9924	0,9996	0,9381	0,3381	0,3345	0,6712	11
KLMSN	0,9111	0,9818	0,9699	0,9309	0,3375	0,3373	0,6558	14
OTKAR	0,8907	0,9072	0,7265	0,8399	0,3806	0,3465	0,6026	17
SAYAS	1,0000	0,9990	0,9974	1,0000	0,3366	0,3336	0,6803	2
SILVR	0,9583	1,0000	0,9798	0,9970	0,3375	0,3354	0,6728	10
TOASO	0,7136	0,8861	0,7535	0,5701	0,4319	0,4879	0,6018	18
PRKAB	0,9810	0,9775	0,9845	0,9676	0,3493	0,3412	0,6740	7
TTRAK	0,8643	0,9482	0,8563	0,8181	0,3940	0,3635	0,6308	16
ULUSE	0,9614	0,9963	1,0000	0,9688	0,3593	0,3359	0,6767	5
VESBE	0,6510	0,9694	0,7465	0,7527	0,3642	0,3813	0,5808	19
VESTL	0,4739	0,6160	0,4069	0,5337	0,3333	0,4693	0,4584	21

Gri İlişkisel Analiz yönteminin adımları analiz dönemindeki her bir yıl için ayrı ayrı gerçekleştirilmiş, hesaplamalar sonucu elde edilen sonuçlar Tablo 12'de sunulmuştur.

Tablo 12. 2016-2020 Dönemine ilişkin gri ilişkisel dereceler ve performans sıralamaları

İşletmeler	2020		2019		2018		2017		2016	
	GİD	SIRA	GİD	SIRA	GİD	SIRA	GİD	SIRA	GİD	SIRA
ALCAR	0,6663	12	0,6575	13	0,6672	13	0,6477	12	0,6349	15
ASUZU	0,6657	13	0,6623	12	0,6696	12	0,6422	15	0,6355	14
ARCLK	0,4803	20	0,4809	21	0,4886	20	0,4997	20	0,6123	19
DITAS	0,6773	4	0,6746	3	0,6842	3	0,6633	3	0,6501	4
EGEEN	0,6740	8	0,6663	9	0,6752	11	0,6575	10	0,6458	12
EMKEL	0,6791	3	0,6732	4	0,6830	4	0,6627	4	0,6496	5
FROTO	0,7514	1	0,7669	1	0,7627	1	0,7625	1	0,7093	2
IHEVA	0,6751	6	0,6712	5	0,6829	5	0,6610	5	0,6467	9
JANTS	0,6738	9	0,6656	11	0,6778	9	0,6588	8	0,6470	8
KARSN	0,6550	15	0,6528	15	0,6583	15	0,6326	16	0,6211	17
KATMR	0,6712	11	0,6659	10	0,6803	7	0,6589	7	0,6484	6
KLMSN	0,6558	14	0,6536	14	0,6637	14	0,6454	14	0,6358	13
OTKAR	0,6026	17	0,6098	18	0,6163	17	0,6058	18	0,6184	18
SAYAS	0,6803	2	0,6764	2	0,6876	2	0,6668	2	0,6515	3
SILVR	0,6728	10	0,6690	6	0,6804	6	0,6605	6	0,6472	7
TOASO	0,6018	18	0,6150	17	0,6043	18	0,6460	13	0,7659	1
PRKAB	0,6740	7	0,6674	8	0,6785	8	0,6585	9	0,6465	11
TTRAK	0,6308	16	0,6296	16	0,6363	16	0,6198	17	0,6233	16
ULUSE	0,6767	5	0,6685	7	0,6775	10	0,6567	11	0,6467	10
VESBE	0,5808	19	0,5964	19	0,6007	19	0,5914	19	0,5908	20
VESTL	0,4584	21	0,4832	20	0,4791	21	0,4781	21	0,4820	21

Tablo 12 incelendiğinde 2016-2020 döneminde, 2016 yılı hariç, tüm yıllarda performans sıralamasında ilk sırada FROTO işletmesi olduğu görülmektedir. 2016 yılı hariç, diğer tüm yıllarda SAYAS işletmesi ikinci sırada yer alırken DITAS ve EMKEL firmaları üçüncü ve dördüncü sırada yer almıştır. 2016 yılı entelektüel sermaye performans sıralamalarına bakıldığında 0,7659 gri ilişkisel derece ile TOASO işletmesinin birinci sırada yer aldığı görülmektedir. Aynı yıl, FROTO işletmesi ikinci sırada, SAYAS işletmesi ise üçüncü sıraya yerleşmiştir. 2017-2019 yılları arasında ilk üç işletmenin performans sıralaması FROTO, SAYAS, DITAS şeklinde gerçekleşmiştir. 2020 yılında, FROTO işletmesi birinci sırada, SAYAS ikinci sırada, EMKEL işletmesi üçüncü sırada yer almıştır. 2016-2020 yılları arasında performansını yükselten işletmelerin ALCAR, EGEEN, EMKEL, FROTO, IHEVA, KARSN, OTKAR, SAYAS, PRKAB, VESBE olduğu

görülmektedir. Analiz sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde, çalışma kapsamına alınan işletmelerin performans sıralamalarının beş yıllık dönemde fazla değişkenlik göstermediği şeklinde yorumlanabilir.

5. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Teknoloji çağında entelektüel sermayenin işletmelerin başarısında üstlendiği rol giderek artmaktadır. Entelektüel sermayesini etkin yöneten işletmeler uzun vadede tüm paydaşları için değer yaratabilecek ve küresel boyutta rekabetçi kalabileceklerdir. Bu nedenle, insan sermayesi, yapısal sermaye, müşteri sermayesi gibi faktörleri önceliklendirmenin işletmelere sağladığı yararlar değerlendirme ve finansal karar alma sürecinin temel girdileri olmaya devam edecektir. Bu nedenle, entelektüel sermaye performansının ölçülmesi işletmenin sahip olduğu maddi olmayan unsurları yönetme ve değer yaratabilme potansiyelinin değerlendirilmesi bakımından büyük önem arz etmektedir.

Entelektüel sermayeye ilişkin bilgilere ilginin artması bu alanda yapılan bilimsel çalışmalara da ivme kazandırmış, entelektüel sermaye performansının/etkinliğinin ölçülmesine yönelik yeni yöntem ve yaklaşımların ortaya çıkmasına yol açmıştır. Bu çalışmada, Ar-Ge ve inovasyon temelli bir sektör olan Metal Eşya Makine Elektrikli Cihazlar ve Ulaşım Araçları sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin entelektüel sermaye performansı çok kriterli karar verme yöntemlerinden yararlanılarak değerlendirilmeye çalışılmıştır. Çalışmada öncelikle literatürdeki uygulamalara paralel olarak (Campisi ve Costa, 2008; Chang ve diğerleri, 2013; Lu ve diğerleri, 2010; Wang ve diğerleri, 2011) entelektüel sermaye performans göstergeleri sektör özellikleri göz önünde bulundurularak fayda ve maliyet kriterleri olarak belirlenmiştir. Kriterlerin önem düzeylerinin belirlenmesi aşamasında objektif bir ağırlıklandırma yöntemi olan CRITIC metodu tercih edilmiştir. Yöntem, entelektüel sermaye performans kriterleri arasındaki ilişkiyi dikkate alarak sayısal temelli objektif bir ağırlıklandırma imkânı sunduğundan karar verme sürecine önemli bir katkı sunmaktadır. Literatürde entelektüel sermaye kriterlerinin veya entelektüel sermaye alt boyutlarının önem düzeylerinin belirlenmesinde sıklıkla karar vericinin değerlendirmelerine dayalı subjektif yöntemlerin kullanıldığı görülmektedir (Bozbura ve diğerleri, 2007; Calabrese ve diğerleri, 2013; Chen ve Chen, 2010; Khodamoradi ve diğerleri, 2014). Bu çalışma, karar verme sürecinin öznel yargılardan arındırılarak doğrudan verinin içerdiği bilgiyi esas alan, dolayısıyla entelektüel sermaye performans kriterleri arasındaki ilişkileri de hesaba katan bir yaklaşıma dayandırıldığından objektif bir bakış açısı sunmaktadır.

Çalışmada CRITIC yöntemi ile yapılan ağırlıklandırma işleminin sonucunda tüm yıllarda en fazla ağırlığa sahip kriterlerin Net Satışlar, PD-DD, Ar-Ge giderleri şeklinde olduğu saptanmıştır. Bu açıdan, yöntemin yıllara göre ortaya koyduğu sonuçlar arasında tutarlılık olduğu ortaya çıkmıştır. Önerilen modele göre performans değerlendirmesinde fayda kriterleri olarak belirlenen değişkenler değere dönüşüm sürecinin en önemli belirleyicileri olarak ön plana çıkmaktadır. Öte yandan, maliyet faktörleri arasında yapısal sermayeyi temsil eden AR-GE giderleri değişkeninin en yüksek ağırlığa sahip olduğu görülmektedir. Literatürde, entelektüel sermaye bileşenlerinden insan sermayesinin göreceli önemine vurgu yapılmaktadır (Akgün ve Günay, 2021; Calabrese ve diğerleri, 2013; Chen ve Chen, 2010). Ancak, ilgili çalışmaların sağlık hizmetleri, teknoloji, sigorta gibi hizmet sektörü işletmeleri üzerinde gerçekleştirildiği dikkat çekmektedir. Bu bakımdan, çalışma bulgularının ortaya koyduğu bu farklılık entelektüel sermaye kompozisyonunun ve değere dönüşüm dinamiklerinin sektörden sektöre farklılık gösterdiği görüşünü (Calabrese ve diğerleri, 2013; Chang ve diğerleri, 2013) destekler niteliktedir. Metal eşya ve makine sektörü işletmeleri Ar-Ge ve inovasyon odaklı üretim süreçlerine sahiptirler. Bu noktada, entelektüel sermaye bileşenlerinden yapısal sermayeyi temsil eden Ar-Ge giderlerinin ağırlığının yüksek tespit edilmesi bu faktörün değer yaratma sürecindeki rolünü ön plana çıkarmaktadır. Bu bakımdan, bu bulgunun sektörün yapısal özellikleri ile uyumlu olduğu şeklinde yorumlanmaktadır.

Gri İlişkisel Analiz yöntemi ile gerçekleştirilen analiz sonuçlarına göre 2016 yılı hariç, tüm yıllarda entelektüel sermaye performans sıralamasında ilk sırada FROTO işletmesinin yer aldığı görülmektedir. Bu bulgu, FROTO işletmesinin entelektüel kaynaklarını etkin kullanarak değere dönüştürebilme potansiyeli hakkında önemli bilgiler sağlamakta ve entelektüel sermaye performansını istikrarlı bir şekilde sürdürebildiğini göstermektedir. 2017-2020 yılları arası dört yıllık dönemde SAYAS işletmesi performans sıralamasında ikinci sıraya konulan DİTAS ve EMKEL firmaları üçüncü ve dördüncü sırada yer almıştır. Söz konusu işletmelerin entelektüel sermaye performans sıralamalarında sergilediği istikrar önemli bir bulgu olarak değerlendirilmektedir. Her bir yıl için entelektüel sermaye performans sıralamaları değerlendirildiğinde, 2016 yılında 0,7659 gri ilişkisel derece ile TOASO işletmesinin birinci sırada yer aldığı görülmektedir. Aynı yıl, FROTO işletmesi ikinci sırada, SAYAS işletmesi ise üçüncü sıraya yerleşmiştir. 2017-2019 yılları arasında ilk üç işletmenin performans sıralaması FROTO, SAYAS, DİTAS şeklinde gerçekleşmiştir. 2020 yılında, FROTO işletmesi birinci sırada, SAYAS ikinci sırada, EMKEL işletmesi üçüncü sırada yer almıştır. Yapılan analiz sonuçlarından 2016-2020 yılları arasında performansını yükselten işletmelerin ALCAR, EGEEN, EMKEL, FROTO, IHEVA, KARSN, OTKAR, SAYAS, PRKAB, VESBE olduğu görülmektedir. Çalışmanın sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde, analiz kapsamına alınan işletmelerin performans sıralamalarının beş yıllık dönemde fazla değişkenlik göstermediği şeklinde yorumlanabilir.

İşletmelerin entelektüel sermaye performansının çok kriterli karar verme yöntemleriyle ölçülmesi konusunda literatüre katkı sağlamayı amaçlayan bu çalışmada Borsa İstanbul'da Metal Eşya Makine Elektrikli Cihazlar ve Ulaşım Araçları sektöründe faaliyette bulunan işletmelerin performansları ortaya konulmuş ve değerlendirilmiştir. Çalışmada, Gri İlişkisel Analiz aracılığıyla işletmelerin entelektüel sermaye kaynaklarını değere dönüştürme kabiliyetlerini ortaya koyabilmek amacıyla bir sıralama oluşturulmuştur. Çalışma ele alınan sektör bakımından ayrı bir önem taşımaktadır. Metal eşya, makine elektrikli cihazlar ve ulaşım araçları sektörü ülkemiz imalat sanayi içerisinde önemli bir ağırlığa sahip olup Ar-Ge faaliyetleri ve katma değerli üretim potansiyeli bakımından ülke ekonomisine katkı sağlamaktadır (SBB, 2018). Bu açıdan bakıldığında, entelektüel sermaye birikiminin ve etkin yönetiminin bu sektörde faaliyet gösteren işletmelerin rekabet gücünün belirlenmesinde kritik bir faktör olduğu ortaya çıkmaktadır. Çalışma sonuçları doğrultusunda; sektörde faaliyet gösteren işletmeler Ar-Ge faaliyetlerini insan sermayesi yatırımları ve ilişkisel sermaye geliştirme çabalarıyla desteklemeli, entelektüel sermaye unsurları arasında kombinasyonları optimum şekilde tasarlamaya çalışmalıdırlar. Diğer yandan, işletmelerin entelektüel sermayeye yönelik faaliyetlerinin yatırımcılar tarafından yakından takip edildiği ve portföy kararlarında etkili olduğu bilinmektedir (Zavertiaeva, 2016; Yalama ve Coskun, 2007). Bu nedenle, işletmeler entelektüel sermaye oluşturma ve yönetme faaliyetlerine ilişkin paydaşlarına ve piyasa katılımcılarına daha fazla bilgi sunmalıdırlar.

Çalışma bazı kısıtlar içermektedir. Birinci kısıt, analiz kapsamına alınan işletme sayısıdır. Borsa İstanbul'da ilgili sektörde işlem gören firma sayısı fazla olmasına rağmen bazı işletmelerin Ar-Ge giderlerini raporlamaması sebebiyle veri seti 21 işletme ile sınırlandırılmıştır. Diğer bir kısıt ise analiz yapılan zaman dilimidir. Ayrıca bu çalışmada, entelektüel sermaye ölçümü literatür bilgileri ışığında göstergeler (proxy) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte, entelektüel sermaye ölçümü farklı modellere göre ve farklı göstergeler kullanılarak yapılabilmektedir. Bu nedenle, çalışmanın sonuçları değerlendirildiğinde bu kısıtlar göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca, bu hususlar dikkate alınarak yapılacak gelecek çalışmalarda daha uzun bir zaman dilimi ele alınarak analiz yapılabilir. Farklı sektörlerde faaliyet gösteren işletmeler üzerine yapılacak benzer çalışmaların hem bilimsel açıdan hem uygulayıcılar ve yatırımcılar için önemli katkılar sunacağı düşünülmektedir.

Yazar Katkıları / Author Contributions

Neilan Soyulu: Literatür Taraması, Kavramsallaştırma, Metodoloji, Veri Derleme, Analiz, Makale Yazımı-
orijinal taslak *Abdul Khair Zafari:* Literatür Taraması, Metodoloji, Veri Derleme, Analiz, Makale Yazımı-
orijinal taslak

*Neilan Soyulu: Literature Review, Conceptualization, Methodology, Data Curation, Analysis, Writing-original
draft Abdul Khair Zafari: Literature review, Methodology, Data Curation, Analysis, Writing-original draft*

Çatışma Beyanı / Conflict of Interest

Yazarlar tarafından herhangi bir potansiyel çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No potential conflict of interest was declared by the authors.

Fon Desteği / Funding

Bu çalışmada herhangi bir resmi, ticari ya da kâr amacı gütmeyen organizasyondan fon desteği alınmamıştır.

Any specific grant has not been received from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Etik Standartlara Uygunluk / Compliance with Ethical Standards

Yazarlar tarafından, çalışmada kullanılan araç ve yöntemlerin Etik Kurul izni gerektirmediği beyan edilmiştir.

It was declared by the authors that the tools and methods used in the study do not require the permission of the Ethics Committee.

Etik Beyanı / Ethical Statement

Yazarlar tarafından bu çalışmada bilimsel ve etik ilkelere uyulduğu ve yararlanılan tüm çalışmaların kaynakçada belirtildiği beyan edilmiştir.

It was declared by the author(s) that scientific and ethical principles have been followed in this study and all the sources used have been properly cited.



Yazarlar, Verimlilik Dergisi'nde yayımlanan çalışmalarının telif hakkına sahiptirler ve çalışmaları CC BY-NC 4.0 lisansı altında yayımlanmaktadır.

The authors own the copyright of their works published in Journal of Productivity and their works are published under the CC BY-NC 4.0 license.

KAYNAKÇA

- Akgün, A.İ. ve Günay, B. (2021). "Entelektüel Sermaye Etkinliğinin Önceliklendirilmesinde Çok Kriterli Karar Verme Modellerinin Kullanılması: Bir Sağlık Hizmetleri Sektörü Örneği", *Sosyoekonomi*, 29(47), 337-365.
- Alinezhad, A. ve Khalili, J. (2019). "CRITIC Method. New Methods and Applications in Multiple Attribute Decision Making (MADM)", Springer Nature, Switzerland.
- Bozbura, F.T., Beskese, A. ve Kahraman, C. (2007). "Prioritization of Human Capital Measurement Indicators Using Fuzzy AHP", *Expert Systems with Applications*, 32(4), 1100-1112.
- Calabrese, A., Costa, R. ve Menichini, T. (2013). "Using Fuzzy AHP to Manage Intellectual Capital Assets: An application to the ICT Service Industry", *Expert Systems with Applications*, 40(9), 3747-3755.
- Campisi, D. ve Costa, R. (2008). "A DEA-Based Method to Enhance Intellectual Capital Management", *Knowledge and Process Management*, 15(3), 170-183.
- Chang, C.C., Hung, S.W. ve Huang, S.Y. (2013). "Evaluating the Operational Performance of Knowledge-Based Industries: The Perspective of Intellectual Capital", *Quality & Quantity*, 47, 1367-1383.
- Chen, I.S. ve Chen, J.K. (2010). "How to Manage Knowledge Well? Evidence From the Life Insurance Industry", *African Journal of Business Management*, 4(17), 3605.
- Deng, J.L. (1982). "Control Problems of Grey Systems", *Systems and Control Letters* 1(5), 288-294.
- Diakoulaki, D., Mavrotas, G. ve Papayannakis, L. (1995). "Determining Objective Weights in Multiple Criteria Problems: The CRITIC Method", *Computers & Operations Research*, 22(7), 763-770.
- Ecer, F.ve Günay, F. (2014). "Borsa İstanbul'da İşlem Gören Turizm Şirketlerinin Finansal Performanslarının Gri İlişkisel Analiz Yöntemiyle Ölçülmesi", *Anatolia: Turizm Araştırmaları Dergisi*, 25(1), 35-48.
- Hamzaçebi, C. ve Pekkaya, M. (2011). "Determining of Stock Investments with Grey Relational Analysis", *Expert Systems with Applications*, 38(8), 9186-9195.
- Ika, S.R. ve Widagdo, A.K. (2021). "Ownership Structure and Intellectual Capital Performance: Evidence From Indonesian Banking Companies", *Corporate Leadership and Its Role in Shaping Organizational Culture and Performance* (editor Azza Béjaoui). IGI Global.:
- Khodamoradi, S., Safari, A. ve Rahimi, R. (2014). "A Hybrid Multi-Criteria Model for Insurance Companies Rating", *International Business Research*, 7(6), 150-163.
- Kuo, Y., Yang, T. ve Huang, G.W. (2008). "The Use of Grey Relational Analysis in Solving Multiple Attribute Decision-Making Problems", *Computers & industrial engineering*, 55(1), 80-93.
- Lee, C.S. ve Wong, K.Y. (2019). "Advances in Intellectual Capital Performance Measurement: A State-Of-The-Art Review", *The Bottom Line*, 32(2), 118-134.
- Lu, W.M., Wang, W.K., Tung, W.T. ve Lin, F. (2010). "Capability and Efficiency of Intellectual Capital: The Case of Fabless Companies in Taiwan", *Expert Systems with Applications*, 37(1), 546-555.
- Molodchik, M., Shakina, E. ve Bykova, A. (2012). "Intellectual Capital Transformation Evaluating Model". *Journal of Intellectual Capital*, 13(4), 444-461.
- Nourani, M., Chandran, V.G.R., Kweh, Q.L. ve Lu, W.M. (2018). Measuring Human, Physical and Structural Capital Efficiency Performance of Insurance Companies", *Social Indicators Research*, 137, 281-315.
- Olohunlana, A.O., Odeleye, A.T.ve Isola, W.A. (2023). "Determinants of the Intellectual Capital Efficiency of Listed Banks in Nigeria: A DEA Approach", *Journal of Business and Socio-economic Development*, 3(1), 86-96.
- Peker, İ. ve Bakı, B. (2011). "Gri İlişkisel Analiz Yöntemiyle Türk Sigortacılık Sektöründe Performans Ölçümü", *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 4(7), 1-17.
- Pulic, A. (2004). "Intellectual Capital—Does It Create or Destroy Value?", *Measuring Business Excellence*, 8(1), 62-68.
- Soylu, N. (2020). "Entelektüel Sermaye Etkinliğinin Veri Zarflama Analizi ile Değerlendirilmesi: BİST Teknoloji Şirketlerine Yönelik Bir Araştırma", *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, (85), 269-286.
- Srivihok, A. ve Intrapairote, A. (2006). "Intellectual Capital Measurement: Case Studies of SMEs in Thailand", *Proceedings of the International E-Business*, Bangkok.
- Stewart, T.A. (1997). "Intellectual Capital", Doubleday-Currency, New York.
- Sullivan Jr, P.H. ve Sullivan Sr, P.H. (2000). "Valuing Intangibles Companies—An Intellectual Capital Approach", *Journal of Intellectual Capital*, 1(4), 328-340.
- Sveiby, K.E. (1997). "The New Organizational Wealth: Managing & Measuring Knowledge-Based Assets", Berrett-Koehler Publishers.

- Şenol, Z. ve Ulutaş, A. (2018). "Muhasebe Temelli Performans Ölçümleri ile Piyasa Temelli Performans Ölçümlerinin CRITIC ve ARAS Yöntemleriyle Değerlendirilmesi", *Finans Politik ve Ekonomik Yorumlar*, (641), 983-1002.
- T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı (2018). <https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/08/Imalat-Sanayii-Politikalari-Ozel-Ihtisas-Komisyonu-Raporu.pdf> (Erişim tarihi: 01.12.2023)
- Tamošiūnienė, R. ve Sajavičiūtė, M. (2022). "Evaluation of the Intellectual Capital Impact on the Company's Attractiveness", International Scientific Conference "UNITECH 2022" – Gabrovo, 449-454.
- Topaloğlu, E.E. ve Karakozak, Ö. (2017). "Entelektüel Sermayenin İşletmelerde Bir Bütün Olarak Ölçülmesi: BİST 30 Uygulaması", *Akademik Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi (AKAD)*, 9(16), 119-136.
- Uygurtürk H. ve Yetik, H (2022). "Sektör Bazlı Finansal Performans Ölçümü: BİST Ana Metal Sanayi İşletmeleri Üzerine Bir Araştırma", *Ekonomi ve Finans Alanındaki Uygulamaların Ampirik Sonuçları – 2* (Editör: Karabulut, Ş.), 383-400.
- Uygurtürk, H. ve Yıldız, İ. (2021). "İşletmelerin Etkinlikleri ile Finansal Performansları Arasındaki İlişki: Bilişim Sektörü Üzerine Bir Araştırma", *Verimlilik Dergisi*, 1, 3-15.
- Venugopal, D., Nambi, S.T. ve Lakshmanan, M. (2018). "A Data Envelopment Analysis Approach to Performance Efficiency of Intellectual Capital-Case of Titan Company Limited", *SDMIMD Journal of Management*, 9(1), 1-8.
- Wang, C.N., Chang, Y.L., Huang, Q.H. ve Wang, C.H. (2011). "Assessment on Intellectual Capital Management for Taiwanese Pharmaceutical Industry: Using GRA and MPI", *African Journal of Business Management*, 5(7), 2950-2958.
- Wu, W.Y., Tsai, H.J., Cheng, K.Y. ve Lai, M. (2006). "Assessment of Intellectual Capital Management in Taiwanese IC Design Companies: Using DEA and the Malmquist Productivity Index", *R&D Management*, 36(5), 531-545.
- Yalama, A. ve Coskun, M. (2007). "Intellectual Capital Performance of Quoted Banks on the Istanbul Stock Exchange Market", *Journal of Intellectual Capital*, 8(2), 256-271.
- Yereli, A.N. ve Gerşil, G. (2005). "Entellektüel Sermayeyi Ölçme ve Raporlama Yöntemleri", *Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, 12(2), 17-29.
- Yıldırım, B.F. (2015). "Gri İlişkisel Analiz", *Operasyonel, Yönetmel ve Stratejik Problemlerin Çözümünde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri* (Editörler: Yıldırım, F.B. ve Önder, E.), Dora Yayıncılık, 229-244.
- Zakery, A. ve Afrazeh, A. (2015). "Intellectual Capital Based Performance Improvement, Study in Insurance Firms", *Journal of Intellectual Capital*, 16(3), 619-638.
- Zavertiaeva, M. (2016). "Portfolio Forming Decisions: the Role of Intellectual Capital", *Journal of Intellectual Capital*, 17(3), 439-456.
- Zeghal, D. ve Maaloul, A. (2010). "Analysing Value Added as An Indicator Of Intellectual Capital and its Consequences On Company Performance", *Journal of Intellectual Capital*, 11(1), 39-60.

Sağlık Hizmetlerinde Sürdürülebilirlik Düzeyini Belirleyen Faktörlerin Önceliklendirilmesi

Şeyda Çavmak¹ , Doğancaan Çavmak² , Eda Yaşa Özeltürkay³ 

ÖZET

Amaç: Bu araştırmanın amacı, sağlık hizmetlerinde sürdürülebilirlik düzeyini belirleyen stratejik faktörlerin tanımlanması ve önem düzeylerinin analiz edilmesidir.

Yöntem: Araştırmada, nicel yaklaşımlı çok kriterli karar verme tekniklerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) kullanılmıştır. İlgili literatürün taranması sonucu tanımlanmış olan belirleyici faktörler, ikili karşılaştırma formları kullanılarak, 1-9 arasında değerlere sahip bir skala üzerinde, ilgili uzmanlar tarafından önem dereceleri bakımından değerlendirilmiştir. Çalışmada değerlendirici olarak, Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) sertifikasına sahip sağlık tesislerinde yönetici pozisyonunda yer alan dört sektör temsilcisi ve sağlık yönetimi alanında çalışan dört akademisyen yer almıştır. Katılımcılardan alınan değerlendirmeler AHS adımları çerçevesinde analiz edilmiş ve önem dereceleri belirlenmiştir.

Bulgular: Sağlık hizmetlerinde sürdürülebilirliği belirleyen faktörler sosyal, ekonomik ve çevresel olmak üzere üç ana kategoride toplanmıştır. Değerlendirmeler sonucu en önemli faktör grubu 0,4433 ile ekonomik faktörler olmuştur. Katılımcı grubuna göre yapılan değerlendirmelerde sektör temsilcileri en yüksek önemi ekonomik faktörlere atfederken, akademisyen grubu ise çevresel faktörlere atfetmişlerdir.

Özgünlük: Çalışmanın özgün değeri, çok boyutlu olan sürdürülebilirlik olgusunu, sağlık hizmetleri özelindeki yansımaları ile inceleyerek, bu alandaki verimlilik ve etkinlik ölçüm süreçlerine genel bir yapı sunuyor olmasıdır.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilirlik, Sağlık Hizmetleri, Analitik Hiyerarşi Süreci, Sağlık Yönetimi.

JEL Kodları: I11, I15, I19, A10.

Prioritizing the Determining Factors of Sustainability Level in Healthcare Services

ABSTRACT

Purpose: The objective of this study is to identify the strategic factors determining the level of sustainability in healthcare and to examine their relative priority levels.

Methodology: The Analytic Hierarchy Process (AHP) method, a quantitative multi-criteria decision-making technique, was employed. Factors were identified through a review of relevant literature. Experts assessed the importance of each factor on a scale of 1 to 9, employing pairwise comparison forms. The panel of experts comprised four representatives from hospitals awarded the Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) certification and four academics in health management. The data which was collected from experts were analyzed according to the AHP method's procedural steps, resulting in the determination of the factors' importance levels.

Findings: Factors determining the level of sustainability in healthcare were categorized into three primary groups; social, economic, and environmental. The economic factors emerged as the most significant, receiving a score of 0.4433. The rankings varied according to the participant groups; representatives from the sector identified economic factors as the most critical, whereas academics ranked environmental factors to be of paramount importance.

Originality: This study possesses unique value, as it explores the multidimensional concept of sustainability focusing on its specific implications in healthcare services and provides a general framework for measuring the efficiency and effectiveness in this field.

Keywords: Sustainability, Healthcare Services, Analytic Hierarchy Process, Health Management.

JEL Codes: I11, I15, I19, A10.

¹ Çağ Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Dokümantasyon ve Sekreterlik Programı, Mersin, Türkiye

² Tarsus Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Sağlık Yönetimi Bölümü, Mersin, Türkiye

³ Çağ Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Uluslararası İşletme Yönetimi Bölümü, Mersin, Türkiye

Sorumlu Yazar-Corresponding Author: Şeyda Çavmak, seydaaky@gmail.com

DOI: 10.51551/verimlilik.1386655

Araştırma Makalesi / Research Article | Geliş / Submitted: 06.11.2023 | Kabul / Accepted: 25.03.2024

Atıf/Cite: Çavmak, Ş., Çavmak, D. ve Yaşa Özeltürkay, E. (2024). "Sağlık Hizmetlerinde Sürdürülebilirlik Düzeyini Belirleyen Faktörlerin Önceliklendirilmesi", *Verimlilik Dergisi*, 58(2), 263-282.

EXTENDED ABSTRACT

Resource scarcity, environmental changes, and financial constraints have significantly increased the importance of sustainable development as a global goal. The understanding of the United Nations' "Our Common Future" which provides a define as "development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs", has recently emerged as a phenomenon sought to be allocated in all production systems. Sustainability consists of social, environmental, and economic dimensions which is known as the triple bottom line. The healthcare sector, while contributing to the development of countries, also emerges as an important sector where sustainability needs to be ensured, considering the impacts in the social, environmental, and economic areas.

Increased access of society to healthcare, changes in service production processes due to the evolving diseases, and rising costs have accelerated the quest for sustainability in the healthcare sector (Özsarı, 2011)., Resources allocated to the healthcare sector need to be utilized effectively, efficiently, and in accordance with equity principles, when considering its economic dimension (Munir et al., 2019). Financial sustainability (Abeysekera, 2022), cost control (Çetiner & Özen, 2019), and profitability (Yılmaz et al., 2023) emerge as prominent indicators of economic dimension of sustainability. Considering the social dimension, physical access to healthcare services (Li et al., 2022), patient and employee satisfaction (Tsioumpri et al., 2020), and technology and innovation (Li et al., 2022) emerge as significant indicators. The environmental dimension is also another important aspect for sustainability in healthcare services. Considering the amount of waste generated, it can be seen that green buildings concept comes to the front. Water and energy efficiency, medical waste management, recycling, and renewable energy are important goals for environmental sustainability in healthcare services (LEED, 2023).

There is wide literature analyzing and prioritizing factors of sustainability. Analytic Hierarchy Process (AHP) method, are widely used in these studies. However, at the national level and specifically within the healthcare sector, the level of knowledge is quite low. Therefore, this study aimed to identify strategic determining factors of sustainability in healthcare services and to prioritize them using AHP.

The study is based on prioritizing the determining factors of sustainability in healthcare services using Analytic Hierarchy Process (AHP) thanks to its ability to allow flexible, intuitive evaluations enabling comparative assessments while also transforming these evaluations into numerical units. AHP facilitates the dimensions of the relevant topic within a hierarchical structure and quantifying the factors for making rational decisions regarding the relative weights of each dimension through pairwise comparisons (Saaty, 1990).

Firstly, determining factors of the level of sustainability in healthcare services were identified based on a literature review, and these factors were prioritized using the AHP methodology. The participant group of the study consisted of eight experts, including four experts from the healthcare sector and four academics specializing in healthcare management.

The importance levels of the factors were calculated as follows: "Economic Factors" with 44.13%, "Environmental Factors" with 34.76%, and "Social Factors" with 21.11%. It was observed that the sub-factor with the highest importance level in social factors was "patient satisfaction" with 36.29%. Following patient satisfaction, "physical accessibility" was 21%, while the lowest importance level was attributed to "security services." The sub-factors attributed with the highest importance levels in economic factors were identified as "cost control" with 24.73% and "profit margin" with 23.46%. Within the environmental factors, the sub-factor with the highest importance level was "medical waste management and promotion of processes to reduce environmental harm" with 25.91%. Sector representatives attributed the highest importance level to "profit margin" and "cost control," while academics assigned importance to "use of renewable energy" and "promotion of processes to reduce environmental harm from medical waste management." "Use of renewable energy" and "energy efficiency" closely follow each other in importance levels 22.21% and 21.05% respectively.

To achieve sustainable healthcare services, it is firstly imperative to thoroughly analyze and manage economic factors while ensuring necessary incentives. The establishment of financial support mechanisms and the implementation of effective health insurance programs are recommended. Additionally, fostering public-private partnerships, creating a cost-focused life cycle for sustainable healthcare services, and organizing awareness-raising programs for sector representatives by comparing healthcare services with sustainable healthcare outputs are also suggested.

1. GİRİŞ

İnsan ihtiyaçları karşılanırken tüketimin gelecek nesillere yetecek şekilde etkin planlanması, gün geçtikçe önemli hale gelen bir konudur. Çünkü sınırsız insan ihtiyaçlarının kıt kaynaklar ile karşılanma problemi asırlardır devam etmektedir ve iklim değişiklikleri, sanayi devrimi sonrasında artan kaynak tüketimi gibi sebepler doğal kaynakları, tükenme riski ile karşı karşıya bırakmaktadır (UN, 2015). Bu tehlikeli durum, kaynakların doğru kullanım yollarının araştırılması noktasında bir farkındalık yaratmış ve 1987 yılında Birleşmiş Milletler tarafından “Ortak Geleceğimiz” adlı kitapta sürdürülebilirlik olgusu tanımlanmıştır. Sürdürülebilirlik, gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılama yeteneğini azaltmadan bugünün ihtiyaçlarını karşılayabilme yeteneği olarak tanımlanmıştır (Holdgate, 1987). Sosyal, çevresel ve ekonomik boyutlardan oluşan sürdürülebilirlik (Elkington, 1997); çevresel bozulma, doğal kaynakların tükenmesi ve iklim değişikliği gibi konularda farkındalığın artması ile sosyal kuruluşlar tarafından gerçekleştirilen çağrılar sonucunda kuruluşlar için önemli bir endişe kaynağı haline gelmiştir. Bilinçli tüketici karşısında yaşanan bu endişe, işletmeleri sürdürülebilir üretim uygulamalarına odaklanmaya zorlamıştır. Bu bağlamda sürdürülebilir sağlık sistemleri de doğal kaynakları tüketmeyen, ekolojik hasara neden olmadan kaliteli bakım ve geliştirilmiş halk sağlığı sunan sistemler olarak kabul görmeye başlamıştır. Gelişmekte olan ülkelerin ekonomik ve sosyal krizler ile karşı karşıya kaldığı bu dönemde, sağlık sektöründe sürdürülebilirlik, küresel olarak büyük önem taşımaktadır. Ayrıca gelişmekte olan ülkelerin, sağlık sektörüne değer üretebilmesi için paydaşlarının taleplerini göz önünde bulundurarak sürdürülebilirlik ilkelerini uygulamaya geçirmesi gerekmektedir. Çünkü küreselleşmenin etkisi ile hizmet tabanlı endüstriler arasında yoğun rekabet ve bilgi yönetimine bağımlılık söz konusudur (Karamat ve diğerleri, 2019). Bu nedenle emek ve teknolojinin yoğun olarak kullanıldığı ve 7/24 kesintisiz hizmet sunumunun gerçekleştiği sağlık sektöründe, sürdürülebilirlik ilkelerini uygulamaya geçirmek ve rekabette avantaj sağlayacak sürdürülebilirlik stratejilerini belirlemek için önceliklendirme çalışmaları yapmak önemli bir katkı olarak ön plana çıkmaktadır. Bu doğrultuda mevcut çalışmada, sağlık hizmetlerinde sürdürülebilirliği sağlamak için önem arz eden stratejik faktörlerin belirlenmesi amacıyla, çok kriterli karar verme süreçlerinde etkili sonuçlar sağlayan AHS yöntemi kullanılmıştır.

Çok kriterli karar verme yöntemleri içerisinde AHS yöntemi ile ilgili geniş bir literatür bulunmasına rağmen sağlık sektöründe sürdürülebilirlik üzerine farklı paydaşların da görüşlerini içeren sınırlı sayıda ulusal makale yayınlanmıştır (Göncü ve Çetin, 2022). Sürdürülebilirlik düzeyini belirleyebilecek olan faktörlerin, sağlık hizmetleri dışındaki sektörlerde önceliklendirildiği ve analiz edildiği çalışma sayısının yüksek olduğu görülmektedir (Özispa ve Arabelen, 2021). Ancak sağlık sektöründe yapılan çalışmaların, genellikle hizmet sunumunun farklı süreçleri üzerindeki engelleri belirlemeye yönelik olduğu görülmektedir. İncelenen çalışmalarda, sürdürülebilirlik üzerinde etkiye sahip olan bilgi yönetimi etkenlerinin önceliklendirilmesi (Karamat ve diğerleri, 2019); tedarikçi seçim kriterlerinin önem düzeylerinin tespit edilmesi (Göncü ve Çetin, 2022; Hussian ve diğerleri, 2018); sosyal sürdürülebilirliği kullanan tedarikçi seçimi (Mani ve diğerleri, 2014); sağlık binasının sürdürülebilirliğinin değerlendirilmesi (Castro de Fátima ve diğerleri, 2017) gibi konulara odaklanıldığı görülmektedir. Hussian ve diğerleri (2019) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, sağlık işletmelerinin tedarik zinciri süreçlerinde sağlanması istenen sosyal sürdürülebilirlik olgusunun önündeki engellerinin tanımlanması, sınıflandırılması ve önceliklendirilmesi için bir çerçeve önerilmiştir. Carnero (2015) tarafından yapılan çalışmada ise sağlık işletmelerinin çevresel sürdürülebilirliği ile değerlendirmeler yapılmıştır. Çevresel önlemlerin alınmasının ve çevrenin korunmasının, koruyucu sağlık hizmetleri açısından tedbir geliştirme anlamına geldiğine vurgu yapılmıştır. Bu nedenle çevresel sürdürülebilirliğin uygulanması için standartların geliştirilmesi ve uygun değerlendirme kriterlerinin belirlenmesi için AHS ve fayda teorisi entegre edilerek çok kriterli bir karar analiz modeli sunulmuştur. Kaswan ve diğerleri (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışmada da önem ve zorluk derecesine göre Hindistan sağlık sektöründe tam zamanında üretim yönetiminin temel unsurlarını tanımlamak ve önceliklendirmek amaçlanmıştır. Tam zamanında üretimin, sağlık hizmetlerinin hatasız sunulması ve hastalara düşük maliyet ile kaliteli hizmet sunumu açısından önemli bir felsefe olduğu vurgulanmıştır. Geniş bir literatür taraması sonrasında tam zamanında üretim ile ilişkili kriterler belirlenmiş ve AHS yöntemi ve Best-Worst yöntemi kullanılarak bu kriterler önceliklendirilmiştir. Gerçekleştirilen diğer çalışmalarda da çoğunlukla sürdürülebilirliğin ekonomik, sosyal ve çevresel boyutlarından bir tanesine odaklanıldığı görülmektedir. Bu nedenle sürdürülebilirliğin üç boyutunun da ele alınması ile, ilgili alandaki literatüre katkı sağlanabileceği kanısı oluşmuştur. Bu çerçevede yapılan çalışma; sürdürülebilirliğin sosyal, ekonomik ve çevresel boyutlarını tek çatı altında toplayarak her birisi için stratejik belirleyici faktörlerin belirlenmesini amaçlamaktadır. Ayrıca sağlık hizmetlerinde sürdürülebilirliği sağlamak için önem arz eden bu faktörlerin önem düzeylerini tespit etmek üzere ağırlıklandırılması gerçekleştirilerek alana katkı sunması beklenmektedir.

Sağlık hizmetlerinde sürdürülebilirlik; çevresel, sosyal ve ekonomik faktörleri dengeleyerek sağlık hizmetlerinin uzun vadeli başarısını sağlamayı ve toplumların refahını güvence altına almayı amaçlamaktadır. Sağlık; enerji tüketimi, atık üretimi ve kimyasal kullanımı nedeniyle çevresel etkileri büyük olan bir sektördür. Ancak insan sağlığını olumsuz etkileyen çevresel kirleticilerin önemli üreticilerinden olsa

da olumsuz sağlık koşulları ile başa çıkmada ve hastalıkları azaltmada önemli bir yere sahiptir. 2013 yılında 'Institute of Medicine Roundtable on Environmental Health Sciences Research and Medicine' toplantısında sağlık sektörünün ekolojik ayak izini azaltarak insan ve gezegen sağlığını iyileştirmek için örnek teşkil etmesi gerektiği önerilmiştir. Bu doğrultuda kirliliği azaltıcı, çevre dostu ve yenilenebilir enerjinin kullanımına yönelik yeşil hastaneler konsepti geliştirilmiştir (Eckelman ve Sherman, 2016). Ancak yeşil konseptte geçiş sürecinde yüksek yatırım maliyetleri, bilgi ve farkındalık eksikliği, kültürel ve idari direnç, teknolojik alt yapı sorunları gibi engeller ile karşılaşmaktadır (Terekli ve diğerleri, 2013). Sağlık sektöründe karşılaşılan tüm engellere rağmen sağlık sistemlerini ve kurumlarını sürdürülebilir olmaya zorlayan gelişmeler ve faktörler bulunmaktadır. Bu faktörler (Özsarı, 2011);

- Sağlık hizmetlerine erişimin artmış olması,
- Emek ve teknolojiyi yoğun kullanan sağlık sektöründe maliyetlerin artması,
- Yaşlanan nüfus ve yaşlanmaya bağlı ortaya çıkan kronik hastalık yükü,
- Çevresel sorunlara bağlı artan tehditler ve yaşam biçimleri,
- Değişen tüketici istek ve ihtiyaçları sonucu ortaya çıkan yüksek kalite beklentisidir.

Sağlık hizmetlerini sürdürülebilir olmaya zorlayan diğer bir faktör de Birleşmiş Milletler'in "Ortak Geleceğimiz" teması ile sunulan raporda vurgulanan hususlardır. Rapora göre gelecek nesillerin dünya üzerindeki haklarına zarar vermeden bugün yaşayan neslin ihtiyaçlarını giderebilmek için ekonomik, sosyal ve çevresel boyutta değerlendirmelerin yapılması gerekmektedir (Holdgate, 1987). Ekonomik boyutta sürdürülebilir sağlık hizmetleri; kesintisiz hizmet, emek ve teknolojinin yoğun kullanımına bağlı artan maliyet baskıları ile kıt kaynaklar arasındaki dengeyi sağlayabilmek için ön plana çıkmaktadır. Söz konusu kıt kaynaklar ile sağlıklı toplumlar yaratmak için sağlık sistemlerinde kaynakların etkili, verimli, hakkaniyete uygun ve sürdürülebilir bir şekilde tahsis edilmesi gerekmektedir (Munir ve diğerleri, 2019). Çünkü sürdürülebilir sağlık politikaları, insan yaşamına odaklanan geleceğe yönelik yatırımlar gerçekleştiren ve uzun dönemli fayda sağlaması beklenen planlamalardır. Uzun dönemli yatırımların gerçekleştiği bu süreçte finansmanın önemi yadsınamayacak kadar yüksektir. Nitel yöntem ile gerçekleştirilen bir araştırmada katılımcıların, sağlık hizmetlerinde sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi için finansman yönetiminin iyi olması gerektiğinin önemini vurguladıkları ifade edilmiştir. Yoğun hastalık yükü ile uğraşan sağlık sistemlerinde, finansal yükün azaltılması için katlanılabilir ve sürdürülebilir bir ekonomi politikasının önemi ısrarla vurgulanmaktadır (Castro de Fátima, 2017). Ayrıca, sürdürülebilir finansman açısından sağlık kurumlarının desteklenmesi, sağlık hizmetlerinin hem çevreyi hem dünyayı hem de hastaları koruyarak çevreci bir yaklaşımla yürütülmesi gerektiği ifade edilmiştir. Bu ifadelere ek olarak literatürde, sürdürülebilir bir sağlık sistemi için dijital hastane ve yalın hastane kavramlarına da dikkat çekildiği görülmektedir (Yılmaz ve diğerleri, 2023). Dolayısı ile finansal sürdürülebilirliğin sağlanması, sağlık sisteminin sürdürülebilirliğini sağlamanın ön şartlarından biri olarak ortaya çıkmaktadır (Abeysekera, 2022). Sağlık hizmetlerinde sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi için kurumların, diğer işletmelerde olduğu gibi ekonomik boyutta önlemler alması gerekmektedir. Çünkü sağlık kurumlarının, varlıklarını devam ettirmek ve kesintisiz hizmet sunabilmek için maliyetlerini karşılayabiliyor olmaları gerekmektedir (Çetiner ve Özen, 2019). Kâr amaçlı kurulmuş işletmelerde olduğu gibi bu amacı gütmeyen sağlık işletmelerinde de sürdürülebilir finansman yönetiminde temel amaç kurumun değerini ve imajını yükseltmek ve hizmetlerin devamını sağlayacak bir kâr marjını sürdürmektir (Topal ve diğerleri, 2006). Sağlık sistemlerinde sürdürülebilirliğin sağlanmasında finansman yönetiminin rolünü belirlemek üzere gerçekleştirilen bir araştırmanın sonuçları, "karlılık", "yüksek maliyetlerin kontrolü" ve "iyi yönetim" olmak üzere üç alt temayı ön plana çıkarmaktadır (Yılmaz ve diğerleri, 2023). Sonuç olarak, literatürden elde edilen bilgiler doğrultusunda bu çalışmada, sürdürülebilir sağlık sistemi düzeyini belirleyen temel ekonomik faktörler; maliyetlerin kontrolü, kâr marjı, uygun finansman yapısı ve ekonomik fayda artırımı, zamanında ve etkin tedarik yönetimi, yalın uygulamalar olarak ele alınacaktır.

Sağlık sistemlerinde sürdürülebilirliğin diğer bir belirleyici faktörü sosyal boyutta önlemler alınması ve hizmetin devamlılığının sağlanması ile ilgilidir. Çünkü sürdürülebilir sağlık sistemleri yalnızca ekonomik ve çevresel faktörlere odaklanmayan aynı zamanda sosyal boyutları ele alan bir perspektife sahiptir (Tsioumpri ve diğerleri, 2020). Sosyal boyutlar, sağlık sistemlerinin toplumun refahına ve eşitliğine nasıl katkı sağladığını ve toplumun sağlık ihtiyaçlarının ne düzeyde karşılandığını ele alan önemli bir bileşendir (Klaic ve diğerleri, 2022). Sağlık hizmetlerine erişimin eşit ve hakkaniyetli bir şekilde gerçekleşmesi toplumun sağlık hizmetlerine olan güven düzeyini arttırmakta ve hasta memnuniyetini sağlamaktadır. Aynı zamanda sosyal sürdürülebilirlik sağlık eğitiminin toplum genelinde yaygınlaşmasını sağlayarak bireylerin kendi sağlıklarını yönetme yeteneklerini geliştirirken sağlık hizmetlerine daha bilinçli bir şekilde katılmalarına olanak tanımaktadır (Guidetti ve diğerleri, 2022). Sürdürülebilirliğin sosyal boyutu ile ilgili olan ve her geçen gün ağırlığını arttıran diğer kavramlar ise teknoloji ve inovasyondur. Hastaların sağlık sistemine erişim hızını arttıran teknolojik gelişmeler, özellikle kronik hastalıklar veya engelli bireyler için sosyal hizmetlerin sağlanmasında önemli rol oynamaktadır (Li ve diğerleri, 2022). Fiziki erişimde sıkıntı yaşayan bu gruplar için oluşturulan iletişim platformları sağlık sistemine katılımlarını arttırmaktadır. Ayrıca kullanılan teknolojiler

(Özdemir, 2015), bilgi ve sağlık okuryazarlığı düzeyini arttırmaya, sağlık izleme becerisini geliştirmeye (giyilebilir teknolojiler), sağlık hizmetlerini kişiselleştirmeye, robotik cerrahi, yapay zekâ destekli tedavi süreçleri gibi inovasyonlar ile sağlık hizmetlerini iyileştirmeye ve hasta merkezli yani insan odaklı bakımın gelişmesine destek sağlayarak hasta memnuniyetini arttırmaya katkı sunmaktadır (Mansur ve Korkmaz, 2020). Sağlık hizmetlerinde sosyal sürdürülebilirliğin sağlanması için önemli olan diğer bir kriter de çalışan memnuniyetidir. Memnuniyeti yüksek çalışanlar; kaliteli bakım hizmeti, verimlilik, personel devamlılığı, mesleki gelişim, iş güvencesi, toplumsal etki, iş kültürü, yenilik ve inovasyon gibi alanlarda sağlık sisteminin sürdürülebilirliğine sosyal fayda sunmaktadır (Rodríguez ve diğerleri, 2021). Sosyal sürdürülebilirlik analitik olduğu kadar normatif bir anlama da sahip olan çok yönlü bir çağrıdır. Bu nedenle kavramsallaştırmada birtakım zorluklar yaşanmaktadır. Ancak aktarılan tüm gerekçeler çerçevesinde, araştırma amacına uygun olarak sosyal boyutta: hasta memnuniyeti, çalışan memnuniyeti, güvenlik hizmetleri, fiziki erişilebilirlik, teknoloji ve inovasyon faktörleri ele alınacaktır.

Sağlık hizmetlerinin sunumunda kullanılan bina ve yapılar çevresel etkiler yaratmaktadır. Bu kapsamda yeşil bina konseptleri de sağlık hizmetlerinde ön plana çıkmaktadır (Yıldız, 2016). Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) yeşil bina sertifikasyonu içerdiği kriterler itibari ile son dönemde işletmeler ve sistemler tarafından arzu edilen bir programdır. LEED sağlık hizmetlerindeki değerlendirmelerinde, bölgesel ulaşım, su verimliliği, malzeme ve kaynak kullanımı, enerji verimliliği, iç çevre kalitesi gibi kriterler kullanılmaktadır (LEED, 2023). Literatürdeki çalışmalarda göz önünde bulundurulduğu zaman, sürdürülebilirliğe etkisi olan çevresel faktörler arasında; yenilenebilir enerji kullanımı (Mehra ve Sharma, 2021), tıbbi atık yönetimi ve çevresel zararı azaltıcı süreçlerin teşviki, enerji verimliliği, yeniden kullanım ve geri dönüşüm aktiviteleri, kalite kapsamında sertifikasyon ve standartların elde edilmesi gibi kriterlerin ön plana çıktığı görülmektedir (Rodríguez ve diğerleri, 2021).

Sonuç olarak toplum sağlığı ve refahını sağlamak, iklim değişikliği ile mücadele etmek, doğal kaynakların korunmasını sağlamak, yenilik ve teknoloji gelişimini yakından takip etmek, krizlere karşı hazırlıklı olmak ve sosyal adaleti sağlayabilmek için sağlık hizmetlerinde sürdürülebilirlik önemli bir hedef olarak karşımıza çıkmaktadır. Sürdürülebilirliği sağlık hizmetlerinin birçok farklı boyutunda AHS ve diğer çok kriterli karar verme teknikleri inceleyen oldukça geniş bir uluslararası literatür mevcuttur. Ancak sağlık sektöründe sürdürülebilirlik konusunu AHS yöntemi ile ele alan sınırlı sayıda ulusal çalışma bulunmaktadır. Bu noktadan hareketle bu çalışmada, sağlık hizmetlerinde sürdürülebilirliği sağlamak için önem arz eden stratejik faktörlerin belirlenmesi ve bu faktörlerin önem düzeylerini tespit etmek üzere ağırlıklandırılması amaçlanmaktadır.

Bu kapsamda çalışmanın bir sonraki bölümünde, kriterlerin belirlenmesi için gerçekleştirilmiş olan literatür taramasına yer verilmiştir. Çalışmanın üçüncü bölümünde; çalışmanın modeli ve gerekçesi ile AHS ve çalışmanın adımlarına yer verilmiştir. Çalışmanın dördüncü bölümünde AHS yöntemi ile elde edilen bulgulara ve çalışmanın son bölümünde elde edilen bulgular ile literatürün karşılaştırmalı tartışmasına yer verilmiştir. Tartışma ve sonuç bölümünde ayrıca çalışmadan beklenen faydalara ve gelecek çalışmalar için önerilere yer verilmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Sağlık sektöründe sürdürülebilirlik ile ilgili önceliklendirme analizlerinin yapıldığı çalışmalar amaç, yöntem ve temel bulguları içerecek şekilde aşağıda sunulmuştur.

Watrowski ve diğerleri (2023) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, sağlık sistemlerinin sosyal sürdürülebilirlik odaklı ölçümünü yönlendirebilecek sürdürülebilir referans değerlerini haritalamak ve kavramsal bir yapı oluşturmak amaçlanmıştır. AHS yönteminin kullanıldığı çalışmada çizilen çerçeve; eşitlik, kalite, tepki verme yeteneği, finansal kapsam ve uyum yeteneği olmak üzere beş alanı içermektedir. Ayrıca önerilen çerçeve, sağlık sistemlerinde sosyal sürdürülebilirlik yaklaşımının kapsamlı bir değerlendirmesini sunmakta olup, uluslararası karşılaştırmalar için analitik bir araç olarak hizmet verebileceği ifade edilmektedir.

Göncü ve Çetin (2022) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, sağlık sektöründe tedarikçi seçimi sırasında göz ardı edilen sürdürülebilirlik, iş sağlığı ve güvenliği boyutlarını da içererek bütünsel bir, çok kriterli karar verme modeli geliştirmek amaçlanmıştır. DEMATEL (The Decision Making Trial and Evaluation Laboratory) ve ANP (Analytic Network Process) yönteminin kullanıldığı çalışmada, ana kriterler arasında, önem düzeyine göre sırası ile fiyat, kalite, sürdürülebilirlik, iş sağlığı ve güvenliği, teknik ve lojistik yer almıştır. Çalışma sonucunda sağlık sektörü tedarikçi seçiminde sürdürülebilirliğin önemi vurgulanmıştır.

Puska ve diğerleri (2022) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Bosna-Hersek'teki ikinci basamak sağlık kuruluşlarında tıbbi atık bertarafı sorununu en iyi çözen yakıcı tipinin seçimi için bir model önerilmektedir. FUCOM (Full Consistency Method) ve CRADIS (Compromise Ranking of Alternatives from Distance to Ideal Solution) yönteminin kullanıldığı çalışmada, atık bertarafı için en sürdürülebilir alternatifin seçiminde,

kriter olarak, sürdürülebilirliğin temel boyutları olarak çevresel, ekonomik ve sosyal faktörler göz önünde bulundurulmuştur.

Mehra ve Sharma (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmada Hindistan'daki sağlık sektörünün sürdürülebilirlik ölçümlerini politika, uygulama ve araştırmalar için yeniden önceliklendirilmektedir. AHS ve ISM (Interpretive Structural Modelling) yöntemlerinin kullanıldığı çalışmada, analiz sonuçlarına göre sürdürülebilir sağlık hizmetleri için teorik bir çerçeve çizilmiştir. İnovasyon çalışmaları ile atık azaltma, entegre tesis yönetimi, sürdürülebilir tedarik, yeşil büyüme ve çalışan memnuniyeti sürdürülebilirlik hedeflerine rehberlik edecek stratejiler olarak bulgulanmıştır.

Erjaee ve diğerleri (2021) tarafından yapılan çalışmada sağlık sistemlerinde sürdürülebilirliğin boyutlarını ve kriterlerini analiz ederek, sürdürülebilirlik düzeyini başarılı bir şekilde değerlendirecek bir metodoloji sunmak amaçlanmıştır. Hibrit çok kriterli karar verme yöntemi kullanılan modelde sürdürülebilirlik sosyal, ekonomik ve çevresel boyutlardaki kriterleri ile ele alınmıştır. Bu boyutlar altında on beş kriter sunularak, politika yapıcılara, sağlık sistemlerini dizayn ederken karşılaşılabilecekleri engellerin ve zayıf yönlerin ortaya çıkarılmış olduğu ifade edilmiştir.

Hossain ve Thakur (2020) tarafından yapılan çalışmada sağlık sektöründe, akıllı sağlık zincirinin temel faktörleri arasındaki ilişkileri önceliklendirmek amaçlanmıştır. AHS ve DEMATEL yönteminin kullanıldığı çalışmada, sağlık sektörü lojistik yönetiminde, akıllı sağlık zinciri uygulamasının en öncelikli faktör olduğu tespit edilmiştir. Sürdürülebilir uygulamaların, yenilik ve teknolojik yönlerin, kurumsal perspektiflerin, rekabetçiliğin, sosyal yönlerin ve ekonomik faktörlerin de sırası ile kritik başarı faktörleri olduğu vurgulanmıştır.

Leksono ve diğerleri (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışmada müşteri ve/veya paydaş memnuniyetini sağlamak için, sürdürülebilirlik boyutlarını dikkate alan bir sağlık tedarik zinciri performans ölçümü modeli geliştirmek amaçlanmıştır. DEMATEL, ANP ve Dengeli Sonuç Kartı yöntemlerinin kullanıldığı çalışmada soyut varlıkları yansıtan inovasyon ve öğrenme bakış açısının diğer faktörler üzerinde en yüksek etkiye sahip olduğu ifade edilmiştir. İkincil olarak, ekonomik boyutun en büyük ağırlığa sahip olduğu görülmüştür. Sosyal ve çevresel boyutlar ise daha geri planda kalmıştır.

Calabrese ve diğerleri (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışmada işletme ve toplum için bir paylaşılan değer yaratmada en önemli faktör olarak görülen sürdürülebilirlik olgusunun, bulanık AHS yöntemi ile incelenmesi amaçlanmıştır. AHS yönteminin kullanıldığı çalışmada gerçekleştirilen analiz sonucunda değer zinciri ve rekabetçi bağlam boyutlarının yakın ilişkili olduğu vurgulanmıştır. Önerilen model ile şirketin stratejik konumunu, kapasitelerini ve iç faaliyetlerini dikkate alarak paylaşılan değer üretebilecek alanlar ortaya çıkarılmıştır.

Hussain ve diğerleri (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışmada sağlık hizmetleri tedarik zincirindeki sosyal sürdürülebilirlik düzeyi ile ilgili engellerin tanımlanması, kategorize edilmesi ve önceliklendirilmesi amaçlanmıştır. AHS yönteminin kullanıldığı çalışma kapsamında 6 ana boyut altında 34 bariyer/engel tanımlanmış ve AHS aracılığıyla önceliklendirilmiştir. En yüksek önem düzeyine sahip faktörlerin örgüt kültürü ve zayıf koordinasyon ile ilgili olduğu tespit edilmiştir.

Castro de Fátima ve diğerleri (2017) tarafından yapılan çalışmada sağlık hizmetlerinde bina/yapı sürdürülebilirliğinin ölçümü üzerine bir yaklaşım geliştirilmesi amaçlanmıştır. AHS yönteminin kullanıldığı çalışmada çevresel, sosyo-kültürel, ekonomik, teknik ve bölgesel imkanlar boyutları altında 52 kriter geliştirilmiştir. En yüksek önem düzeyine sahip boyutun çevresel kriterler olduğu, teknik, ekonomik ve sosyokültürel faktörlerin ise çevresel kriterlerden sonra eşit öneme sahip olarak ikincil düzeyde olduğu raporlanmıştır.

Thakur ve Ramesh (2017) tarafından yapılan çalışmada sağlık atığı bertaraf stratejisi seçimini etkileyen faktörleri belirlemek, önceliklendirmek ve bu çerçevede bir model önermek amaçlanmıştır. AHS yöntemini kullanılan çalışmada ilgili stratejileri değerlendirmek için uzmanlığa erişim, aşırı bağımlılık, taşıma ve riskle ilişkilendirme, hükümet düzenlemeleri, çevresel faktörler ve ekonomik faktörler olmak üzere altı kriter tanımlanmış ve önceliklendirilmiştir.

Görülebildiği üzere, sağlık hizmetlerinde sürdürülebilirlik konusu uluslararası bir ilgiye sahiptir. Mevcut çalışmanın, uluslararası literatürde çok sayıda çalışma tarafından ele alınmış olan, sağlık hizmetlerinde sürdürülebilirlik olgusu ve ilişkili faktörlerin analizi aracılığıyla, ulusal alan yazınına katkı sunması hedeflenmektedir. Ayrıca, yapılacak olan önceliklendirmenin, sağlık hizmetlerinde karar vericilere ve politika yapıcılara kaynak tahsisi süreçleri için veri sağlayarak, pratik uygulamaları desteklemesi beklenmektedir.

3. YÖNTEM

3.1. Çalışmanın Modeli ve Gerekeşi

Çalışmanın modeli, sağlık hizmetlerinde sürdürülebilirlik düzeyini belirleyen boyutların, çok kriterli karar verme metodolojisine uygun olarak ağırlıklandırılmasına dayanmaktadır. Çok kriterli karar verme metodolojisi ile ele alınabilecek problemler; seçim, sıralama/önceliklendirme, sınıflandırma, tanımlama, eleme ve dizayn problemleri olarak sınıflandırılmaktadır (Lopez ve diğerleri, 2013). Çok kriterli karar verme teknikleri arasında ise birçok yaklaşım yer almaktadır. Bu yöntemler temel olarak, orijinal dillerindeki ifadeleriyle, AHP, ANP, TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), VIKOR (Više Kriterijumska Optimizacija Kompromisno Rešenje), PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations), MOORA (Multi-Objective Optimization on the Basis of Ratio Analysis), ELECTRE (Elimination and Choice Translating Reality) ve bu yöntemlerin bulanık mantıkla oluşturulmuş alternatifleri gibi yaklaşımlardan oluşmaktadır (Ceballos ve diğerleri, 2016).

Mevcut çalışma, alternatifler arasından bir seçim problemini değil, yalnızca bir olguyu değerlendirmek için kullanılacak kriterlerin önem derecelerini belirlemeyi amaçladığı için, bir önceliklendirme problemi çalışmasıdır. Türkiye’de AHS olarak ifade edilen yöntem, karşılaştırmalı değerlendirmeleri mümkün kılan, esnek, sezgisel değerlendirmelere izin veren ama aynı zamanda bu değerlendirmeleri sayısal birimlere dönüştüren bir yaklaşıma sahip olması sebebi ile çalışma için en uygun yöntem olarak ön plana çıkmaktadır (Diaz-Balteiro ve diğerleri, 2017). AHS yöntemi, yapısı itibari ile sahip olduğu şeffaflık ve kolay yorumlanabilirlik özellikleriyle, faktör önem düzeylerinin, daha kesin ve analitik olarak tutarlı bir şekilde hesaplanabilmesini mümkün kılmaktadır. Bahsedilen diğer çok kriterli karar verme tekniklerinde de ideal çözüme veya alternatife ulaşmak amaçlanırken kriter önceliklendirmesi yapılmakta ve bu önceliklendirme çoğunlukla AHS ile birlikte gerçekleştirilmektedir (Tavana ve diğerleri, 2023). AHS bu çerçevede daha çok kriterlerin ağırlıklandırılması için kullanılmaktadır (Önder, 2021). Ayrıca, araştırmanın veri setini oluşturan boyutlar belirgin ve ölçülebilir. Çalışmanın incelemekte olduğu sürdürülebilirlik olgusu, kabul görmüş haliyle sosyal, ekonomik ve çevresel boyutların bir bileşimini ifade etmektedir. Bu boyutlar, farklı alanlarda yapılan çalışmalarda da çoğunlukla net olarak kabul edilmiş olan faktörlerdir. Faktörlerin belirsizlik düzeyi, sübjektif yargıları kesin matematiksel değerlere dönüştüren AHS yaklaşımı için olumsuz bir etki yaratabilecek düzeyde değildir.

AHS yöntemi uzun yıllardır, farklı sektörlerdeki çeşitli problemlerin çözümü için, sektör uzmanları ve akademisyenler tarafından başvurulan bir yöntem olagelmıştır (Tavana ve diğerleri, 2023). 2017 yılında yayınlanmış olan ve 1979 yılından 2017 yılına kadar AHS yöntemi ile yapılmış çalışmaları inceleyen ve sınıflayan bir çalışmada, AHS’nin birçok farklı sektör ve alandaki önceliklendirme problemleri için sıklıkla başvurulan bir yöntem olduğu tespit edilmiştir (Emrouznejad ve Marra, 2017). Benzer şekilde 2020 yılında yapılan ve 20 yıllık bir periyodu içeren bir tarama çalışmasında da AHS yönteminin, doğal bilimler, sosyal bilimleri ve sağlık bilimleri alanındaki çok sayıda çalışmada başvurulan ve sonuçlarının güvenilir kabul edildiği bir yöntem olduğu ifade edilmektedir (Khan ve Ali, 2020).

Uluslararası literatürde, farklı sektörlerde, sürdürülebilirlik veya sürdürülebilir gelişme üzerine yapılan yayınlarda AHS kullanıldığı görülmektedir. Zand ve diğerleri, (2020) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, kırsal bölgelerde sürdürülebilir kalkınmanın belirleyicileri olarak tespit edilen çevresel, yönetsel, ekonomik, sosyal ve kurumsal kriterlerin AHS aracılığıyla önceliklendirildiği görülmektedir. Cuadrado ve diğerleri (2015) tarafından yürütülen çalışmada da inşaat sektöründe sürdürülebilirlik olgusu ele alınmış ve belirlenen faktörler AHP yöntemi ile ağırlıklandırılmıştır. Oudah ve diğerleri, (2012) ise aile işletmelerinde sürdürülebilirlik olgusunu incelemiş ve belirlemiş oldukları yedi temel faktör grubunu AHS yöntemi ile analiz etmişlerdir. Benzer çalışmalara Türkiye ile ilgili alan yazınında da rastlanmaktadır. Kaymaz ve diğerleri, (2022) tarafından gerçekleştirilmiş olan çalışmada, Erzurum ilinin sürdürülebilir kalkınma hedefleri yönünden değerlendirilmesi için bir SWOT analizi yürütüldüğü ve analiz sonucunda tanımlanmış olan yönlerin AHS ile değerlendirilmiş olduğu görülmektedir.

Bu çalışmanın odağını oluşturan sağlık hizmetlerinde sürdürülebilirlik olgusunun da AHS ile incelenen bir konu olduğu görülmektedir. 2023 yılında yayınlanan ve sağlık sistemlerinin sürdürülebilirliği üzerine odaklanılmış olan bir çalışmada, kriter ağırlıklarının AHS yaklaşımı ile analiz edildiği görülmektedir (Wałróbski ve diğerleri, 2023). Benzer şekilde Aljaberi ve diğerleri (2017) sağlık sisteminde sürdürülebilirlik düzeyinin ölçümü için AHS yöntemine başvurmuşlardır. Öztürk ve diğerleri (2020)’nin yürütmüş oldukları çalışmada, en yüksek sürdürülebilirlik seviyesine sahip sağlık teknolojisi seçiminde AHS yöntemine başvurdukları görülmektedir.

Tüm bu özellikleri itibari ile Türkiye sağlık sisteminde sürdürülebilirlik olgusunu inceleyen bu çalışmada, belirleyici faktörlerin önem düzeylerinin tespiti için AHS yönteminin güvenilir ve pratik sonuçlar verebileceği kanısı oluşmuştur.

3.2. AHS ve Çalışmanın Adımları

Thomas L. Saaty tarafından çok kriterli karar verme problemlerini çözmek için geliştirilmiş olan AHS, problemleri bir düzen içerisinde ele alarak ikili karşılaştırmalar ile alt faktörlerin birbiri ile kıyaslanmasını sağlayan ve böylece karar vericilerin daha doğru kararlar vermelerine yardımcı olan bir yaklaşımdır. AHS, ilgili konunun temel boyutlarını hiyerarşik bir yapı içerisinde düzenleyebilmeyi kolaylaştırmakta ve her boyutun rasyonel ağırlıkları konusunda net bir karara varmak noktasında sayısal dayanaklar sağlamaktadır (Saaty, 1990).

AHS yöntemi temel olarak beş adımdan oluşmaktadır. İlk adım araştırma probleminin ve ilgili kriterlerin tanımlanmasıdır. Bu adımda tanımlanan problem ve bu problemin çözümünde kullanılacak olan kriterler/faktörler seti çeşitli yöntemler (literatür taraması, görüşme vb.) ile tespit edilmektedir. İkinci adım problemin, kendisini oluşturan boyutları itibari ile hiyerarşik bir yapıya büründürülmesidir. Problemin belirleyicileri olarak belirlenen ana faktörler/kriterler ve bünyelerinde yer alan alt faktörler/kriterler tanımlanarak yapı oluşturulmuş olur. Üçüncü adımda ise hiyerarşik yapıdaki tüm boyutların, oluşturulan ikili karşılaştırma matrisleri yoluyla değerlendirilmesi yer almaktadır. (Tablo 1).

Tablo 1. AHS Yönteminde Karşılaştırma Matrisi

i	j		
	F ₁	F ₂	F _n
F1	w ₁ /w ₁ =1	w ₁ /w ₂	w ₁ /w _n
F2	w ₂ /w ₁	w ₂ /w ₂ =1	w ₂ /w _n
... =1
F _n	w _n /w ₁	w _n /w ₂	w _n /w _n =1

F_i, faktörleri/kriterleri; w değerlendirme sonucu verilen ağırlıkları ifade etmektedir.

Kriterlerin değerlendirilmesi için ilgili alandaki uzmanların görüşlerine başvurulmaktadır. Uzmanlar, Tablo 2'de gösterilen derecelendirme tablosunu kullanarak kriterleri, ikili karşılaştırma matrisleri aracılığıyla, birbirleri ile kıyaslamaktadır. Derecelendirme 1 ile 9 aralığında yer alan bir skala ile gerçekleştirilmektedir. Bu derecelendirme katılımcıların sübjektif değerlendirmelerini niceliksel veriye dönüştürmektedir (Saaty ve Vargas, 2001). a_{ij}, i. ölçüt ile j. ölçütün ikili karşılaştırma değeri ise, a_{ij} 1/ a_{ji} olmaktadır. i = j olan hücrelerde ise değer 1 olmaktadır. Dolayısıyla karşılaştırma matrislerinin köşegen elemanları 1 olmaktadır. Örneğin bir değerlendirmede, F₁, F₂'ye göre "5" önem derecesi ile değerlendirilmiş ise, F₁ ve F₂'nin kesişimi olan hücre "5" değerini alırken, F₂ ve F₁'in kesişimi olan hücre ise "1/5" değerini almaktadır. Böylece her bir faktörün diğer tüm faktörler karşısındaki görece önem değeri elde edilmiş olmaktadır.

AHS yönteminin dördüncü adımında, boyutların görece önem düzeyleri hesaplanmaktadır. Bu adımda ilk olarak normalize edilmiş matris oluşturulmaktadır. Normalize edilmiş matris, her sütundaki elemanların, sütun toplamına bölünmesi yolu ile elde edilmektedir (Eşitlik 1).

$$a'_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (1)$$

Sonrasında ise her satırın ortalaması alınarak öncelikler vektörü hesaplanmaktadır (Eşitlik 2). Ortalamalar ile elde edilen öncelikler matrisi, her bir faktörün önem düzeyini ifade etmektedir.

$$w_i = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n a'_{ij} \quad (2)$$

Tablo 2. AHS yönteminde kullanılan önem derecelendirme tablosu

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit önem	İki faaliyet amaca eşit düzeyde katkıda bulunur
3	Birinin diğerine göre çok az önemli olması	Tecrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine göre çok az tercih ettirir
5	Kuvvetli derecede önemli	Tecrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine göre çok kuvvetli bir derecede tercih ettirir
7	Çok kuvvetli derecede önemli	Bir faaliyet güçlü bir şekilde tercih edilir ve baskınlığı uygulamada rahatlıkla görülür
9	Aşırı derecede önemli	Bir faaliyetin diğerine tercih edilmesine ilişkin kanıtlar çok büyük güvenilirliğe sahiptir
2-4-6-8	Orta değerler	Uzlaşma gerektiğinde kullanmak üzere yukarıda listelenen yargılar arasına düşen değerler

Kaynak: (Özçiftçi ve Arsu, 2013)

Beşinci adımda, yapılan değerlendirmelerin tutarlılık düzeyinin irdelenmesi yer almaktadır. Bunun için her matris için bir tutarsızlık oranı (CR) hesaplanmaktadır. CR değeri, katılımcıların yapmış oldukları ikili karşılaştırmaların kabul edilebilirlik düzeyini belirleyen bir değerdir. CR değerinin 0,10 veya altında olması beklenmektedir (Saaty, 1990). CR değerinin hesaplanabilmesi için ilk olarak tutarlılık endeksinin (CI) hesaplanması gerekmektedir. CI hesaplanırken, ilk olarak öncelikler vektörü ile karşılaştırma matrisi çarpılmakta ve tüm öncelikler vektörleri elde edilmektedir. Bu değerler öncelikler vektöründeki değerlere bölünerek, öncelikler matrisinin maksimum öz değeri elde edilmiş olmaktadır (Eşitlik 3).

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} w_j}{w_i} \right) \quad (3)$$

Bu değer sonrası CI Eşitlik 4 kullanılarak elde edilmektedir.

$$CI = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n-1)} \quad (4)$$

Eşitlik 4'te n , faktör sayısını ifade etmektedir.

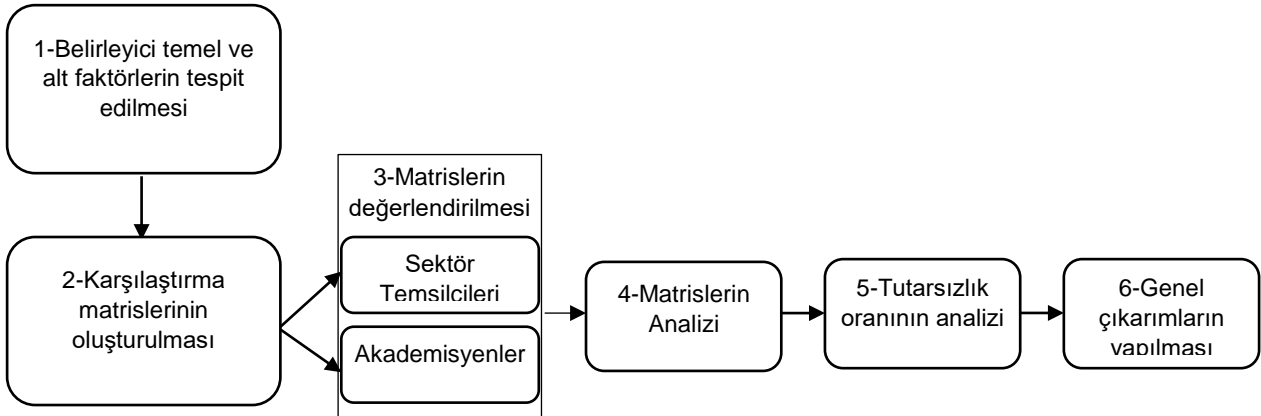
CR değerinin elde edilebilmesi için CI değerinin, Tablo 3.'te gösterilmekte olan rastgele indekste (RI), faktör sayısına göre belirlenmiş olan değere bölünmesi gerekmektedir (Saaty, 1987). Böylece CR değeri elde edilmiş olur (Eşitlik 5).

$$CR = \frac{CI}{RI} < 0,10 \quad (5)$$

Tablo 3. Rastgele indeks

	Faktör Sayısı														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,59	1,57	1,59

Mevcut çalışma, süreçleri yukarıda aktarılmış olan AHS metodolojisine uygun olarak tasarlanmış olan Şekil 1'deki adımlardan oluşmaktadır.



Şekil 1. Araştırmanın adımları

Birinci adımda, literatür taramasında elde edilmiş ve aktarılmış olan bilgilere dayalı olarak, sağlık hizmetlerinde sürdürülebilirlik düzeyine etkileyen faktörler tespit edilmiştir. İlgili faktörler temel ve alt faktör ayırımına tabi tutularak hiyerarşik yapı oluşturulmuştur (Tablo 5).

İkinci adımda, faktörlerin değerlendirilebilmesi için karşılaştırma matrisleri oluşturulmuştur. Matrisler, tablolar halinde ilk olarak, temel faktörlerin kıyaslandığı, sonrasında ise her temel faktörün kendi bünyesindeki alt faktörlerin birbirleri ile kıyaslandığı bir formatta oluşturulmuştur.

Üçüncü adımda değerlendirmeleri yapacak olan uzman seçimi süreci yürütülmüştür. Sağlık sistemlerinin ve işletmelerinin çok disiplinli yapısı ile sürdürülebilirlik olgusunun çok boyutlu yapısı, sektörü oluşturan farklı paydaşların katılımını ve iş birliğini gerektirmektedir. Bu noktada sağlık hizmetlerinde sürdürülebilirlik olgusunu inceleyen çalışmalarda uzman seçimlerine dayanak olarak paydaş teorisinin (stakeholder theory) kullanıldığı görülmektedir (Hussain ve diğerleri, 2019; Khan ve diğerleri, 2018; Varsei ve diğerleri, 2014). İşletme yönetimi açısından teori, paydaşı, işletmenin ürettiği değer tarafından etkilenebilecek veya işletmenin ürettiği değeri etkileyebilecek taraflar olarak ifade edilmektedir (Freeman ve diğerleri, 2010). Perono ve Eriksson (2010) yapmış oldukları çalışmada, sağlık sistemlerinde sürdürülebilirlik süreçleri ile ilgili potansiyel paydaşlar arasında, yerel/ulusal sağlık otoritelerini, üniversiteleri, sivil toplum kuruluşlarını ve sağlık hizmet sunucularını saymışlardır. Bu çalışmada sağlık işletmelerinden sektör temsilcileri ve

üniversitelerden akademisyenler temel paydaşlar olarak alınmıştır. Farklı sektörlerde yürütülen ve mevcut çalışma ile benzer bir yaklaşıma sahip olan çalışmalarda da AHS katılımcıları olarak, ilgili sektörün ve bölgedeki üniversitelerin temsilcilerinin yer aldığı görülebilmektedir (Damian ve diğerleri, 2023; Kwatra ve diğerleri, 2021). Çalışma, uzman görüşüne dayalı kıyaslamalara dayandığı için amaçlı örnekleme yöntemine başvurulmuş ve yukarıda yer alan gerekçeler çerçevesinde farklı perspektiflere sahip tarafların katılımını sağlamak üzere sektör temsilcileri ve akademisyenler olarak iki temel grup oluşturulmuştur. Çalışmada değerlendirici olarak, LEED sertifikasına sahip sağlık tesislerinde yönetici pozisyonunda yer alan 4 sektör temsilcisi ve sağlık yönetimi alanında çalışan 4 akademisyen yer almıştır. Katılımcılara yönelik temel bilgiler aşağıdaki tablodaki gibidir.

Tablo 4. Çalışmanın katılımcıları

<i>Katılımcı</i>	<i>Tanımlayıcı Bilgiler</i>
Akademisyen 1	Lisans ve lisansüstü eğitimlerini Sağlık Yönetimi alanında tamamlamış olup, Yönetim ve Strateji alanında Doçent unvanına sahiptir. Özel sağlık işletmelerinde yönetim tecrübesine sahiptir. Bilimsel çalışmaları, sağlık politikası, hastane yönetimi ve pazarlama konularında yoğunlaşmaktadır.
Akademisyen 2	Lisans, yüksek lisans ve doktora eğitimlerini Sağlık Yönetimi alanında tamamlamıştır. Bilimsel çalışmaları, sağlık hizmetleri finansmanı ve sağlık politikaları konuları üzerine yoğunlaşmıştır.
Akademisyen 3	Lisans, yüksek lisans ve doktora eğitimlerini Sağlık Yönetimi alanında tamamlamıştır. Hastane yönetimi ve organizasyonu üzerine bilimsel çalışmalar yürütmektedir.
Akademisyen 4	Lisans ve lisansüstü eğitimlerini Sağlık Yönetimi alanında tamamlamış olup, Yönetim ve Strateji alanında Doçent unvanına sahiptir. Sağlık ekonomisi ve sağlık finansmanı alanlarında bilimsel çalışmalar yürütmektedir.
Sektör Temsilcisi 1	Sağlık yönetimi alanında lisans ve yüksek lisans öğrenim düzeyine sahiptir. Özel hastanecilik sektöründe, insan kaynakları müdürü ve genel müdür yardımcısı unvanları ile 10 yıllık bir tecrübeye sahiptir.
Sektör Temsilcisi 2	Tıp doktoru ve sağlık yönetimi bilim uzmanıdır. Özel hastanecilik sektöründe yatırımcı ve yönetici pozisyonları 20 yıllık bir iş tecrübesine sahiptir. Sağlık finansmanı ve maliyet yönetimi konularında bilimsel çalışmalar yürütmektedir.
Sektör Temsilcisi 3	Sağlık yönetimi lisans ve yüksek lisans mezunudur. Kamu sağlık sektöründe idari ve mali işler müdürlüğü ve çeşitli departman yöneticiliği unvanları 10 yıllık bir tecrübeye sahiptir.
Sektör Temsilcisi 4	Tıp doktoru ve sağlık yönetimi bilim uzmanıdır. Özel hastanecilik sektöründe üst düzey yönetici olup 25 yıllık iş tecrübesine sahiptir. 11 yıldır yönetici pozisyonunda çalışmakta ve sürdürülebilirlikle ilgili süreçlerde uzmanlığı bulunmaktadır.

Dördüncü adımda katılımcılardan elde edilen matrisler Microsoft Excel programı yardımıyla analiz edilmiştir. AHS ile ilgili bilgilerde aktarıldığı üzere, öncelikle her bir katılımcının değerlendirmeleri için olarak normalize matrisler Eşitlik 1, öncelikler vektörü Eşitlik 2 ve öz değer Eşitlik 3 elde edilmiştir. Böylece her bir faktörün ve alt faktörün katılımcı bazında önem düzeyleri elde edilmiştir.

Beşinci adımda, her bir katılımcının değerlendirmelerindeki kabul edilebilir tutarlılık düzeyini irdelemek için, Eşitlik 4 ve 5'te verilmiş olan matematiksel işlemler sonucunda, tutarsızlık oranları (CR) hesaplanmıştır.

Altıncı adımda sonuçlardan çıkarımlar yapılabilmesi amacıyla ilk önce katılımcı bazında ve sonrasında tüm katılımcıların sonuçlarının entegre edilmesi ile elde edilen genel ağırlıklar raporlanmıştır. Buradaki entegrasyondan kasıt, her bir faktör için tüm katılımcıların değerlendirmelerinin aritmetik ortalamasının alınmasıdır. Benzer şekilde her bir katılımcı için bireysel değerlendirmeleri elde etmek ve araştırma modelleri doğrultusunda gruplar oluşturmak amacı taşıyan çalışmalarda, nihai değerlerin elde edilmesinde aritmetik ortalama alınması uygulamasının kullanılabildiği görülmektedir (Kwatra ve diğerleri, 2021). Bu doğrultuda, mevcut çalışma bireysel değerlendirmelerle başlayıp, bireysel katılımcıların ait oldukları kategoriyi irdelemekte ve nihai noktada iki farklı grubun sonuçlarını bir araya getirmektedir. Bu amaçla, önem derecelerinin tespit edildiği analiz aşamasında, katılımcıların değerlendirmelerinin geometrik ortalamaları alınarak faktör önem düzeyleri tek bir düzeyde tespit edilmemiştir. Bu yaklaşımda, bireysel olarak katılımcıların sonuçlarının raporlanması mümkün olmamaktadır. Ancak mevcutta yürütülen yaklaşımda, katılımcı bazında atfedilen önem düzeyleri görülebildiği gibi, akademisyen ve sektör temsilcisi grubunun değerlendirmeleri de ayırt edilebilmektedir. Bu ayır etme çabasındaki amaç, paydaş taraflar arasındaki farklı algılara yönelik veri sunabilmektedir. Çünkü sürdürülebilirlik konusu sektördeki birçok aktör

tarafından çalışılan bir alandır. Bu farklı algıya yönelik verinin, taraflar arasındaki farklılıkların anlaşılabilmesine ve böylece iş birliği sağlanması noktasında yardımcı olabileceğine inanılmaktadır.

4. BULGULAR

Literatür taraması sonucunda, “Sosyal (S)”, “Ekonomik (E)” ve “Çevresel (Ç)” olmak üzere üç ana faktör oluşturulmuş ve Tablo 5’de alt faktörleri ile birlikte sunulmuştur. Alt faktörler belirlenirken Sağlık Bakanlığı tarafından 2013 yılında 200 yatak ve üzeri kapasiteye sahip hastaneler için zorunlu hale getirilen Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) Yeşil Bina Sertifikası kriterlerinden de yararlanılmıştır. LEED Yeşil Bina sertifikası, binaların sürdürülebilirlik seviyelerini derecelendiren bir sertifika programıdır. LEED sertifika programı kapsamında öne çıkan kriterler arasında yalın uygulamaların yaygınlaşması, enerji verimliliği, geri dönüşüm, etkin tedarik zinciri yöntemi gibi kriterler yer almaktadır (LEED, 2023).

Tablo 5. Sürdürülebilirlik düzeyini belirleyen faktörlerin listesi

<i>Faktörler</i>	<i>İlgili Kaynak</i>
<i>Sosyal (S)</i>	
Çalışan Memnuniyeti (S1)	Tsioumpri ve diğerleri, 2020
Hasta Memnuniyeti (S2)	Tsioumpri ve diğerleri, 2020
Güvenlik Hizmetleri (S3)	Rodríguez ve diğerleri, 2021
Fiziki Erişilebilirlik (S4)	LEED, 2023
Teknoloji ve İnovasyon (S5)	Özdemir, 2015; Li ve diğerleri, 2022
<i>Ekonomik (E)</i>	
Kar Marjı (E1)	Topal ve diğerleri, 2006; Çetiner ve Özen, 2019
Maliyet Kontrolü (E2)	Özsarı, 2011
Uygun Finansman Yapısı ve Ekonomik Fayda Artırımı (E3)	Çetiner ve Özen, 2019
Zamanında ve Etkin Tedarik Yönetimi (E4)	LEED, 2023
Yalın Uygulamaların Teşviki (E5)	LEED, 2023
<i>Çevresel (Ç)</i>	
Yenilenebilir Enerji Kullanımı (Ç1)	LEED, 2023; Yüksel ve diğerleri, 2022; Mehra ve Sharma, 2021
Tıbbi Atık Yönetimi ve Çevresel Zararı Azaltıcı Süreç Teşviki (Ç2)	LEED, 2023; Yüksel ve diğerleri, 2022
Enerji Verimliliği (Ç3)	LEED, 2023
Yeniden Kullanım ve Geri Dönüşüm Aktiviteleri (Ç4)	LEED, 2023
Sertifikasyon ve Standartların Edinilmesi (Ç5)	Rodríguez ve diğerleri, 2021

Üç ana faktör ve toplam on beş alt faktörden oluşan hiyerarşik yapı, katılımcılar tarafından ikili karşılaştırma matrisleri aracılığıyla değerlendirilmiştir.

Tablo 6’da her bir katılımcının değerlendirmeleri sonucunda oluşan önem düzeyleri raporlanmıştır. Bu önem düzeyleri matrislerin bireyler bazında değerlendirilmesi yoluyla elde edilmiştir. Her bir katılımcı için karşılaştırma matrisleri hazırlanmış, matrisler normalize edilmiş ve öncelikler vektörü elde edilmiştir. Ana faktörler içinde “Ekonomik Faktörler” dört katılımcı tarafından en önemli faktör olarak değerlendirilmiştir. “Çevresel Faktörler” üç katılımcı tarafından en yüksek önem düzeyine sahip faktör olarak değerlendirilmiştir. “Sosyal Faktörler” ise yalnızca bir katılımcı tarafından- “Ekonomik Faktörler” ile eşit önem düzeyine sahip olacak şekilde- en önemli faktör olarak değerlendirilmiştir. Üç katılımcının ise en yüksek önem düzeyine sahip faktör olarak “Çevresel Faktörleri” değerlendirdiği görülmüştür.

Tablo 6. Katılımcılar bazında temel ve alt faktörlerin ağırlıkları

Faktörler	Katılımcılar							
	1. Katılımcı	2. Katılımcı	3. Katılımcı	4. Katılımcı	5. Katılımcı	6. Katılımcı	7. Katılımcı	8. Katılımcı
S	0,1593	0,0964	0,2267	0,4615	0,0641	0,2857	0,2721	0,1226
E	0,5889	0,6194	0,0718	0,4615	0,2895	0,5714	0,6080	0,3202
Ç	0,2519	0,2842	0,7015	0,0769	0,6463	0,1429	0,1199	0,5571
S1	0,0588	0,0480	0,1195	0,3605	0,0658	0,0700	0,2041	0,1182
S2	0,4209	0,5256	0,3485	0,2344	0,3430	0,3248	0,4876	0,2182
S3	0,0812	0,0690	0,0525	0,1522	0,0816	0,0960	0,1484	0,2364
S4	0,1530	0,2186	0,2949	0,2044	0,2130	0,1813	0,1058	0,3091
S5	0,2862	0,1388	0,1847	0,0485	0,2965	0,3279	0,0541	0,1182
E1	0,3563	0,3224	0,0929	0,1322	0,3291	0,3197	0,2214	0,1028
E2	0,2936	0,2850	0,0574	0,0948	0,3372	0,2464	0,4351	0,2289
E3	0,1776	0,1988	0,2870	0,1701	0,1308	0,1649	0,1260	0,2797
E4	0,1116	0,1194	0,2813	0,5121	0,1219	0,1599	0,1510	0,1097
E5	0,0610	0,0744	0,2813	0,0909	0,0810	0,1091	0,0665	0,2789
Ç1	0,0799	0,1261	0,3747	0,2308	0,2800	0,2468	0,1501	0,2882
Ç2	0,5125	0,4519	0,1789	0,2308	0,2552	0,1484	0,1003	0,1944
Ç3	0,1872	0,1616	0,1148	0,2308	0,2267	0,2832	0,2281	0,2518
Ç4	0,1531	0,1850	0,2242	0,2308	0,1526	0,1933	0,1163	0,1944
Ç5	0,0673	0,0754	0,1073	0,0769	0,0855	0,1283	0,4052	0,0711

Tüm katılımcıların ana faktörler karşılaştırma matrisleri ve alt faktörler karşılaştırma matrislerinde yaptıkları değerlemelerin tutarsızlık oranları (CR) hesaplanmıştır. Tüm karşılaştırma matrisleri için CR değerlerinin %10 düzeyinde veya altında olduğu görülmüştür (Tablo 7).

Tablo 7. Katılımcılar bazında tutarsızlık indeksi (CR) değerleri

Katılımcılar	Ana Faktörler Karşılaştırma Matrisi	Sosyal Faktörler Alt Grubu Matrisi	Ekonomik Faktörler Alt Grubu Matrisi	Çevresel Faktörler Alt Grubu Matrisi
1.Katılımcı	0,0464	0,0470	0,0886	0,0821
2.Katılımcı	0,0747	0,1015	0,0694	0,0796
3.Katılımcı	0,0467	0,0682	0,0073	0,0657
4.Katılımcı	0	0,1016	0,0707	0
5.Katılımcı	0,0640	0,0858	0,0407	0,0373
6.Katılımcı	0	0,0232	0,0305	0,0358
7.Katılımcı	0,0639	0,0535	0,0753	0,0601
8.Katılımcı	0,0157	0,0624	0,0256	0,0740

Ayrı ayrı yapılmış olan değerlendirmelerin, tüm katılımcı değerlendirmelerinin aritmetik ortalamasının alınması yoluyla entegre edilmiş hali Tablo 8’ de raporlanmıştır. Ortalamaların alınması sonucu oluşan yapıda, en yüksek önem düzeyine sahip olan ana faktörün %44,13 ile “Ekonomik Faktörler” olduğu görülmüştür. Ekonomik faktörleri %34,76 ile “Çevresel Faktörler” takip ederken, “Sosyal Faktörler” ise %21,11 ile en düşük önem düzeyine sahip faktör olarak ortaya çıkmıştır.

Entegre edilmiş değerlendirmelere göre sosyal faktörler grubunun kendi içinde en yüksek önem düzeyine sahip olan alt faktörün %36,29 ile “hasta memnuniyeti” olarak değerlendirildiği görülmüştür. Hasta memnuniyetin genel önem düzeyi ise %7,66 olarak hesaplanmıştır. Sosyal faktörler içinde hasta memnuniyetini, %21 ile “fiziki erişilebilirlik” takip ederken, en düşük önem düzeyinin “güvenlik hizmetleri” için olduğu görülmüştür.

Ekonomik faktörler grubu içerisinde en yüksek önem düzeyi atfedilen alt faktörlerin, %24,73 ile “maliyet kontrolü” ve %23,46 ile “kâr marjı” olduğu tespit edilmiştir. İlgili faktörlerin genel model içindeki önem düzeyleri sırasıyla %10,91 ve %10,36 olarak hesaplanmıştır. Ekonomik faktörler içinde en düşük önem düzeyinin “yalın uygulamaların teşviki”ne atfedildiği görülmüştür.

Tablo 8. Birleştirilmiş önceliklendirme sonuçları

		<i>Alt Faktörler</i>	
<i>Ana Faktörler</i>	<i>Alt Faktör</i>	<i>Grup İçindeki Önceliği</i>	<i>Genel Öncelik Durumu</i>
Sosyal (%21,11)	Faktörler S1- Çalışan Memnuniyeti	13,06%	2,76%
	S2- Hasta Memnuniyeti	36,29%	7,66%
	S3- Güvenlik Hizmetleri	11,47%	2,42%
	S4- Fiziki Erişilebilirlik	21,00%	4,43%
	S5- Teknoloji ve İnovasyon	18,19%	3,84%
Ekonomik (%44,13)	Faktörler E1- Kâr Marjı	23,46%	10,35%
	E2- Maliyet Kontrolü	24,73%	10,91%
	E3- Uygun Finansman Yapısı ve Ekonomik Fayda Artırımı	19,19%	8,47%
	E4- Zamanında ve Etkin Tedarik Yönetimi	19,59%	8,64%
	E5- Yalın Uygulamaların Teşviki	13,04%	5,75%
Çevresel (%34,76)	Faktörler Ç1- Yenilenebilir Enerji Kullanımı	22,21%	7,72%
	Ç2- Tıbbi Atık Yönetimi ve Çevresel Zararı Azaltıcı Süreç Teşviki	25,91%	9,01%
	Ç3- Enerji Verimliliği	21,05%	7,32%
	Ç4- Yeniden Kullanım ve Geri Dönüşüm Aktiviteleri	18,12%	6,30%
	Ç5- Sertifikasyon ve Standartların Edinilmesi	12,71%	4,42%

Çevresel faktörler içinde en yüksek önem düzeyine sahip olan alt faktörün %25,91 ile “tıbbi atık yönetimi ve çevresel zararı azaltıcı süreç teşviki” olduğu görülmüştür. Bu faktörün genel önem düzeyi %9,01 olarak hesaplanmıştır. “Yenilenebilir enerji kullanımı” ve “enerji verimliliği” birbirine oldukça yakın önem düzeyleri ile tıbbi atık yönetimi ve çevresel zararı azaltıcı süreç teşviki faktörünü takip etmektedir (%22,21 ve %21,05). Bu iki faktörün genel önem düzeyleri sırasıyla, %7,72 ve %7,32 olarak hesaplanmıştır.

Katılımcılar arasındaki perspektif farklarını ortaya koyabilmek adına, değerlendirmeler katılımcı gruplarına göre ayrıma tabi tutulmuştur. “Sektör temsilcileri” ve “akademisyenler” olarak ayrılan katılımcıların değerlendirmelerinin birbirlerinden farklılaştığı görülmektedir (Tablo 9). Sektör temsilcileri için en önemli ana grup “ekonomik faktörler” iken, akademisyenler grubu için “çevresel faktörler” olmuştur.

Tablo 9. Katılımcı grubuna göre ana faktörlerin ağırlıkları

<i>Faktörler</i>	<i>Katılımcı Grubu</i>	
	<i>Sektör Temsilcileri</i>	<i>Akademisyenler</i>
S	0,203373	0,2187
E	0,596908	0,2858
Ç	0,199719	0,4955

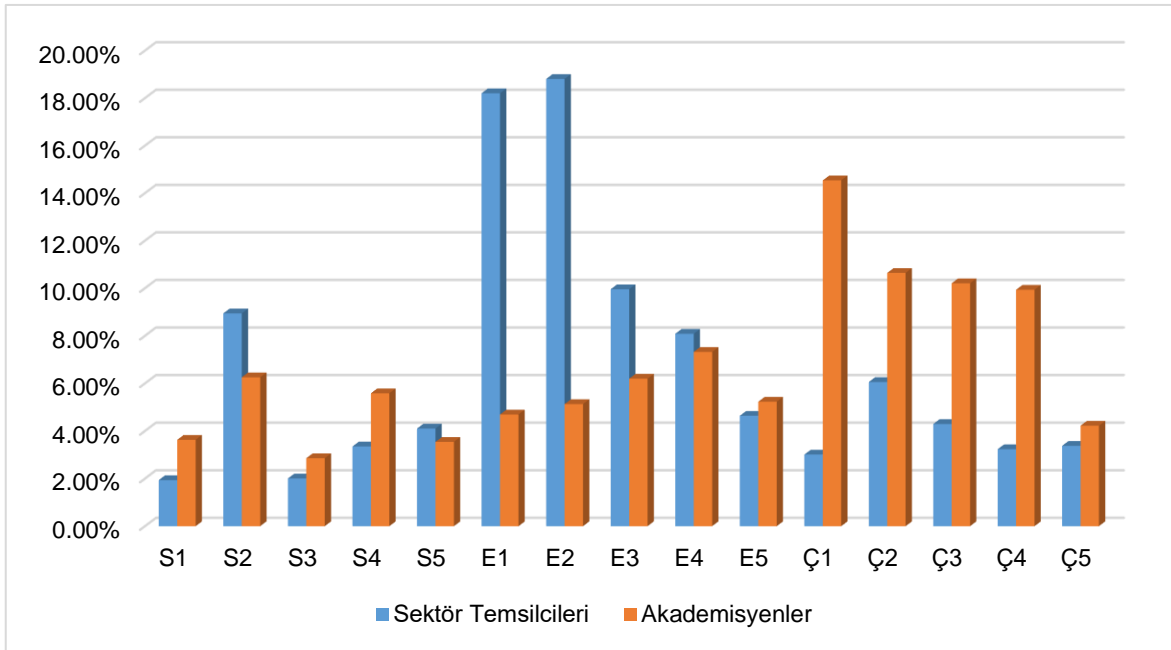
Katılımcı gruplarına göre entegre edilmiş sonuçlara göre, alt faktörlerde de önemli bir farklılık olduğu görülmektedir. Sektör temsilcileri en yüksek önem düzeyini “kâr marjı” ve “maliyet kontrolü” değişkenlerine atfederken; akademisyenler ise “yenilenebilir enerji kullanımı” ve “tıbbi atık yönetimi ve çevresel zararı azaltıcı süreç teşviki” faktörlerine atfetmişlerdir (Tablo 10).

Şekil 2’de görüldüğü üzere, sektör temsilcilerinin değerlendirmeleri, ekonomik faktörlere (özellikle kâr marjı ve maliyet kontrolü) atfedilen önem ile karakterize iken; akademisyenlerin değerlendirmelerinin çevresel faktörlerde yoğunlaşmasına rağmen daha dengeli bir dağılım gösterdiği tespit edilmiştir.

Sürdürülebilir sağlık hizmetlerinin geleceği için tartışılan yeni perspektif çok paydaşlı (multi-stakeholder) bir yaklaşımı içermektedir. Pereno ve Eriksson (2020) bu perspektifle yayınlamış oldukları çalışmada, sürdürülebilir bir sağlık sistemi için üç ana aktör; sağlık endüstrisi, sağlık hizmet sunucuları ve hastalar olarak ifade edilirken bu aktörlere destek olan üniversiteler, sivil toplum kuruluşları vb. gibi yapılar tanımlamışlardır. Sağlık hizmet sunucuları olarak özel ve kamu işletmelerini aldıkları çalışmada, bu grubun rolünü en yüksek öneme sahip olarak sınıflandırmışlardır. Üniversiteler ise araştırma ve inovasyon faaliyetleri aracılığıyla, farklı perspektifler sağlayabilecek ve özellikle çevresel sürdürülebilirlik konusuna destek verebilecek yapılar olarak ifade edilmiştir. Sürdürülebilirlik, üç temel boyutu ile değerlendirildiği zaman, farklı boyutları önceleyen tarafların koordineli çalışmasının önemi ortaya çıkmaktadır. Nitekim mevcut çalışmada, sektör temsilcileri sürdürülebilirlik ile ilgili temel boyutu ekonomik faktörler nezdinde algımlarken, üniversitelerden akademisyenler bu olguyu daha çok sosyal ve çevresel boyutları önceliklendirerek değerlendirmişlerdir.

Tablo 10. Katılımcı grubuna göre alt faktörlerin ağırlıkları

Alt Faktörler	Sektör Temsilcileri		Akademisyenler	
	Grup İçindeki Önceliği	Genel Öncelik Durumu	Grup İçindeki Önceliği	Genel Öncelik Durumu
S1	0,095191	0,019359	0,1660	0,036307
S2	0,43971	0,089425	0,2860	0,062562
S3	0,098662	0,020065	0,1307	0,028583
S4	0,164692	0,033494	0,2554	0,055855
S5	0,201746	0,04103	0,1620	0,035429
E1	0,304968	0,182038	0,1642	0,046937
E2	0,31502	0,188038	0,1796	0,051324
E3	0,166822	0,099578	0,2169	0,061984
E4	0,135462	0,080858	0,2562	0,073229
E5	0,077728	0,046396	0,1830	0,052305
Ç1	0,150742	0,030106	0,2934	0,145384
Ç2	0,303288	0,060572	0,2148	0,106448
Ç3	0,215011	0,042942	0,2060	0,102082
Ç4	0,161904	0,032335	0,2005	0,099353
Ç5	0,169055	0,033764	0,0852	0,042217

**Şekil 2. Alt faktörlerin önem düzeyinin katılımcı türüne göre görselleştirilmesi**

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Doğal kaynakların tükenme riski, iklim değişiklikleri, küresel salgınlar ve ekosistemin her geçen gün bozulmaya devam etmesi sürdürülebilirlik bakış açısının gelişmesini sağlamıştır. Gelecek nesiller için daha yaşanılır bir dünya bırakmayı amaçlayan sürdürülebilirlik bakış açısı temelde enerji ve kaynak tüketiminin doğru kullanımını ve ekosistemin onarımını sağlamayı amaçlamaktadır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın oluşturduğu hizmet yapılarında enerji tüketim istatistiklerine göre oteller ve alışveriş merkezlerinden sonra en çok enerji tüketimine sahip yapı, sağlık tesisleri olmuştur (ETKB, 2023). Ayrıca sağlık tesis sayısındaki artış, hasta popülasyonunun artması, kesintisiz hizmet sunumu, küresel salgınlar enerji tüketimi ile birlikte çevre kirliliğini de arttıran unsurlar arasında yer almaktadır. Bu yüksek tüketimleri karşılayabilecek doğal kaynakların kıt olması, çevreye verilen zararın azaltılma ihtiyacı sağlık hizmetlerinde de sürdürülebilirliği gündeme getirmiştir. Ancak sağlık sektöründe sürdürülebilir hizmetler henüz yeterli seviyeye ulaşmamıştır (Tiftik, 2022).

Bu temel gerekçeler çerçevesinde, sağlık hizmetlerinde sürdürülebilirlik girişimlerini destekleyici bu çalışmada, sağlık hizmetlerinde sürdürülebilirlik düzeyini belirlemek için kullanılacak faktörlerin belirlenmesi ve bu faktörlerin önem derecesine göre önceliklendirilmesi amaçlanmıştır. Hem akademi hem de sektör temsilcilerinin katıldığı çalışmada üç ana faktör ve toplam on beş alt faktörden oluşan hiyerarşik yapı, ikili karşılaştırma matrisleri aracılığıyla değerlendirilmiştir. Sektör temsilcileri tarafından ana faktörler

içerisinde en önemli faktör, “Ekonomik Faktörler” olarak değerlendirilmiştir. Ekonomik faktör grubu içerisinde en önemli alt faktörler ise “Maliyet Kontrolü ve Kar Marjı” olarak ifade edilmiştir. Sürdürülebilir sağlık yapılarının yatırım maliyetlerinin yüksek olduğu algısı ve yeşil hastane uygulamalarına geçişte öngörülemeyen mali risklerin oluşabileceği düşüncesi, sürdürülebilirlik düzeyini belirlerken ekonomik faktörlerin ön plana çıkmasını destekleyeceği bulgular olarak karşımıza çıkmaktadır (Doğan, 2020). Sürdürülebilir tesislerin oluşturulmasının önündeki engellerin araştırıldığı bir çalışmada “maliyetlerin yüksek olması” en büyük engel olarak tespit edilmiştir (Darko ve Chan, 2017). Mehra ve Sharma (2021) tarafından yapılan ve Hindistan sağlık hizmetleri bağlamında sürdürülebilirliğin önemini AHS ile önceliklendiren araştırmada, sağlık hizmet sunumunda toplam maliyetlerin azaltılmasının sağlık hizmet sunucuları için hayati önem taşıdığı vurgulanmıştır. Sağlık çıktılarına iyileştirmenin en önemli yollarından birisinin maliyetlerde tasarruf sağlamak ve kar artışını desteklemek olduğu tespit edilmiştir. Araştırmada yeşil büyüme, araştırma ve yenilikler, operasyonel tasarruf ve yerli üretim alt kriterlerinden oluşan ekonomik boyut, çevresel boyuttan sonra ikincil en önemli rolü üstlenmiştir. Başka bir çalışmada, sürdürülebilirlik sertifikasına başvuru ve sertifika sürecinin de maliyetli olması diğer bir engel olarak belirtilmiştir. Enerji verimliliğini sağlayacak ürünlerin ithal olması, yerel ürün eksikliği ve sürdürülebilir yatırım maliyetinin kısa vadede geri dönüşümünün olmayacağı düşünülmesi de ekonomik faktörlerin ön plana çıkmasını desteklemektedir (Yazdanpanah ve diğerleri, 2018). Özellikle sektör temsilcileri tarafından mevcut durumda sağlık tesislerinin sürdürülebilirlik projelerini başlatmak ve devamını sağlayabilmek için yüksek kâr marjına ve maliyet kontrolüne sahip olunması gerektiği şeklinde bir değerlendirme yapılmıştır. Sağlık sektöründe, sürdürülebilirlik yatırımları için gerekli olan bütçe ve finansal desteğin sınırlı olması, yatırım maliyetlerin yüksek olması ve sürdürülebilirlik yatırım maliyetlerinin geri dönüşünün uzun vadede gerçekleşmesi ekonomik faktörleri ön plana çıkaran unsurlar arasındadır. Bu nedenle sağlık sektöründe sürdürülebilir yatırımların artırılması için ek finansman desteği ya da teşvik edici politikalar geliştirilmelidir. Ekonomik faktörler içerisinde en az önem yalın uygulamaların hayata geçirilmesine atfedilmiştir. Bu durum sağlık çalışanlarının alışılmış sistemin değişmesine karşı gösterdiği bir direnç ile ilgili olabilir (Korkmazer ve diğerleri, 2020).

Çevresel faktörler, ekonomik faktörlerden sonra önem düzeyi en yüksek ikinci ana kriter olmuştur. Ancak katılımcı gruplarına göre ayrı ayrı değerlendirmeler yapıldığında, akademisyenler, çevresel faktörlere daha yüksek düzeyde önem atfetmiştir. Çevresel faktörlerde önem düzeyi yüksek olan alt faktörler, “yenilenebilir enerji kullanımı”, “tıbbi atık yönetimi ve çevresel zararı azaltıcı süreç teşviki” şeklinde sıralanmıştır. Hem doğal kaynakların korunması hem de toplum sağlığının korunması açısından çevresel faktörler önemli bir rol oynamaktadır. Çalışmada elde edilen bu bulgu, kriter düzeyinde sürdürülebilirlik boyutlarını ölçen son çalışmalar ile tutarlıdır (Henser, 2020; Sanchez ve diğerleri, 2020). Diğer çalışmalara benzer şekilde, alt kriterlerde atık yönetimi ve çevresel tedbirler ilk sıralarda yer almaktadır (Guzzo ve diğerleri, 2020; Leiden ve diğerleri, 2020). Çünkü gelişmiş ülkeler de dahil olmak üzere sağlık sektörü yüksek miktarda tıbbi atık üretmektedir. Sağlık sektöründe tüketilen su miktarının yüksek olmasının yanı sıra hastaların tedavi sürecinde verdiği kan, idrar ve dışkı numuneleri hastane atık sularına karışmakta ve içerisinde farmasötik atık, hormon ve mikroorganizma içermesinden dolayı hem çevreyi hem de toplum sağlığını tehdit etmektedir (Yurtseven, 2012). Kompleks yapılara sahip olan sağlık tesisleri, yüksek enerji tüketiminin yanı sıra tedarik, ulaşım ve yapım aşamalarında da ürettiği yoğun CO₂ miktarı ile hava kirliliğine sebep olmaktadır (Kazel, 2022). Bu nedenle akademisyenler tarafından toplum faydası göz önünde bulundurulduğunda yenilenebilir enerji kullanımı, tıbbi atık yönetim süreci ve çevreye verilen zararın azaltılması yönündeki yatırımlara daha yüksek önem atfedilmiştir. Sertifikasyon ve standartların edinilmesi ise çevresel faktörlerde en az önem atfedilen kriter olmuştur. Ancak sertifikasyon ve standartların edinilmesi, sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için önemli bir araçtır. Çünkü sürdürülebilirlik sertifikaları, organizasyonların, ürünlerinin veya hizmetlerinin sürdürülebilirlik açısından ne kadar başarılı olduğunu göstermekte, güvenilirlik sağlayarak pazar avantajı yaratmaktadır. Bu nedenle sürdürülebilir sağlık tesislerinin sayısının artırılabilmesi için sertifikasyon önemli bir husustur. Ülkemizde sertifikasyon sürecine yönelik zorunluluğun 200 yatak ve üzeri kapasitedeki hastaneler için geçerli olmasının etkisi ile yeni kurulan birçok hastane sürdürülebilirliğe ve sertifika alımına hedefleri arasında yer vermemektedir. Bu durumda sertifikasyon süreçlerine yönelik zorunluluğun farklı kategoriler ve düzeylerdeki sağlık tesisleri için yeniden gözden geçirilmesi önerilmektedir.

Ekonomik ve çevresel faktörlere göre daha az önem atfedilen sosyal faktörler grubunun kendi içinde en yüksek önem düzeyine sahip olan alt faktörü %36,29 ile “hasta memnuniyeti” olmuştur. Hasta memnuniyetinin genel yapı içindeki önem düzeyi ise %7,66 olarak hesaplanmıştır. Sektör temsilcileri, akademisyenlere göre hasta memnuniyetine daha yüksek önem atfetmiştir. Hasta memnuniyet düzeyinin hasta sadakati, yeniden başvuru, iyi itibar, referans, mali verimlilik ve kâr marjı ile ilişkili olduğu düşünüldüğünde sektör temsilcilerinin, akademisyenlere göre daha yüksek önem atfetmesi beklenen bir durumdur. Akademisyenler tarafından değerlendirilen sosyal faktörlerin önem düzeyi dengeli bir dağılım göstermektedir. Hasta memnuniyetinden sonra önem atfedilen ikinci faktör fiziki erişilebilirliktir. Fiziki

erişilebilirlik, sağlık hizmetlerinin herkes için eşit ve adil bir şekilde sunulduğunun göstergesi olup toplumsal sürdürülebilirlik için kritik bir öneme sahiptir (Gulliford ve Jessop, 2020).

Sonuç olarak sağlık sisteminin; varlığını devam ettirmesi, uzun vadede etkinliğini, ekolojik ve toplumsal dengesini koruması aynı zamanda gelecek nesillere, sağlık hizmetlerine erişim imkânı tanıyabilmesi için sürdürülebilir bir yapıya kavuşması gerekmektedir. Ülkemizde sürdürülebilir sağlık yapıları için girişimler bulunsa da henüz yeterli seviyeye ulaşamamıştır. Bu çalışma, sağlık sektöründe sürdürülebilirliğin boyutlarını ele alarak literatür doğrultusunda stratejik faktörleri belirleyip ağırlıklandırmasını gerçekleştirerek ulusal alan yazınına katkıda bulunmayı amaçlamıştır. Araştırma sonucunda elde edilen bulgular, karar vericilere sağlık hizmetlerinde sürdürülebilirliği kurma veya geliştirme konusunda ya da sürdürülebilir uygulamaları önceliklendirme hususunda yardımcı olabilecektir. Ayrıca sağlık hizmetlerinde sürdürülebilirlik uygulamalarında önemli adımları tanımayı da desteklemektedir. Tüm bu hususlara ek olarak sürdürülebilir sağlık hizmetlerine sahip olabilmek için öncelikle ekonomik faktörlerin iyi analiz edilmesi, yönetilmesi ve gerekli teşviklerin sağlanması gerektiğini ortaya koymaktadır. Finansal destek mekanizmalarının oluşturulması ve etkili sağlık sigorta programlarının hayata geçirilmesi önerilmektedir. Aynı zamanda kamu- özel iş birliğinin desteklenmesi, sürdürülebilir sağlık hizmetleri için maliyet odaklı yaşam döngüsünün oluşturulması, geleneksel sağlık hizmetleri ile sürdürülebilir sağlık hizmet çıktılarının karşılaştırılarak sektör temsilcilerine gerekli farkındalık eğitimlerinin düzenlenmesi önerilmektedir. Çevresel zararı azaltmak ve kaynak sürdürülebilirliğini sağlamak için de hastane atık yönetimi, enerji verimliliği, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, sera gaz salınımı ve karbon ayak izinin azaltılması için farkındalık çalışmalarının yürütülmesi ve gerekli tedbirlerin alınması önerilmektedir. Sağlık teknolojisi ve dijitalleşme faaliyetlerinin sürdürülebilir sağlık hizmetleri ile bütünleştirilmesi, elektronik sağlık kayıtları, tele-tıp ve diğer dijital sağlık uygulamalarının hayata geçirilmesi, sağlık hizmetlerinin daha erişilebilir ve verimli hale getirilmesine yardımcı olacaktır.

Çalışma içeriği itibari ile bazı kısıtlar barındırmaktadır. Sağlık hizmetlerinde sürdürülebilirlik üzerine gerçekleştirilen bu çalışma, AHS yöntemi aracılığı ile temel bir çerçeve oluşturmuştur. Ancak, gelecek araştırmalarda kullanılan AHS yöntemi, farklı çok kriterli karar verme metodu ile karşılaştırmalı olarak ve bulanık mantık uygulamaları ile genişletilebilir. Erjaee ve diğerleri (2022) tarafından, yukarıda belirtilen yaklaşım ile yürütülmüş olan bir çalışmada, bulanık mantık aracılığıyla, sağlık hizmetlerinde sürdürülebilirlik olgusu ile ilgili belirsizliklerin daha net olarak analiz edilebildiği ve politika yapıcılara daha geçerli veriler sunulabildiği ifade edilmiştir. Dolayısıyla mevcut çalışma üzerine devam ettirilebilecek gelecek çalışmalar, daha geniş bir alanı kapsayan ve belirsizlik düzeyi daha yüksek olan faktör setlerini bulanık mantık aracılığıyla analiz edebilir.

Çalışmanın ikinci bir kısıtı, faktör seti oluşturma ve değerlendirme noktasında nitel yaklaşımda yaşadığı eksikliklerdir. Mevcut çalışma, uzman görüşlerini ikili karşılaştırmalar üzerinden elde etmiştir. Gelecek çalışmalar, bu değerlendirmelerin öncesinde, yarı yapılandırılmış anket formu ile daha fazla veri toplayarak nitel ve nicel yaklaşımlar arasındaki boşluğu doldurmayı amaçlayabilir. Örneğin, Mehra ve Sharma (2021) çalışmalarında, faktör setinin, alanda uzman kişilerin görüşleri çerçevesinde daha kapsayıcı bir hale getirilebildiği görülmektedir. Aynı zamanda sağlık hizmetlerinde iyileştirme odaklı bir endeks geliştirme çalışması geliştirilmesi mümkündür. Son olarak bulgular, LEED sertifikasına sahip sağlık tesislerinden ve sürdürülebilirlik literatürüne hâkim olan akademisyenlerden elde edilmiş olsa da araştırmanın metodolojisi farklı bağlamlarda uygulanabilir ve sağlık sektörü için kılavuz olarak kabul edilebilir. Konunun geniş bir popülasyon örneği kullanılarak yeniden gerçekleştirilmesi de farklı ve yenilikçi bakış açısından bir kez daha değerlendirilmesini sağlayarak alana katkı sunacaktır.

Yazar Katkıları /Author Contributions

Şeyda Çavmak: Literatür Taraması, Kavramsallaştırma, Modelleme, Veri Derleme, Makale Yazımı-rijinal taslak Doğancaan Çavmak: Modelleme, Metodoloji, Analiz, Makale Yazımı-rijinal taslak-inceleme ve düzenleme Eda Yaşa Özeltürkay: Modelleme, Makale Yazımı-inceleme ve düzenleme

Şeyda Çavmak: *Literature review, Conceptualization, Modelling, Data Curation, Writing-original draft* Doğancaan Çavmak: *Modelling, Methodology, Analysis, Writing original draft-review and editing* Eda Yaşa Özeltürkay: *Modelling, Writing-review and editing*

Çatışma Beyanı /Conflict of Interest

Yazarlar tarafından herhangi bir potansiyel çıkar çatışması beyan edilmemiştir. *No potential conflict of interest was declared by the authors.*

Fon Desteği / Funding

Bu alışmada herhangi bir resmi, ticari ya da kâr amacı gütmeyen organizasyondan fon desteği alınmamıştır.

Any specific grant has not been received from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Etik Standartlara Uygunluk / Compliance with Ethical Standards

Bu alışma için Tarsus Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar ve Yayın Etiği Kurulu'nun 29.03.2023 tarihli ve 2023/16 numaralı kararı ile onay alınmıştır.

For this study, the approval of the Ethics Committee of Tarsus University was obtained with the decision dated 29.03.2023 and numbered 2023/16.

Etik Beyanı / Ethical Statement

Yazar tarafından bu alışmada bilimsel ve etik ilkelere uyulduğu ve yararlanılan tüm alışmaların kaynakada belirtildiği beyan edilmiştir.

It was declared by the author that scientific and ethical principles have been followed in this study and all the sources used have been properly cited.



Yazarlar, Verimlilik Dergisi'nde yayımlanan alışmalarının telif hakkına sahiptirler ve alışmaları CC BY-NC 4.0 lisansı altında yayımlanmaktadır.

The authors own the copyright of their works published in Journal of Productivity and their works are published under the CC BY-NC 4.0 license.


KAYNAKÇA

- Abeyssekera, I. (2022). "Accounting for Cultural Capital – Sustainability Agenda of Charities Serving the First Nations People Towards Self-Determination – Evidence from The Northern Territory, Australia", *Sustainability*, 14(2), 949.
- Aljaberi, O.A., Hussain, M. ve Drake, P.R. (2017). "A Framework for Measuring Sustainability in Healthcare Systems", *International Journal of Healthcare Management*, 13(4), 276-285.
- Calabrese, A., Costa, R., Leviardi, N. ve Menichini, T. (2019). "Integrating Sustainability into Strategic Decision-Making: A Fuzzy AHP Method for the Selection of Relevant Sustainability Issues", *Technological Forecasting and Social Change*, 139, 155-168.
- Carnero, M.C. (2015). "Assessment of Environmental Sustainability in Health Care Organizations", *Sustainability*, 7(7), 8270-8291.
- Castro de Fátima, M., Mateus, R. ve Bragança, L. (2017). "Development of A Healthcare Building Sustainability Assessment Method–Proposed Structure and System of Weights for the Portuguese Context", *Journal of Cleaner Production*, 148, 555-570.
- Ceballos, B., Lamata, M.T. ve Pelta, D.A. (2016). "A Comparative Analysis of Multi-Criteria Decision-Making Methods", *Progress in Artificial Intelligence*, 5, 315-322.
- Cuadrado, J., Zubizarreta, M., Rojí, E., García, H. ve Larrauri, M. (2015). "Sustainability-Related Decision Making in Industrial Buildings: An AHP Analysis", *Mathematical Problems in Engineering*, 2015, 157129.
- Çetiner, E.M. ve Özen, E. (2019). "Sağlık Kuruluşlarının Karşılaştığı Finansal Sorunların Tespiti ve Sorunlara Çözüm Önerileri", *Finans Ekonomi ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 4(3), 235-259
- Damian, I.M., Navarro-Jurado, E. ve Ruiz, F. (2023). "Involving Stakeholders in the Evaluation of the Sustainability of A Tourist Destination: A Novel Comprehensive Approach", *Journal of Sustainable Tourism*, 31(7), 1631-1650.
- Darko, A.P.C. ve Chan, A., (2017). "Review of Barriers to Green Building Adoption", *Journal of Sustainable Development*, 25, 167-179.
- Diaz-Balteiro, L., Gonzalez-Pach, J. ve Romero, C., (2017). "Measuring Systems Sustainability with Multi-Criteria Methods: A Critical Review", *European Journal of Operational Research*, 258, 607–616.
- Doğan, A. (2020) "Türkiye’de Sürdürülebilir Hastane Uygulamalarında Karşılaşılan Engellerin Belirlenmesi", Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Gebze.
- Eckelman, M.J. ve Sherman, J. (2016). "Environmental Impacts of the U.S. Health Care System and Effects on Public Health". *PLoS ONE*, 11, 1-14.
- Elkington, J. (1997). "Cannibals with Forks – Triple Bottom Line of 21st Century Business", Stoney Creek, New Society Publishers.
- Emrouznejad, A. ve Marra, M. (2017). "The State-of-the-Art Development of AHP (1979-2017): A Literature Review with A Social Network Analysis", *International Journal of Production Research*, 55(22), 6653-6675.
- Erjaee, A., Hendiani, S., Moradi, S. ve Bagherpour, M. (2022). "Healthcare Sustainability Evaluation Using A Hybrid Fuzzy Multi-Criteria Decision-Making Model", *International Journal of Fuzzy Systems*, 1-21.
- ETKB (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı), (2023). "Enerji Verimliliği El Kitabı", https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/EVCED/tr/EnerjiVerimlili%C4%9Fi/E%C4%9Fitimler/Enerji_verimlili%C4%9Fitim_kitabi.pdf, (Erişim Tarihi: 15.09.2023)
- Freeman, R.E., Harrison, J.S., Wicks, A.C., Parmar, B.L. ve de Colle, S. (2010). "Stakeholder Theory: The State of the Art", *Cambridge, England: Cambridge University Press*.
- Göncü, K.K. ve Çetin, O. (2022). "A Decision Model for Supplier Selection Criteria in Healthcare Enterprises with Dematel ANP Method", *Sustainability*, 14(21), 13912.
- Guidetti, G., d'Amone, L., Kim, T., Matzeu, G., Mogas-Soldevila, L., Napier, B. ve Omenetto, F.G. (2022). "Silk Materials at the Convergence of Science, Sustainability, Healthcare, and Technology", *Applied Physics Reviews*, 9(1), 011302.
- Gulliford, M. ve Jessop, E. (Eds.). (2020). "Healthcare Public Health: Improving Health Services Through Population Science", *Oxford University Press*
- Guzzo, D., Carvalho, M.M., Balkenende, R. ve Mascarenhas, J. (2020). "Circular Business Models in the Medical Device Industry: Paths Towards Sustainable Healthcare", *Resources, Conservation and Recycling*, 160.
- Hensher, M. ve McGain, F. (2020). "Health Care Sustainability metrics: Building A Safer, Low–Carbon Health System", *Health Affairs*, 39(12), 2080-2087.
- Holdgate, M. W. (1987). "Our Common Future: The Report of the World Commission on Environment and Development", Oxford University Press, New York.

- Hossain, M.K. ve Thakur, V. (2021). "Benchmarking Health-Care Supply Chain by Implementing Industry 4.0: A Fuzzy-AHP-DEMATEL Approach", *Benchmarking: An International Journal*, 28(2), 556-581.
- Hussain, M., Khan, M., Ajmal, M., Sheikh, K.S. ve Ahamat, A. (2019). "A Multi-Stakeholders View of the Barriers of Social Sustainability In Healthcare Supply Chains: Analytic Hierarchy Process Approach", *Sustainability Accounting, Management and Policy Journal*, 10(2), 290-313.
- Karamat, J., Shurong, T., Ahmad, N., Afridi, S., Khan, S. ve Mahmood, K. (2019). "Promoting Healthcare Sustainability in Developing Countries: Analysis of Knowledge Management Drivers in Public and Private Hospitals of Pakistan", *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(3), 508.
- Kaswan, M.S., Rathi, R., ve Singh, M. (2019). "Just in Time Elements Extraction and Prioritization for Health Care Unit Using Decision Making Approach", *International Journal of Quality and Reliability Management*, 36(7), 124.
- Kaymaz, Ç.K., Birinci, S. ve Kızıllan, Y. (2022). "Sustainable Development Goals Assessment of Erzurum Province With SWOT-AHP Analysis", *Environment, Development and Sustainability*, 24(3), 2986-3012.
- Kazel, E. (2022). "Ekolojik Sürdürülebilirlik Açısından İstanbul'da Sıfır Atık Yönetimi", *Turkish Studies-Social Sciences*, 17(5), 841-861.
- Khan, M., Hussain, M., Gunasekaran, A., Ajmal, M.M. ve Helo, P.T. (2018). "Motivators of Social Sustainability in Healthcare Supply Chains in the UAE—Stakeholder Perspective", *Sustainable Production and Consumption*, 14, 95-104.
- Khan, A. U. ve Ali, Y. (2020). "Analytical Hierarchy Process (AHP) and Analytic Network Process Methods and Their Applications: A Twenty Year Review From 2000-2019", *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 12(3), 369-459.
- Klaic, M., Kapp, S., Hudson, P., Chapman, W., Denehy, L., Story, D. ve Francis, J.J. (2022). "Implementability of Healthcare Interventions: An Overview of Reviews and Development of A Conceptual Framework", *Implementation Science*, 17(1), 10.
- Korkmazer, F., Aslan, T. ve Ekingen, E. (2020). "Sağlık Çalışanlarının Değişime Karşı Tutumlarının İncelenmesi", *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 12(3), 2580-2591.
- Kwatra, S., Kumar, A., Sharma, S., & Sharma, P. (2021). "Stakeholder Participation In Prioritizing Sustainability Issues At Regional Level Using Analytic Hierarchy Process (AHP) Technique: A Case Study of Goa, India", *Environmental and Sustainability Indicators*, 11, 100116.
- LEED (2023). "LEED Yeşil Bina Sertifikası", <https://www.xn--leedsertifikas-jgc.com/leed/>, (Erişim Tarihi: 18.09.2023)
- Leiden, A., Cerdas, F., Noriega, D., Beyerlein, J. ve Herrmann, C. (2020). Life Cycle Assessment of A Disposable and A Reusable Surgery Instrument Set for Spinal Fusion Surgeries. *Resources, Conservation and Recycling*, 156, 104704.
- Leksono, E.B., Suparno, S. ve Vanany, I. (2019). "Integration of a Balanced Scorecard, DEMATEL, And ANP for Measuring The Performance of A Sustainable Healthcare Supply Chain", *Sustainability*, 11(13), 3626.
- Li, Z., Wang, D., Abbas, J., Hassan, S. ve Mubeen, R. (2022). "Tourists' Health Risk Threats Amid COVID-19 Era: Role of Technology Innovation, Transformation, and Recovery Implications for Sustainable Tourism", *Frontiers in Psychology*, 12, 769175.
- Lopez, L.M., Ishizaka, A., Qin, J. ve Alvarez-Carrillo, P.A. (2023). "Multi-Criteria Decision-Making Sorting Methods: Applications to Real-World Problems", Academic Press.
- Mani, V., Agrawal, R. ve Sharma, V. (2014). "Supplier Selection Using Social Sustainability: AHP Based Approach in India", *International Strategic Management Review*, 2(2), 98-112.
- Mansur, F. ve Korkmaz, S. (2020). "Sağlık Hizmeti Kullanıcılarının Yeşil Hastane Farkındalık Düzeylerini Belirlemeye Yönelik bir Çalışma", *Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 22(3), 827-850.
- Mehra, R. ve Sharma, M.K. (2021). "Measures of Sustainability in Healthcare", *Sustainability Analytics and Modeling*, 1, 100001
- Munir, A., Khan, F.U., Usman, M. ve Khuram, S. (2019). "Relationship Between Corporate Governance, Corporate Sustainability and Financial Performance", *Pakistan Journal of Commerce & Social Sciences*, 13(4), 915-933.
- Oudah, M., Jabeen, F. ve Dixon, C. (2018). "Determinants Linked to Family Business Sustainability in the UAE: An AHP Approach", *Sustainability*, 10(1), 246.
- Önder, E. (2021). "Sağlık Kurumlarında Sayısal Yöntemler", *A'dan Z'ye Sağlık Yönetiminde Temel Kavramlar*, (Editör: Gökhan Aba). Nobel Yayıncılık, Ankara.
- Özdemir, T. (2015). Hastaneler ve Sağlık Tesisleri için LEED Yeşil Bina Sertifikası. *Yeşil Bina Dergisi*, 33, 34-35.
- Özışpa, N. ve Arabelen, G. (2021). "Limanların Sürdürülebilirlik Stratejilerinin AHP Yaklaşımı ile Önceliklendirilmesi", *Yaşar Üniversitesi E-Dergisi*, 16(63), 1430-1453.

- Özsarı, S.H. (2011). "Dünyada ve Türkiye'de Sağlık Harcamaları", *MÜSİAD Çerçeve Dergisi*, 55, 68-73.
- Öztürk, N., Tozan, H. ve Vayvay, O. (2020). A New Decision Model Approach for Health Technology Assessment and A Case Study for Dialysis Alternatives in Turkey, *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17, 3608.
- Pereno, A. ve Eriksson, D. (2020). A Multi-Stakeholder Perspective on Sustainable Healthcare: From 2030 Onwards. *Futures*, 122, 102605.
- Puška, A., Stević, Ž. ve Pamučar, D. (2022). "Evaluation and Selection of Healthcare Waste Incinerators Using Extended Sustainability Criteria and Multi-Criteria Analysis Methods", *Environment, Development and Sustainability*, 1-31.
- Rodríguez, R., Svensson, G. ve Ferro, C. (2021). "Assessing the Future Direction of Sustainable Development In Public Hospitals: Time-Horizon, Path and Action", *Health Policy*, 125(4), 526-534.
- Saaty R.W. (1987). "The Analytic Hierarchy Process—What It Is and How It Is Used", *Mathematical Modelling*, 9(3-5),161-176.
- Saaty T.L. (1990). "How to Make A Decision: The Analytic Hierarchy Process", *European Journal Operational Research*, 48(1), 9-26.
- Saaty, T.L. ve Vargas, L.G. (2001). "Models, Methods, Concepts Applications of the Analytic Hiererchy Process", *Kluwer Academic Publishers: Boston, MA, USA*.
- Sanchez, S.A., Eckelman, M.J. ve Sherman, J.D. (2020). "Environmental and Economic Comparison of Reusable and Disposable Blood Pressure Cuffs in Multiple Clinical Settings", *Resources, Conservation and Recycling*, 155, 104643
- Tavana, M., Soltanifar, M. ve Santos-Arteaga, F.J. (2023). "Analytical Hierarchy Process: Revolution and Evolution", *Annals of Operations Research*, 326(2), 879-907.
- Terekli, G., Özkan, O. ve Bayın, G. (2013). "Çevre Dostu Hastaneler: Hastaneden Yeşil Hastaneye", *Ankara Sağlık Hizmetleri Dergisi*, 12(2), 37-54.
- Thakur, V. ve Ramesh, A. (2017). "Healthcare Waste Disposal Strategy Selection Using Grey-AHP Approach", *Benchmarking: An International Journal*, 24(3), 735-749.
- Tiftik, C. (2022). "Sağlık Sektörü İşletmelerinde Sürdürülebilirlik: Sistematik Derleme Çalışması", *Düzce Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 12(1), 404-426
- Topal, Y., Erkan, M. ve Elitaş, C. (2006). "Küçük ve Orta Boy İşletmelerin Finansal Yönetim Uygulamaları: Afyonkarahisar Örneği", *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 11(1), 281-298.
- Tsioumpri, K., Tsakni, G. ve Goula, A. (2020). "Sustainable Development in Healthcare Facilities. Case Study: Swedish and Greek Hospital", *Journal of Sustainable Development*, 13(4), 178- 190.
- United Nations (UN). (2015). "Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development", United Nations, New York.
- Varsei, M., Soosay, C., Fahimnia, B. ve Sarkis, J. (2014). "Framing Sustainability Performance of Supply Chains with Multidimensional Indicators", *Supply Chain Management: An International Journal*, 19(3), 242-257.
- Wątróbski, J., Bączkiewicz, A. ve Rudawska, I. (2023). "A Strong Sustainability Paradigm Based Analytical Hierarchy Process (SSP-AHP) Method to Evaluate Sustainable Healthcare Systems", *Ecological Indicators*, 154, 110493.
- Yazdanpanah, A., Yazdi, M. ve Barzabad, P.A. (2018). "Identification and Prioritization of Barriers to Implement the Green Hospital Standards at Imam Hassan Mojtaba Hospital in Darab", *Universal Journal of Pharmaceutical Research*, 3(1), 43-49.
- Yıldız, H. (2016). "Sürdürülebilirlik Bağlamında Sağlık Sektöründe İnovatif Uygulamalar: Yeşil Hastaneler", *Kafkas Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 7(13), 323-340.
- Yılmaz, F.Ö., Gökmen, E. ve Erişen, M.A. (2023). "Sağlık Sistemlerinin Sürdürülebilirliğinde Sağlık Finansmanının Yerine İlişkin Sağlık Yöneticilerinin Görüşlerinin Değerlendirilmesi", *Sağlık ve Sosyal Refah Araştırmaları Dergisi*, 5(2), 180-188.
- Yurtseven, E. (2012). "İstanbul Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi Hava Kalitesi Yönetimi", I. Ulusal Sağlık Kuruluşları Çevre Yönetim Sempozyumu, İstanbul.
- Zand, A., Arfaee, M. ve Eslami, K. (2020). "Studying Effects of Consumed Fertilizer on Sustainable Rural Development by Using AHP Method", *Agricultural Marketing and Commercialization Journal*, 4(1), 1-12.

Mathematical Optimization in Innovation Productivity: A Framework and A Case Study on UAV Border Patrolling in Türkiye

Erdi Daşdemir¹ 

ABSTRACT

Purpose: In this paper, the potential of mathematical optimization (MO) in enhancing innovation productivity is explored. Innovation is a process that converts new ideas and methods into products and services, MO can contribute to innovation management by improving productivity across all stages, from pre-innovation to post-innovation. This paper establishes a connection between MO and innovation productivity while demonstrating an application for a post-innovation phase problem of unmanned aerial vehicles (UAVs).

Methodology: A framework for incorporating MO into the design problems of innovation processes is developed. Additionally, a MO model is developed for a case study concerning UAV border patrolling in Türkiye.

Findings: Computational experiments demonstrate MO's effectiveness in optimizing UAV routes and strategies, enhancing operational efficiency, and innovation productivity. Optimal recommendations and trade-offs among different mission considerations are obtained in 18 minutes on average (with a median of 5 seconds) over 210 runs.

Originality: A link is established between MO and innovation productivity. An operations research problem is introduced for UAV operations in border patrolling in Türkiye. The codebase and data are openly provided for readers to apply the model in their research.

Keywords: Mathematical Optimization, Innovation, Productivity, Unmanned Aerial Vehicles.

JEL Codes: C60, C61, C63, O32.

İnovasyon Verimliliğinde Matematiksel Optimizasyon: Bir Çerçeve ve Türkiye'de İHA Sınır Devriyesine İlişkin Bir Vaka Çalışması

ÖZET

Amaç: Bu makalede, matematiksel optimizasyonun (MO) inovasyon verimliliğini artırma potansiyeli incelenmektedir. İnavasyon, yeni fikirleri ve yöntemleri ürün ve hizmetlere dönüştüren bir süreçtir. MO, inovasyon yönetimine verimliliği artırarak katkıda bulunabilir; bu, inovasyon öncesinden sonrasına kadar inovasyon sürecinin tüm aşamalarında geçerlidir. Bu makale, MO ve inovasyon verimliliği arasında bir bağlantı kurarken, insansız hava araçlarının (İHA'ların) inovasyon sonrası aşamasındaki problemlerine yönelik bir uygulama sunmaktadır.

Yöntem: İnovasyon süreçlerindeki karar problemlerine MO'nun dahil edilişi için bir çerçeve oluşturulmaktadır. Ayrıca, Türkiye'deki İHA sınır devriyesi ile ilgili bir vaka çalışması için bir MO modeli geliştirilmektedir.

Bulgular: Hesaplamalı deneyler, MO'nun İHA rotalarını ve stratejilerini optimize etme, operasyonel verimliliği ve inovasyon verimliliğini artırma konusundaki etkinliğini göstermektedir. Model, optimal tavsiyeleri ve farklı endişeler için dengeleri 210 farklı çözüm için ortalama 18 dakikada (medyan 5) bulmaktadır.

Özgünlük: MO ve inovasyon verimliliği arasında bir bağlantı kurulmuştur. Türkiye'de sınır devriyesi için İHA operasyonları için bir yöneylem araştırması problemi sunulmaktadır. Okuyucuların araştırmalarında modeli uygulayabilmeleri için kod tabanı ve veriler açık sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Mathematical Optimization, Innovation, Productivity, Unmanned Aerial Vehicles Matematiksel Optimizasyon, İnovasyon, Verimlilik, İnsansız Hava Araçları.

JEL Kodları: C60, C61, C63, O32.

¹ Hacettepe University, Department of Industrial Engineering, Ankara, Türkiye

Corresponding Author: Erdi Daşdemir, edasdemir@hacettepe.edu.tr

DOI: 10.51551/verimlilik.1322882

Research Article | Submitted: 05.07.2023 | Accepted: 30.03.2024

Cite: Daşdemir, E. (2024). "Mathematical Optimization in Innovation Productivity: A Framework and a Case Study on UAV Border Patrolling in Türkiye", *Verimlilik Dergisi*, 58(2), 283-304.

1. INTRODUCTION

Innovation is a transformative process that converts novel ideas and methodologies into products and services. It ultimately contributes to the competitiveness of individuals, companies, societies, and economies. This process encompasses several key stages, including the discovery of new ideas, the conversion of ideas into tangible products and services, and the implementation in practice to generate added value for individuals, countries, and the planet.

Throughout the course of human history, innovations have played a pivotal role in driving transformative developments. In the past decade alone, significant changes have been witnessed. One noteworthy example is the advancements in Electric Vehicle (EV) technology, spearheaded by companies like TESLA, which are revolutionizing the automotive industry (Teece, 2018). Similarly, innovations in renewable energy technologies have yielded remarkable outcomes, such as the reduction in solar panel costs and the mitigation of energy supply continuity issues through advanced battery systems (Moustakas et al., 2020). Innovations in areas like blockchain technology, encompassing decentralization, persistence, anonymity, and auditability, are reshaping the realms of finance and supply chain management (Zheng et al., 2018).

Innovation plays a pivotal role in the advancement of countries, enabling the creation of new industries, boosting productivity, fostering sustainable growth, and driving economic development. Cantner et al. (2019) demonstrate the positive impact of public innovation incentives and innovations on long-term economic development in German regions. Similarly, Minford and Meenagh (2019) use a data-driven empirical modeling in the United Kingdom and show that research and development incentives stimulate economic growth. Consequently, governments prioritize and incentivize innovation in their policy-making strategies. Türkiye also recognizes the significance of innovation as a government strategy and policy and encourages innovations, evident in its investments in Unmanned Air Vehicles (UAV) and Electric Vehicles (EV).

Productivity, on the other hand, refers to the efficiency of transforming inputs into outputs. It quantifies the relationship between outputs and inputs, reflecting the output achieved per unit of input. There is a close and mutually reinforcing relationship between innovation and productivity. Innovation plays a vital role in enhancing the productivity and competitiveness of enterprises and economies. Conversely, productivity serves as a driving force for innovation, exerting its influence throughout every stage of its initiation, advancement, and implementation.

A typical innovation process involves numerous design problems. Enhancing productivity in these decisions is crucial. Traditional approaches rely on human intelligence and manual solutions. However, the scalability of human problem-solving is limited to small-sized problems. As decision problems have become increasingly complex due to larger data sizes and competitive environments, it has become imperative to integrate analytical approaches into the decision-making process. Fortunately, this is now more achievable in the context of the current digital transformation. Improved computational power and access to big data enable decision-makers to utilize analytical tools for their design problems. Analytical approaches have been recently popularized under the framework known as Artificial Intelligence (AI). AI overcome the limitations and scalability challenges faced by human intelligence, enabling them to process and analyze vast amounts of historical data more efficiently and make data-driven automated decisions. AI can identify new directions for innovation, optimize production costs, identify potential issues, and enhance efficiency and performance during implementation.

There exists an important field that falls under the AI umbrella: Mathematical Optimization (MO). MO is a specific implementation of Operations Research (OR). It formulates decision-making problems into mathematical models and solves them using theories like linear algebra. OR has a long-standing history, and MO emerges as a contemporary transformation of its methodologies, leveraging computational resources to solve optimization problems without the need for extensive theoretical frameworks for users. Solver technologies like Gurobi and CPLEX have achieved remarkable performance levels (Mittelmann, 2020) enabling automated solutions for complex problems through programming and software. Consequently, decision-makers have begun to leverage MO without requiring extensive expertise or a strong background in the field. MO can contribute to product, process, and method innovations, offering enhanced productivity performance. It can address problems of a scale that surpasses human intelligence throughout the entire innovation process, encompassing design problems of the pre-innovation, during innovation, and post-innovation stages. What sets MO apart, particularly from other predictive AI methods, is its capability to recommend decisions that are guaranteed to be optimal. This distinctive feature positions it in a unique and valuable role.

In this paper, the focus is on advancing the understanding of the potential of MO in enhancing innovation productivity. An empirical case study is then developed to demonstrate the application of MO in utilizing a UAV fleet for border patrolling in Türkiye. The contributions of the paper can be summarized as follows:

- A link is established between MO, artificial intelligence, and innovation productivity. A framework is presented for incorporating MO into design problems of innovation processes.
- A novel operations research problem is presented in the context of UAV operations for border patrolling in Türkiye. A mathematical formulation is developed, and computational experiments are conducted to explore its efficacy. By optimizing the UAV routes and strategies, MO not only improves the operational efficiency but also contributes to the broader objective of enhancing the productivity of the innovation.
- The codebase and data are also made available to readers. This accessibility enables them to replicate or apply the model in their own research, using only the spreadsheet-based user interface of the codebase without the need to interact directly with the code.

The paper is organized as follows. Section 2 evaluates innovation productivity within the context of analytics and the ongoing digital transformation. Section 3 explores the relationship between MO and the design problems of innovation, presenting an implementation framework. Section 4 presents the case study, covering the problem statement, mathematical formulation, computational experiments and a discussion. Finally, Section 5 concludes the paper by summarizing its key points and discussing potential challenges and future research directions.

2. INNOVATION PRODUCTIVITY in the CONTEXT of ANALYTICS

Productivity and innovation are interconnected drivers of prosperity, forming a mutually reinforcing relationship that encompasses several overlapping definitions (Carayannis and Grigoroudis, 2014). Broadly defining, meaningfulness and success of them are intrinsically linked, with each relying on the presence and support of the other.

The innovation process encompasses multiple stages that involve various decision-making problems, with the term decision-making often referred to as design in the context of innovation management. Garud et al. (2013) review innovation process, and during the whole process, there are strategic design problems that need to be addressed, and the efficient and data-driven solution to these problems is of paramount importance for innovation productivity. The human intelligence had been acceptable for a long time to solve these design problems. Unfortunately, the scalability of human problem-solving is inadequate anymore when confronted with the complexity of current decision problems. The digital transformation is reshaping the addressing the design problems of the innovation process. This transformation is led by analytical approaches that promote scalability, automation, prediction, and optimization. Analytical approaches can be broadly classified into three categories (Camm et al., 2020):

- **Descriptive Analytics:** These approaches revolve around summarizing and visualizing data and thus uncovering and understanding the present situation and performance of a system. The dominating field of study in this area is statistical analysis and data visualization.
- **Predictive Analytics:** These approaches revolve around learning from historical data to predict future outcomes and behaviors. The dominating field of study in this area is Machine Learning (ML).
- **Prescriptive Analytics:** These approaches revolve around developing models that use historical data to generate actionable recommendations and optimal courses of action for decision problems. The dominating field of study for this area is OR.

The engines that utilize these analytical approaches have recently started to be classified under the AI framework. The positive perception that the term AI has garnered over the past decade is truly remarkable. It gives the impression that the methods and tools encompassed by this term are entirely novel and groundbreaking. However, many of the analytics encompassed by AI, such as linear regression, clustering, or Markov chains, existed for almost a century. For a comprehensive history and overview of the development of AI, the readers are referred to Haenlein and Kaplan (2019). The main factor that prevented these methods from widespread adoption in the past was the limitations in data availability and computing technology.

Integration of AI into innovation management has the potential to increase overall innovation productivity. In two recent review papers, Haefner et al. (2021) present a review and framework on AI and innovation management, while Mariani et al. (2023) focus on AI in innovation research. Both studies offer valuable insights for AI adoption in innovation and indicate the potential benefits of AI in driving innovation and improving productivity. There has been a recent focus among economists on comprehending the implications of AI for innovation (Cockburn et al., 2019). McKinsey Global Institute is also highly optimistic about the positive impacts of AI on the innovation processes of firms (Jacques et al., 2017). Mariani et al. (2023) recently highlight pioneering organizations like Netflix and Airbnb that have embraced AI to address decision problems within their innovation processes and obtained increased productivity.

Upon revisiting the aforementioned classification of analytics, it is observed that the current trend in AI predominantly revolves around "predictive analytics. Within the realm of AI, ML holds a prominent position, especially with the utilization of advanced prediction algorithms such as artificial neural networks. However, prescriptive analytics is still in the process of gaining the widespread adoption and recognition it deserves. It distinguishes itself from the previous two types of analytics by providing decision-makers with ready-made optimal decisions. This unique feature sets it apart. The following section delves into the realm of MO, a prominent field in prescriptive analytics, and examines its connection with innovation productivity.

3. LEVERAGING MATHEMATICAL OPTIMIZATION for INNOVATION PRODUCTIVITY

AI can be broadly defined as the utilization of computers to perform data-driven tasks with specific objectives and constraints, simulating human intelligence without the need for direct human involvement. Within this expansive field, a particularly robust and rapidly gaining popularity subfield emerges known as Mathematical Optimization. MO is the recently popularized naming to describe OR. It mostly aims to combine OR methodologies with computing technology. Its roots can be traced back to the era of the First World War. To obtain a historical perspective of OR on a global scale, the readers are referred to McCloskey (1987). For a more specific insight into the Turkish context of OR, Sabuncuoğlu and Dengiz (2022) provide relevant information.

MO consists of a wide range of methodologies that convert design problems into mathematical formulations and solve them. These formulations define the inputs, objectives, constraints, and decision requirements of the design problem at hand. By solving a formulation, MO seeks to identify optimal recommendations for the decision requirements.

In the absence of ample computing power, MO necessitates extensive expertise and a solid theoretical foundation, rendering its approaches inaccessible to practitioners without a strong background in the field. In fact, in the late 1970s, there were even articles about the lack of a future for OR (Hall and Hess, 1978, Ackoff, 1979). However, in recent times, MO has gained an increased popularity. This is driven by the availability of advanced computing and solver technologies, which offer substantial computational power. Two widely recognized solvers in this field are Gurobi and CPLEX, known for their reliable performance. It is worth noting that there is a wide range of solvers available, both free and paid, catering to various needs and requirements. In benchmark problems, Gurobi has consistently demonstrated superior performance compared to other solvers, establishing itself as the preferred choice for many optimization tasks (Mittelman, 2020).

Today MO is recognized as one of the fastest growing professions, as highlighted by FORBES (Rothberg, 2021). Furthermore, CBS NEWS has recently acknowledged it as the college major with the highest earning potential as of 2023 (Picchi, 2023). Criticizing the earlier opinions would be unfair, as they were formulated without the benefit of the current favorable conditions. It is unrealistic to expect everyone to possess the foresight and vision of esteemed figures like Professor Cahit Arf (Arf, 1959).

In today's complex business environment, the design problems encountered in innovation processes have become increasingly intricate, surpassing the capabilities of manual or spreadsheet calculations performed solely by humans. They also require near-optimal solutions to be able to gain an advantage in competitive environments. These offer an excellent opportunity to use MO in innovation processes. Today, MO can recommend optimal solutions for large-scale problems, ensuring scalability, and automation, and enabling users to solve their problems without needing an extensive mathematical background.

3.1. MO Implementation in Innovation Stages

At the core of every innovation process is the essential practice of generating and solving ideas, where the decision-making aspect of innovation, often referred to as design by scholars and practitioners, plays a crucial role (Verganti et al., 2020). MO, being an inherent decision-making methodology, presents valuable opportunities for the design problems of innovation. Haefner et al. (2021) highlight the considerable increase in costs associated with innovation management. In this regard, MO holds immense potential as it can deliver significant cost reductions even in complex design problems.

MO can enhance innovation productivity across three stages:

- a) *Pre-innovation productivity*: This stage focuses on how MO contributes to the generation of innovation. MO possesses the capability to assess vast amounts of data, consider various constraints and objectives, and make decisions that surpass human intelligence. This opens up new possibilities for advancements and the creation of products with broader applications. For instance, let's consider an EV manufacturer seeking to introduce innovative battery solutions to extend the driving range of their vehicles. By utilizing MO, decision-makers can find the minimum battery requirements that will maximize customer satisfaction by considering factors such as driving

speed, traffic conditions, and transportation infrastructure. It can also assist in optimizing material selection in battery production, considering factors such as durability, cost, and environmental impact.

- b) *Providing productivity during innovation development:* During product and process development, MO can scale and address problems of large magnitudes and complex issues that surpass human intelligence by leveraging past data and introducing automated solutions. This, in turn, leads to enhanced productivity throughout the innovation development. For instance, in the context of an EV manufacturing facility, MO can determine the optimal integration order of vehicle components, or optimize quality control processes, such as determining the optimal inspection points, sample sizes, and testing frequencies.
- c) *Ensuring productivity after innovation deployment:* The true impact of an innovation on the economy is only achieved when it is effectively implemented in practice. If an innovation is not deployed properly, it may underperform compared to existing products and processes. For instance, consider the challenge of positioning charging stations for electric vehicles (EVs). If this problem is not accurately addressed, EVs may face difficulties in finding convenient charging locations, hindering their market acceptance. Another example involves optimizing production plans by analyzing past data, market trends, and customer preferences. In all these design problems, MO can play a vital role in providing solutions.

3.2. MO-Driven Framework for Innovation Productivity

Next, a framework driven by MO for innovation management is introduced. Note that MO in decision-making is not a new concept, as it has a longstanding history under the OR framework. Only an adaptation of it to innovation management is presented below.

The framework consists of the following steps. Please note that only Step 3 requires expertise in MO. Steps 1, 2, 5, 6, 7, and 8 are generally the responsibility of decision-makers and users of the MO model. Steps 2, 4, and 6 require programming skills, without any specific MO prerequisites.

1. *Problem Definition:* Define innovation challenges and opportunities, as well as identify design problems that can benefit from increased productivity. Establish the ground rules of the defined problem, including the objective of the design, the decisions that need to be made, and the constraints that limit available options are identified.
2. *Data Collection and Processing:* Gather relevant data related to the innovation design problem, including historical data and future predictions. Analyze the data and extract information that is relevant to the ground rules defined in the problem definition.
3. *Mathematical Formulation Development:* Formulate the identified innovation design problem as a mathematical model that includes decision variables, objectives, and constraints.
4. *Translation of Mathematical Formulation to Computer:* Translate the mathematical formulation into a format that solver technologies can comprehend by utilizing a computer programming language. For instance, to solve the model using Gurobi in Python, one can employ the Gurobi Python API (gurobipy).
5. *Model Solving Using Computing Technology:* Solve the model using computing technology, for example, by utilizing the Gurobi solver.
6. *Reporting, Results Evaluation, and Validation:* Translate the results into a format that can be understood by individuals without expertise in computer programming and MO. This step conducts studies to validate that the model behaves as intended and finds solutions that can be implemented in practice. Use reporting and visualization techniques. Provide detailed analyses and evaluations that demonstrate the impact of decisions on the objective and present the productivity gains achieved through the use of MO.
7. *Implementation and Execution:* Implement the recommended decisions generated by MO into the corresponding design problem the innovation process.
8. *Performance Evaluation and Feedback:* Collect feedback from the implementation process to refine the mathematical model and update the input data based on the resources utilized during the implementation of the recent MO run. This feedback will inform future iterations of the optimization runs, allowing for continuous improvement of the model's performance.

Figure 1 presents the practical implementation of the framework. The blue shaded boxes represent components that can be handled by software teams without requiring expertise in MO. The green-shaded components require expertise in MO. In a typical design problem addressed with MO, there are two types of data sources: dynamic and stable. Stable data refers to fixed data that is used regardless of user input or the results of previous decisions. For example, for a problem of determining optimal charging station locations for EV vehicles in Ankara, geographical data of potential charging locations is stable data. The second data type is dynamic data, which can be inputted by the user or based on past decisions. For

instance, the minimum number of EV stations required in Ankara can be provided by the user. Once the data is collected from the data sources, input adapters should come into play. Input adapters are computer code snippets that translate the data into the MO computer model. Similarly, the MO model should be initially developed and formulated on paper and then translated into computer code using solver APIs. Once the solvers solve the problem optimally, a typical MO model produces two outputs: optimal decisions and the optimal objective function. The former provides recommendations to decision-makers for the defined and formulated decision problems, while the latter indicates the performance of the recommended decisions. Finally, a typical MO model should include an output adapter that converts the solver's results into more easily understandable reports and visualizations, enabling decision-makers to comprehend the results effectively.

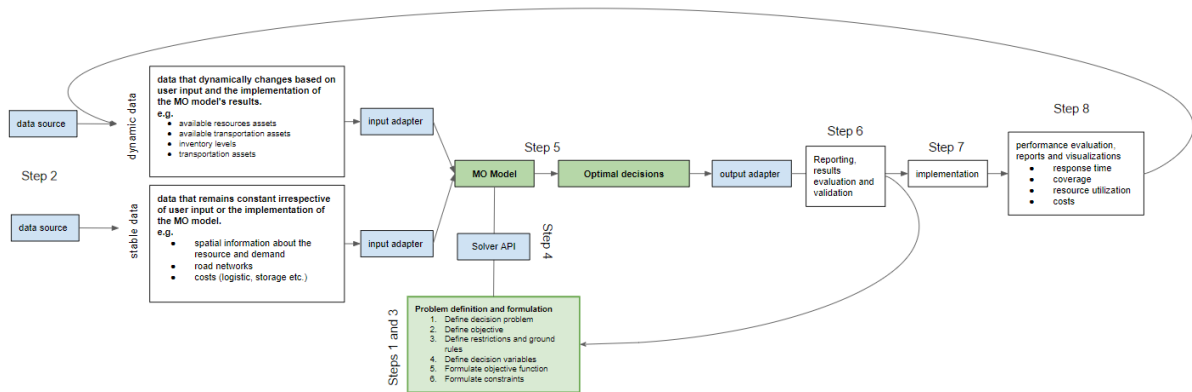


Figure 1. MO implementation framework

4. CASE STUDY: UTILIZING UAVs for BORDER PATROLLING in TÜRKİYE

UAV refer to aircraft that operate without a human pilot onboard and instead rely on autonomous systems. They are being employed for a diverse array of intricate missions worldwide. They have significantly transformed various domains with their innovative features on automation, versatility, safety, efficiency, and other technological advancements. They conduct autonomous or remote-controlled flights, replacing human pilots. Evers et al. (2015) and Elmokadem and Savkin (2021) highlight their increasing autonomy. They are versatile, serving diverse purposes in military operations, search and rescue missions, border patrolling, and wildlife inspection. They enhance safety by operating in hazardous environments, reducing risks to human lives. They require fewer resources, covering larger areas at lower costs and in less time. Ongoing technological advancements in their equipment such as improved batteries and miniaturized sensors drive continuous innovation and open up new avenues for research and development. MO has the potential to enhance the efficiency of all the factors mentioned above, leading to an increased productivity of UAV innovation.

In this paper, the focus lies on enhancing the productivity of UAVs through addressing design problems in the post-innovation stage. Specifically, the efficient deployment of a UAV fleet for border patrolling activities in Türkiye is addressed. This problem can be categorized as a variant of the Vehicle Routing Problem with Profits (VRP) and shares similarities with the Team Orienteering Problem (OP). Comprehensive reviews of VRP and Team OP can be found in Braekers et al. (2016) and Gunawan et al. (2016), respectively. An example of VRP with profits is provided by Stavropoulou et al. (2019). Coutinho et al. (2018) and Rojas Vilorio et al. (2021) offer comprehensive reviews on UAV routing and scheduling.

The study diverges from the literature in several aspects. The UAV prize collection and routing literatures typically consider non-monitored terrains, movement between two targets, single trajectories between targets, and fixed prices. In contrast, uncertainty in prize detection is considered. Furthermore, a monitored terrain is considered by incorporating the risk of radar threats, an aspect seldom addressed in the literature. Additionally, the scope is expanded by including multiple UAVs in the analysis, a factor often overlooked in recent research. Also, different mission aspects including fleet size, mission duration, and mission safety are considered together. Table 1 provides a summary of closely related studies to the paper based on several factors, including the UAV's operational terrain, movement (between origin-destination or multiple targets), problem classification, UAV fleet size, and the considerations applied, whether as objectives or constraints. These studies have employed mathematical optimization approaches for routing to enhance the efficiency of UAV utilization. The "Terrain" column displays the modeling of the movement terrain. This can be either continuous or discretized, with the discretization achieved through methods like grid-based, trajectory selection, or waypoints. The "Movement" column specifies whether the movement is between two

targets or involves visiting multiple targets. The "Class" column categorizes problems into four types: shortest path (SP), traveling salesperson problem (TSP), vehicle routing problem (VRP), or orienteering problem (OP). "Fleet size" denotes the number of UAVs examined in each study.

Among these studies, this study shares some similarities with the work conducted by Moskal et al. (2023). A similar terrain representation is utilized in this study by considering waypoints that UAVs can change their course of direction, and employ similar approaches to model the information search and collection process and measure the radar detection threat. However, the model and experiments exhibit significant differences. The study extends beyond by incorporating a fleet of UAVs, whereas their study focuses on TSP with a single UAV. Moreover, the problem is approached from a multi-objective perspective, extracting the tradeoffs among mission duration, mission safety, and fleet size. The primary goal is to recommend an ideal fleet size, addressing a practical high-level design problem in UAV post-innovation deployment. Additionally, a unique case study focused on border patrolling in Türkiye is developed, and the associated data and solution software developed are openly shared.

Table 1. Comparative table for related UAV literature

Study	Terrain	Movement	Fleet		Considerations
			Class	size	
Mittal and Deb (2007)	Continuous	Origin-destination	SP	Single	Mission duration Mission safety
Pfeiffer et al. (2009)	Continuous	Origin-destination	TSP	Single	Mission duration Mission safety
Tezcaner and Köksalan (2011)	Discretization by grids	Multiple targets	TSP	Single	Mission duration Mission safety
Guerriero et al. (2014)	Continuous	Multiple targets	VRP	Multiple	Mission duration Information collection Deployed UAVs
Moskal and Batta (2017)	Discretization by waypoints	Multiple targets	OP	Single	Mission duration Information collection
Dasdemir et al. (2020)	Continuous	Multiple targets	TSP	Single	Mission duration Mission safety
Dasdemir et al. (2022)	Discretization by trajectory	Multiple targets	OP	Single	Information collection Mission duration Mission safety
Tezcaner Öztürk and Köksalan (2023)	Continuous	Origin-destination	TSP	Single	Mission duration Mission safety
Moskal et al. (2023)	Discretization by waypoints	Multiple targets	OP	Single	Information collection Mission duration Mission safety

The case study involves design challenges in both high and low levels. The high-level design problems are determining the optimal fleet size, mission duration and risk tolerance to attain the desired performance in information collection. The low-level design problems pertain to the operational aspects within a given fleet size, mission duration and risk tolerance. These encompass selecting the targets to visit, determining the number of searches at the selected targets, allocating UAVs to the selected targets, and making routing decisions that dictate the optimal route for each UAV to visit the assigned targets.

The solution process involves creating a mathematical formulation and a computer program that translates the formulation into code, leveraging the power of the Gurobi solver. The development of the mathematical formulation necessitates expertise in the field. Once the model is developed, the subsequent steps involve straightforward computer programming tasks, enabling automated solving by simply adjusting the input parameters. Similar to other AI engines, the user interacts with the model by supplying inputs and prompts, while the underlying model works to generate the desired solutions. The data and computer code of Türkiye case study are provided openly to readers, promoting the reproducibility of the results and aiding researchers in further developing the model.

This case study contributes to the existing UAV routing and scheduling literature by introducing a novel MO model and offering a practical demonstration. While drawing from the work of Moskal et al. (2023) who study an information collection problem with a single UAV, the study goes beyond by incorporating a fleet

of UAVs and addressing the high-level design problem of optimizing the fleet size. In addition, the approach diverges from traditional models by considering uncertain prizes, where the presence of a prize can only be confirmed after a successful search, a notable deviation from the conventional fixed prize assumption. Furthermore, a monitored terrain is considered by incorporating the risk of radar threats, an aspect seldom addressed in the literature.

4.1. Problem Statement

The objective of the mission is maximizing the total amount of utilized information from the mission terrain using a fleet of UAVs, while satisfying the restrictions on mission duration and likelihood of being detected. In this section, the context of the problem, including the mission terrain and operational structure, is introduced.

4.1.1. Mission Terrain

The mission terrain is presented in Figure 2, which showcases the ten potential search locations referred to as targets from this point onward. Among these targets, a total of seven search locations along Türkiye's borders, as well as three additional search locations in the Aegean, Mediterranean, and Black Seas, are considered. Initially, all UAVs are stationed at Ankara, marked as the home base (h) on the map. All UAVs depart from the home base, visit a set of target regions to search and collect information, and then return to Ankara to complete the mission.

The Bayraktar Akıncı is considered as the UAV of choice. While this UAV is primarily designed for target neutralization missions due to its exceptional payload capacity and launching capabilities, it is assumed that decision-makers are selecting a fleet of Akıncı UAVs to optimize their operational use specifically for border patrolling and information collection purposes in Türkiye. The Bayraktar Akıncı can fly with a flight speed ranging from approximately 280 to 360 km/h and can operate for 24 hours (Baykar, 2023). Its ample payload capacity allows for the integration of search and collection sensors. In this case study, the flight speed is set to 360 km/h and the maximum mission time to 24 hours.

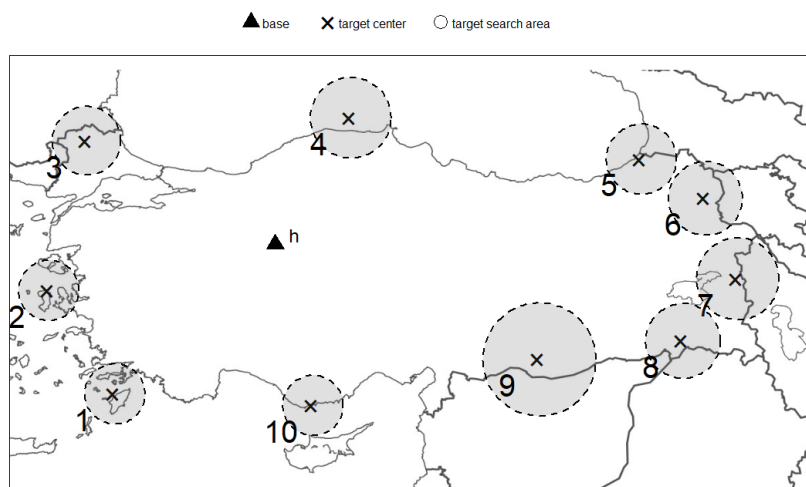


Figure 2. Mission terrain with 10 search targets

Each target j is characterized by two attributes: the probability of containing information (ρ_j), which represents the chance of the existence of a source of information at target region j , and the radar detection threat (λ_j), which represents the detection per unit of time the UAV is exposed to while conducting search activities in region j . Once a target is chosen for information search, the UAV proceeds to navigate towards the designated center of that region. Upon arrival, it commences the search and recording process to gather the necessary information.

It is assumed that the UAV conducts a circular search pattern, with a fixed duration of 1 hour allocated for this purpose. The approximate lengths of the borders close to the targets are scaled to fit within the range of [80, 150] kilometers and the range of [0.25, 1], and use the scaled values as the radius for the circular search areas and as the likelihood of information existence, respectively. Similarly, the elevations of the mountains near the targets are scaled to range [0.02, 0.05] kilometers, serving as the detection rates in the corresponding search regions.

4.1.2. Information Search and Collection

In practical scenarios, UAVs are susceptible to various sources of volatility. To account for one of these factors, uncertainty in the availability of information is considered. The probability of successfully detecting information is determined by both the availability of the information and the search sensor carried by the UAV.

Each UAV is equipped with a search and a collection sensor. The effectiveness of the search sensor for the search at target region j ($e_{s,j}$) impacts the chance of successfully detecting the available information source. On the other hand, the effectiveness of the collection sensor (e_c) impacts the percentage of the detected source is utilized in a visit.

Multiple visits to the same target region are allowed due to the imperfections of the search and collection sensors. Equation 1 is used to compute $e_{s,j}$ (Xia et al., 2017). In the equation, the effective range of the search sensor (W), the flight speed of the UAV (v), and the radius of the target region j (r_j) is used. In this study, W and v are set to 80 km and 360 km/h.

$$e_{s,j} = 1 - \left(e^{\frac{-W \cdot v}{\pi \cdot r_j^2}} \right) \tag{1}$$

The total expected information collection is maximized, which serves as a deterministic approximation to account for the inherent uncertainty explained above in the information detection and collection. It is assumed that the presence of a single piece of information source that is subject to search and collection upon detection. This assumption aligns with the focus of search theory literature, which commonly addresses the task of finding a single source. For instance, Xia et al. (2017) also consider the assumption of one source of information when conducting information search using UAVs.

Let $I_{j,m}$ represent a discrete random variable that indicates the amount of information collected from target j during visit m . In the case where a valuable information is detected during the first visit, $I_{j,1}$ is set to $1 \cdot e_c$ as e_c of a one unit of information can be collected. It is assumed that the collectible information diminishes exponentially with each subsequent visit, irrespective of the outcome of the search process during the previous visit. This collection pattern is expressed through the exponentially decreasing function $(1 - e_c)^{m-1} - (1 - e_c)^m$, which is adopted from Moskal et al. (2023). Consequently, the probability mass function of $I_{j,m}$ can be formulated as in Equation 2.

$$P(I_{j,m}) = \begin{cases} \rho_j \cdot e_{s,j}, & \text{if } I_{j,m} = (1 - e_c)^{m-1} - (1 - e_c)^m \\ 1 - \rho_j \cdot e_{s,j}, & I_{j,m} = 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \tag{2}$$

Consequently, the expected amount of collected information from vehicle k during its m^{th} visit to target j is calculated using the formula $E[I_{j,m}] = \rho_j \cdot e_{s,j} \cdot ((1 - e_c)^{m-1} - (1 - e_c)^m)$.

4.1.3. Search Time and Travel Times

Each UAV allocates a specific duration to the search and recording process at each visited target. The time allocated for each revisit is independent, emphasizing the necessity of conducting the search and recording process on every visit. This restarting assumption remains valid even if previous visits have detected information, as the source of information may have relocated or adopted camouflage measures upon realizing the presence of the UAV in the region.

However, a gradual reduction of $\alpha\%$ is assumed in the duration of the search and recording process with each revisit. This reduction acknowledges that UAVs become more acquainted with the region and can focus their efforts on specific areas. The time that a UAV spends at target j during its m^{th} visit is represented as $s_{j,m} = s_d \cdot \alpha^{(m-1)}$, where s_d represents the specific duration of a search and collection process and s_d is set to 1 hour and α is set to 80%.

Each UAV needs to travel to the center of the target, as these central waypoints allow for changes in the UAV's flight direction. Let $t_{i,j}$ represent the travel duration from target region i to target region j . To determine the travel distance between pairs of targets, the Euclidean distances calculated using the waypoints. Dividing this distance by the speed of the vehicle provides us with the corresponding travel duration. In order to account for the consistent speed of the vehicle, a discount to longer travel distances is implemented. Specifically, distances exceeding the minimum distance and extending up to the maximum distance in the terrain are subject to a discount of up to 30% of their Euclidean distance. This discount is applied in a linear manner, gradually increasing from the minimum distance to the maximum distance. It is

assumed that there are no flight dynamics constraints such as turning angles or other physical limitations that UAVs may encounter during their maneuvers.

4.1.4. Radar detection threat

Similar to Pfeiffer et al. (2009) and Moskal et al. (2023), the Poisson process to represent the detection threat is adopted. Let r^k denote the random variable counting the number of detections that vehicle k is exposed to, and $P(r^k = n)$ as the probability of vehicle k experiencing n detections. Moskal et al. (2023) demonstrates, the random variable r^k exhibits the properties of a Poisson process and thus follows a probability distribution. Let θ^k denote the average number of detections experienced by UAV k . The distribution can be expressed as in Equation 3.

$$P(r^k = n) = \frac{1}{n!} \cdot \theta^k \cdot e^{-\theta^k}, n = 0,1,2, \dots \tag{3}$$

4.2. Mathematical Formulation

Table 2 presents the mathematical notation in and then present the formulation.

Table 2. Mathematical notation

<i>Notation</i>	<i>Definition</i>
Sets	
N	Set of nodes including targets and home base.
K	Set of vehicles.
M	Set of revisits.
T	Set of time steps.
Parameters	
$I_{j,m}$	Expected information collected from target j at visit m .
F	Maximum allowed mission duration, h (hour).
β	Maximum risk acceptable for the probability of being detected.
e_c	Collection sensor effectiveness.
e_s	Search sensor effectiveness.
$s_{j,m}$	Search and recording duration in terms of h that a UAV spends at target j at its m^{th} visit.
$d_{i,j}$	Travel duration in terms of h from target region i to j .
v	UAV flight speed, km/h
$\lambda_{i,j}$	The number of detections per unit of time the UAV is exposed to while traveling from target i to j .
λ_j	The number of detections per unit of time the UAV is exposed to when conducting search activities in region j .
δ	Sufficiently small positive constant.
Decision Variables	
θ^k	Average number of detections experienced by UAV k .
t_h	Arrival time of the UAV returning to the home base at the latest.
$y_{j,m}^k \in \{0,1\}$	Binary variable indicating whether vehicle k searches target j for the m^{th} time.
$x_{t,i,j}^k \in \{0,1\}$	Binary variable indicating whether vehicle k travels from target i to target j at time step t .

Armed with above notation, the mathematical formulation is ready to be presented.

$$Max \sum_{j \in N_t} \sum_{m \in M} I_{j,m} \sum_{k \in K} y_{j,m}^k - \delta \cdot t_h \tag{4}$$

s.t.

$$\theta^k \leq -\ln(1 - \beta) \quad \forall k \in K \tag{5}$$

$$\theta^k = \sum_{t \in T} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N \setminus \{i\}} \lambda_{i,j} \cdot d_{i,j} \cdot x_{t,i,j}^k + \sum_{t \in T} \sum_{m \in M} \lambda_j \cdot s_{j,m} \cdot y_{j,m}^k \quad \forall k \in K \tag{6}$$

$$t_h \leq F \tag{7}$$

$$t_h \geq \sum_{t \in T} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N \setminus \{i\}} d_{i,j} \cdot x_{t,i,j}^k + \sum_{j \in T} \sum_{m \in M} s_{j,m} \cdot y_{j,m}^k \quad \forall k \in K \tag{8}$$

$$\sum_{k \in K} y_{j,m}^k \leq 1 \quad \forall j \in N \setminus \{h\}, m \in M \quad (9)$$

$$\sum_{k \in K} y_{j,m}^k \geq \sum_{k \in K} y_{j,m+1}^k \quad \forall j \in N \setminus \{h\}, m \in M \quad (10)$$

$$\sum_{m \in M} y_{j,m}^k \leq \sum_{t \in T} \sum_{i \in N} x_{t,i,j}^k \quad \forall j \in N \setminus \{h\}, \forall k \in K \quad (11)$$

$$\sum_{j \in N \setminus \{h\}} x_{1,h,j}^k = \sum_{t \in T \setminus \{1\}} \sum_{i \in N \setminus \{h\}} x_{t,j,h}^k \quad \forall k \in K \quad (12)$$

$$\sum_{j \in N_t} x_{1,h,j}^k = 1 \quad \forall k \in K \quad (13)$$

$$\sum_{i \in N} x_{t,i,j}^k = \sum_{i \in N} x_{t+1,j,i}^k \quad \forall t \in T, \forall j \in N \setminus \{h\}, \forall k \in K \quad (14)$$

$$x_{t,i,j}^k \in \{0,1\} \quad \forall t \in T, \forall i \in N, \forall j \in N, i \neq j, \forall k \in K \quad (15)$$

$$y_{j,m}^k \in \{0,1\} \quad \forall j \in N \setminus \{h\}, \forall m \in M \quad (16)$$

Objective Function 4 maximizes the total expected collected information from the mission terrain. It includes a secondary component that considers the return time of the UAV to the base, prioritizing solutions with smaller total duration in case multiple optimal solutions have the same expected collected information.

Constraint 5 imposes a limit on the average detection experienced by the UAVs, while Constraint 6 calculates the average detection rates of the UAVs. These two constraints serve as a linear approximation to the radar restriction constraint described in Equation 17.

$$P(r^k \geq 1) \leq \beta \quad \forall k \in K \quad (17)$$

Proposition 1. Constraints 5 and 6 are valid equations to replace Equation 17.

Proof. Equation 17 indicates that the probability of a vehicle being detected at least once must be lower than the tolerance threshold β set by decision makers. Constraints 5 and 6 are valid equations to replace Equation 17. By subtracting both sides of Equation 17 from 1, it is found that $1 - P(r^k \geq 1) \leq (1 - \beta)$. Since $1 - P(r^k \geq 1)$ is equivalent to $P(r^k = 0)$, the left side can be replaced with $P(r^k = 0)$, resulting in the inequality $P(r^k = 0) \leq (1 - \beta)$. Furthermore, $P(r^k = 0)$ is equal to θ^k as defined in Equation 3. The conclusion can be drawn with the equation $\theta^k \leq (1 - \beta)$, as presented by Constraint 5.

Constraint 7 imposes a limitation on the mission time by restricting the largest returning time to the home base among all UAVs in the fleet. In other words, the largest returning time to the base is determined as the largest flight duration among all UAVs and is subject to the constraint defined by parameter F . The calculation of the largest returning time to the home base is carried out by Constraint 8, which is derived with the assistance of the second part of Objective Function (Equation 4).

Constraint 9 guarantees that each revisited of a target can only be performed once by a single vehicle. For instance, if a target region is visited for the first time, it can only be done by one vehicle. Similarly, if it is visited for the second time, it must also be performed by only one vehicle.

Constraint 10 establishes the sequence of revisits, ensuring that subsequent revisits to a target can only be conducted if the earlier visits have already been completed. Constraint 11 ensures that if a vehicle performs a search at a target, it must have arrived at that target. This constraint establishes the requirement that a vehicle must reach the target before conducting any search operations.

Constraint 12 states that any vehicle that leaves the home base at the first time step must return to the base in one of the subsequent time steps. This constraint ensures that vehicles that depart from the base initially will eventually make their way back to the base after completing their missions.

Constraint 13 ensures that all UAVs in the fleet depart from the base at the first time step. This constraint guarantees that every vehicle initiates its mission at the beginning of the planning horizon.

Constraint 14 represents flow balance equations that ensure the consistency of vehicle movements. It enforces that when a vehicle arrives at a target at a particular time step, it must depart from that target in the subsequent time step. This constraint maintains the continuity of vehicle movements between targets, facilitating a coherent and efficient mission plan. Equations 15 and 16 define decision variables.

4.3. Data and Software

A computational application has been developed to accompany the mathematical model and case study, which is publicly available on GitHub² to support reproducibility efforts. This codebase, programmed in Python, leverages the Gurobi Optimizer via the gurobipy API to solve the mathematical model. Designed as a command-line application, the codebase processes input data from a spreadsheet, computes optimal solutions, and outputs these solutions into a new spreadsheet file. This streamlined process allows users to adjust input parameters without direct code interaction, transforming the codebase into an accessible, spreadsheet-integrated primitive software tool. This design is particularly beneficial for fellow researchers, enabling them to replicate the findings, apply the model to analogous problems, or adapt the dataset to their specific research contexts.

To operate this primitive software, users must ensure the installation of the required computational environment on their systems, including Python, Gurobi, and an active Gurobi license. The input file, located in the designated input folder, comprises three sheets: the first two sheets pertain to target-specific data, while the third sheet contains general parameters like the number of targets and the selected run mode. The software offers two operational modes: “single_objective”, which solves the model with predefined parameters, and “multi_objective”, which iteratively modifies parameters such as the time limit, detection limit, and vehicle size to analyze trade-offs in information collection, mission duration, mission safety, and fleet size. Detailed operational guidelines are available in the accompanying read me file.

In addition to the codebase, two sets of raw data are provided: one pertaining to the case study and another for a larger, hypothetical instance. These datasets are further elaborated upon in subsequent sections. The raw data requires transformation into a compatible format for the model code, a process facilitated by the provided scripts in the instance generator folder.

4.4. Computations

The models are solved with the GUROBI Optimizer 10.0.1 (Gurobi Optimization, 2024) through the developed Python software on a Dell 32-core computer running Linux Centos 7.5.x with a processor Intel Xeon Gold 6130 CPU, @32 x 2.10GHz and 192 GB usable RAM (CCR, 2024).

To review the parameter settings, $N = \{h, 1, 2, \dots, 10\}$, $M = \{1, 2, 3\}$, and $T = 32$. Setting $T = 32$ is sufficient as it is larger than the suggested value $(|N/\{h\}| \cdot |M| + 1)$ by Moskal et al. (2023) for a similar modeling approach. This ensures that the time step index does not restrict the movement of the UAVs. It is assumed that the vehicle is the Bayraktar Akinci with a speed of $v = 360$ km/h. Geographical information on the terrain was extracted from Google Maps, and Euclidean distances between target pairs were used. As vehicle speed stability decreases fuel consumption in practice, discounts to longer travel distances are applied. These discount rates increase linearly from the minimum distance to the maximum distance in the terrain, where the maximum distance is discounted 30%. For the search sensor parameters, W is set to 80 km, the search duration s_d is set to 1 hour, and α is set to 80%.

Different restriction combinations are considered, and the model is solved for each combination. $K = \{1, \dots, k_{max}\}$, where $k_{max} \in \{2, 3, 4, 5, 6, 7, 8\}$, $F \in \{4, 8, 12, 16, 20, 24\}$ and $\beta \in \{0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05\}$ are used. The model is solved for each combination of these restrictions in order to extract insights about their impact and help decision makers in their high-level decisions. In all iterations, termination time for solver is set to one hour. The decision to limit the runs to 1 hour was driven by the extensive nature of the computational experiments conducted. at a maximum of 1 hour per run, the total computation time could extend to 210 hours (approximately 8.75 days) in the worst-case scenario, since some cases may be resolved more quickly.

4.4.1. General Results

The analysis is initiated examining the results in a broader manner, with a focus on the distributions of three pivotal output metrics: expected collected information, solution time, and termination gap (see Figure 3). It is imperative to note that in the specific case study, the maximum expected information collection value stands at 2.106, and this maximum is achieved when all targets are visited. These distributions of three metrics offer valuable insights into the behavior of the model across multiple iterations and the variability in its performance, as quantified by these three metrics.

It is worth noting that the majority of solutions exhibit a minimal gap, typically hovering around 0%. Nevertheless, there exist instances characterized by a significantly larger gap. Furthermore, while the majority of runs conclude expeditiously, a few require a considerably longer duration to reach a solution. The average solution time across the 210 runs is approximately 18 minutes (1097 seconds) and the median

² <https://github.com/edasdemirlab/production-innovation-uav-2023>

is only 5 seconds. Of note, the distribution of expected collected information exhibits a somewhat bimodal pattern, featuring two prominent peaks. In summary, it is evident that the results exhibit variability across all three metrics. This variability primarily stems from the influence of constraints pertaining to mission time, detection probability, and fleet size considerations.

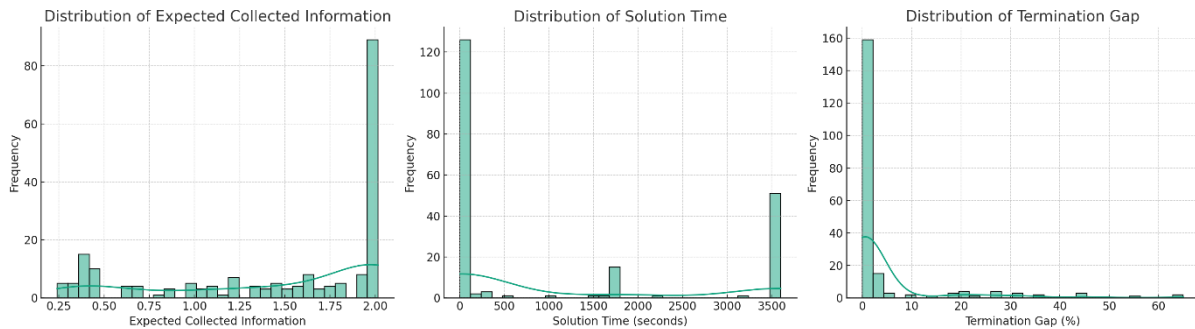


Figure 3. Distributions of three pivotal output metrics

Subsequently, the impact of three constraints on the three-key metrics of interest is investigated. The Table 3 presents the Pearson correlation coefficients. Notably, a robust positive correlation emerges between expected information collection and the "Mission Time Limit," while a moderately positive correlation is observed with the "Number of Vehicles." This observation is logical, as an increase in the allowed flight duration and fleet size facilitates the visiting of more targets and the subsequent collection of more information. Conversely, a weak negative correlation is detected between solution time and both the "Detection Count Limit" and the "Number of Vehicles". This indicates that when the fleet size is limited and radar constraints are stringent, the model faces difficulties in identifying optimal solutions within the prescribed one-hour timeframe. Similarly, the "Mission Time Limit" exhibits a negative correlation with the termination gap, implying that the utilization of restrictive time limits leads to either the model's struggle in discovering optimal solutions or in substantiating their optimality.

Table 3. Correlation coefficients between the restrictions and three metrics

	<i>Expected Collected Information</i>	<i>Solution Time</i>	<i>Gap</i>
Number of Vehicles	0.284	-0.147	0.043
Mission Time Limit	0.746	-0.007	-0.280
Detection Count Limit	0.175	-0.283	0.055

Next, potential high and low-level design challenges that could manifest during the post-innovation phase of UAV deployment are investigated, with the aim of evaluating the results from a managerial perspective.

4.4.2 High-level Design Problems

The high-level design problems in post innovation stage of UAV deployment for the decision makers are determining the optimal fleet size, mission duration and risk tolerance to attain the desired performance for decision-makers in information collection.

Figures 3 and 4 present the results illustrating the relationship between total expected information collection and fleet size. Since this relationship is directly influenced by the limitations of mission duration and risk tolerance, two figures are provided.

In Figure 4, it is assumed that decision-makers are not risk-seeking and therefore enforce a restrictive detection limitation with $\beta = 0.1$. The results indicate that, for a fixed fleet size, the collected information tends to increase with longer flight durations. However, this increase is limited when the fleet size is small. For instance, when $|K| = 2$, increasing the mission duration limit from 4 to 12 helps increase the information collection. However, increasing it from 12 to 24 does not offer any additional benefits in achieving higher information collections. This behavior remains consistent when the fleet size is increased, with the advantage of higher information collections achievable in shorter durations due to the presence of more UAVs. With a greater number of UAVs, the targets can be divided among them, resulting in shorter routes for each UAV and reduced exposure to detection threats. It is noticed that the maximum achievable information collection in the terrain, which is approximately 2, can only be attained when the fleet size consists of 8 UAVs and the mission duration limit is set to 12 or greater. In essence, decision-makers should prioritize building a fleet of 8 UAVs and limit the mission duration to 12, as increasing it beyond that threshold does not yield any additional advantage in fully utilizing the information from the mission terrain.

Figure 5 showcases the results when $\beta = 0.5$, indicating that decision-makers are less concerned about detection threats as the mission primarily takes place in Türkiye and the terrain is non-hostile. Even a small fleet size can now achieve the maximum attainable information collection. For instance, decision-makers can establish a fleet consisting of two UAVs and set a mission duration limit greater than 20, which would be sufficient to fully utilize the terrain. Alternatively, if decision-makers prefer a shorter mission duration and are willing to have a larger number of aircraft in their fleet, four UAVs and a 16-hour limitation or five UAVs and 12-hour limitation would be enough to collect the available information. It is worth noting that the results indicate no additional benefit in increasing the fleet size from four to eight UAVs, so there is no need to include four extra UAVs in the fleet. This could result in significant cost savings considering the setup and operational expenses associated with the additional UAVs.¹

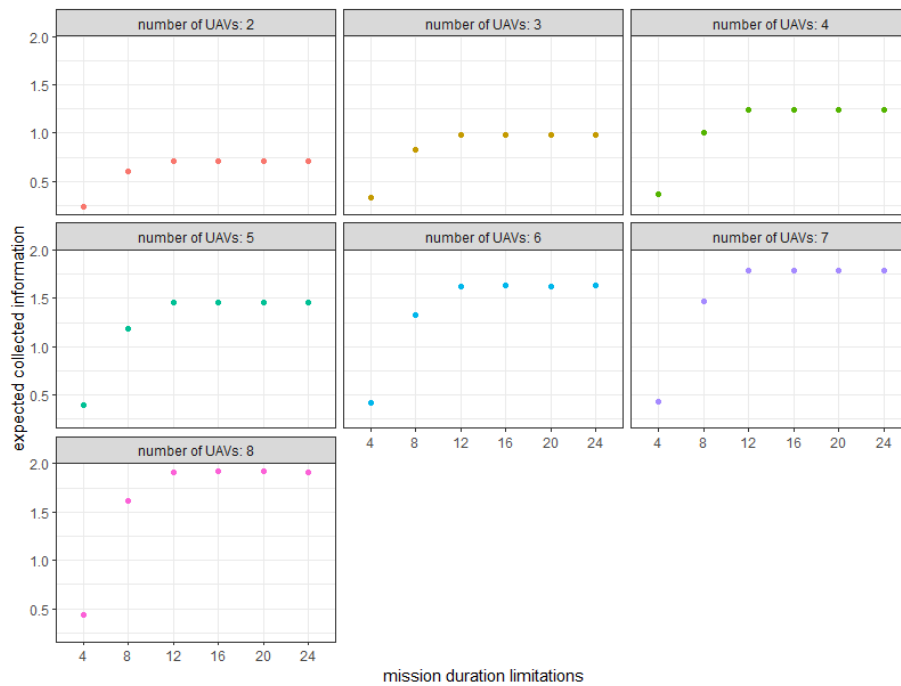


Figure 4. Relationship between fleet size and expected information collection when $\beta = 0.1$

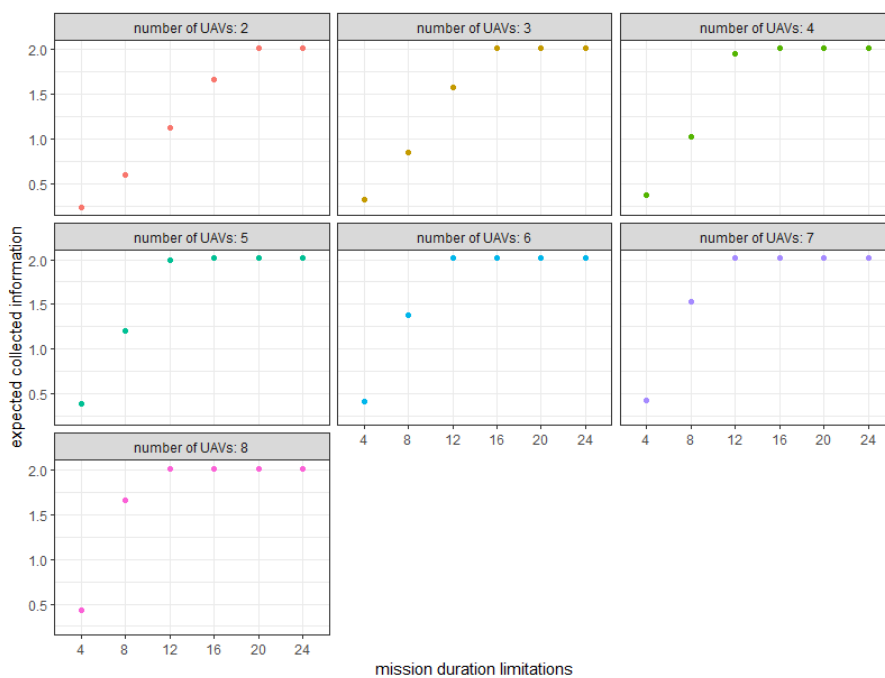


Figure 5. Relationship between fleet size and expected information collection when $\beta = 0.5$

These analyses serve as compelling demonstrations of the MO's ability to provide optimal recommendations for critical design problems. Typically, determining a fleet size while considering flight duration and radar detection threat is a highly complex task for human intelligence. However, with the utilization of MO, the problem is efficiently solved. These iterative runs encompass a total of 210 runs, all of which were resolved within 1 hour. The computational results are presented in Figure 6 using boxplots, which effectively capture the variability attributed to the fleet size. The mean and median solution time across the 210 runs is 1097 and 5 seconds, respectively. In many instances, the solver finds the solution within seconds. While there are cases where the solution time reaches the maximum limit, 1 hour is still a reasonable timeframe for making strategic decisions regarding fleet size and mission duration.

The computational performance can be further enhanced by understanding the factors that affect the computational requirements. The solver may face challenges in finding the initial solution, which can be addressed using heuristic approaches, or it may find the optimal solution quickly but struggle with proving its optimality, which can be improved through the use of valid equations and cuts. Although these aspects are beyond the scope of this study, it is worth mentioning that performance improvements are possible. Furthermore, solver technology is advancing at a rapid pace. Problems that were unsolvable or had very long solution times just a couple of years ago can now be solved much more efficiently due to advancements in computing power and solver technology.

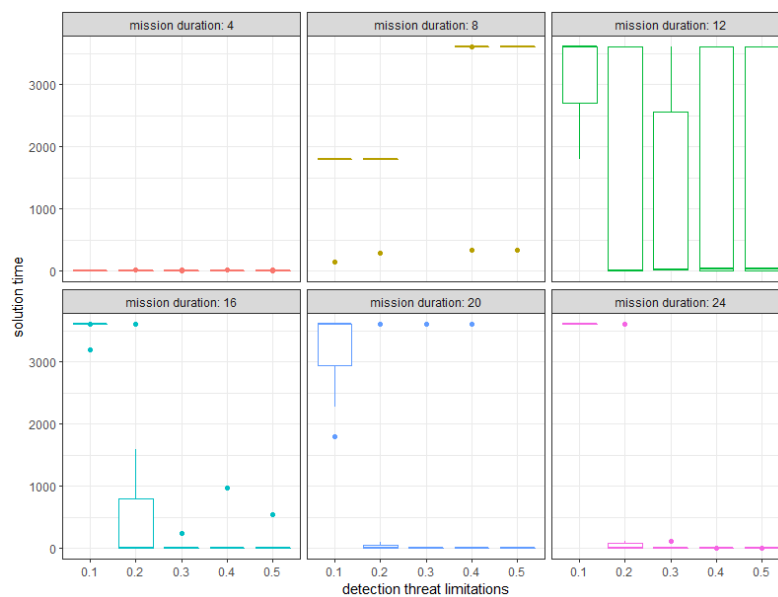


Figure 6. Computational requirements of the model

4.4.3 Low-level Design Problems

The low-level design problems in the post-innovation stage of UAV deployment for decision-makers involve making optimal decisions at the operational level. These decisions revolve around the allocation of the UAV fleet to target locations. This includes determining which targets should be visited, how many times they should be visited, assigning them as tasks to specific UAVs, and determining the visiting order or route for each UAV.

To showcase the effectiveness of MO in providing optimal recommendations to decision-makers, the objective and decision space of the case with fleet size of 4, a risk tolerance of 0.5, and a mission duration limitation of 16 hours is presented. The results in the objective space are as follows: total collected expected information, solution time (in seconds), longest flight duration among UAVs (in hours), and largest detection exposure among UAVs are 2.02, 4.74, 14.99, and 0.25, respectively.

Figure 7 displays the allocations of UAVs to targets and the routes they follow. The results indicate that UAV 1 visits targets 5, 4, and 2, and then returns to the base. It performs 3 searches at targets 5 and 2, and a single search at target 4. UAV 2, on the other hand, visits targets 9, 6, and 8, and then returns to the base. It conducts 1 search at target 9, 3 searches at target 6, and 2 searches at target 8. Finally, UAV 3 visits targets 10, 1, and 3, and then returns to the base. It carries out 3 searches at all three targets.

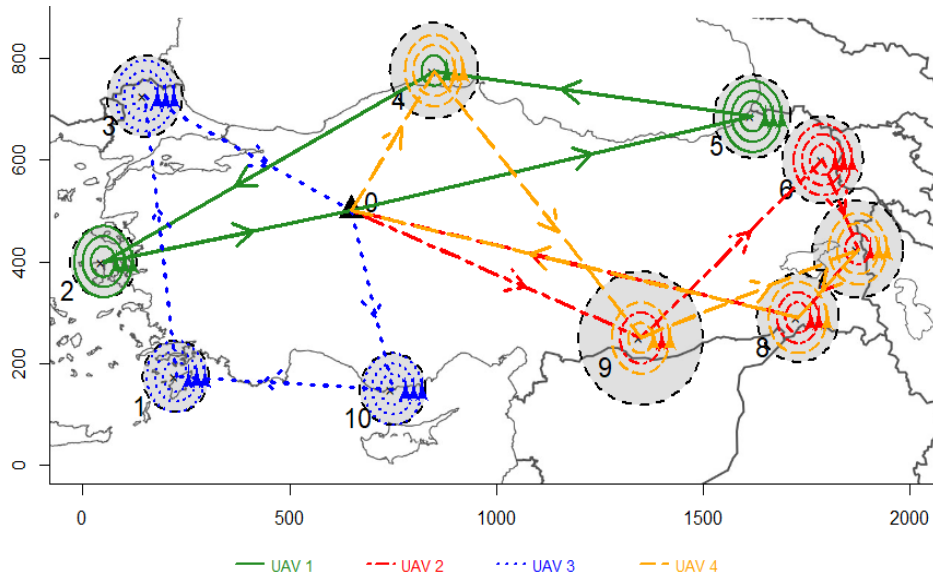


Figure 7. Demonstration of decisions in the operational level

4.5 Performance Evaluation of the Model on a Larger Instance

In practical UAV routing scenarios, the operational strategy typically does not encompass a large number of targets. This limitation arises from the distribution of adversaries within the mission terrain and the fuel capacity constraints of the UAVs. A considerable portion of the literature focuses on UAV movements between a single origin and destination, thereby restricting the number of nodes to two. Even among studies that consider multiple targets, the number of nodes involved is relatively modest. For instance, Dasdemir et al. (2020) investigate UAV routing problems with 5, 9, and 15 targets, while Moskal (2023) examines scenarios with 12, 16, and 28 targets. In this context, the problem instance, featuring 11 nodes (1 base and 10 targets), aligns well with practical scenarios and the scope of existing literature. It's worth noting that for border patrolling operations in Türkiye, scenarios involving more than the modeled 11 observation points are unlikely. However, the model possesses the flexibility to accommodate larger instances. To demonstrate this and investigate the computational performance of the model for larger instances, an instance with 21 nodes (1 base and 20 targets) nodes is generated. This size is large enough compared to literature, and it covers almost most of the part of Türkiye. The map of the instance is provided in Figure 8.

A computation is conducted to assess the model's performance across various combinations of constraints. In this evaluation, no low-level decision-making details are presented, as they hold greater relevance in the context of the actual case study. The primary focus here is on examining the computational performance of the model. The parameter settings employed were consistent with those outlined in the start of "Computations" section, with the exception that $T = 62$ and the termination condition is set to either a 3% gap or a 1-hour time limit. The other settings are $K = \{1, \dots, k_{max}\}$, where $k_{max} \in \{8, 10, 12\}$, $F \in \{8, 16, 24\}$ and $\beta \in \{0.01, 0.03, 0.05\}$. This resulted in a total of 27 different combinations being tested.

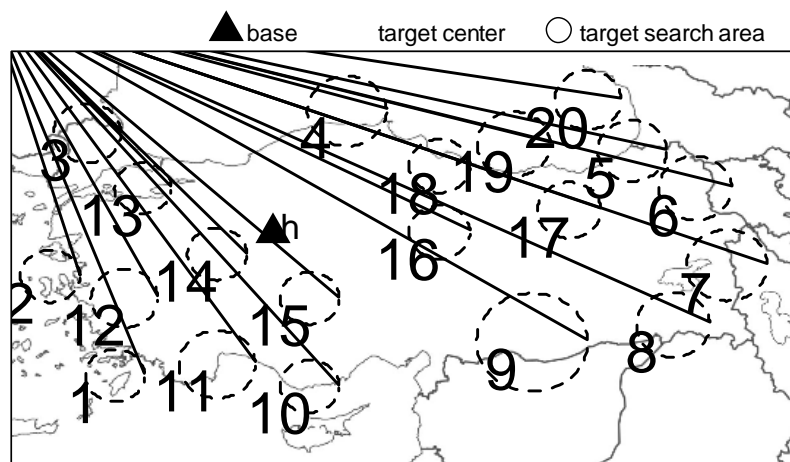


Figure 8. Larger problem instance with 1 base and 20 targets

The scatter plots in Figure 9 illustrate the variation in solution time against different mission durations, detection limits, and fleet sizes. The analysis reveals that cases terminating at the 3600-second mark are predominantly clustered at the lower end of the mission time spectrum. For lower probability scenarios (0.1), none reached an optimal solution within 3600 seconds, while the difference in distributions for 0.3 and 0.5 probabilities is not markedly significant. Additionally, the distribution of cases across different vehicle counts is relatively even, suggesting no clear correlation between the number of vehicles and the instances where solutions were not found within the set time frame.

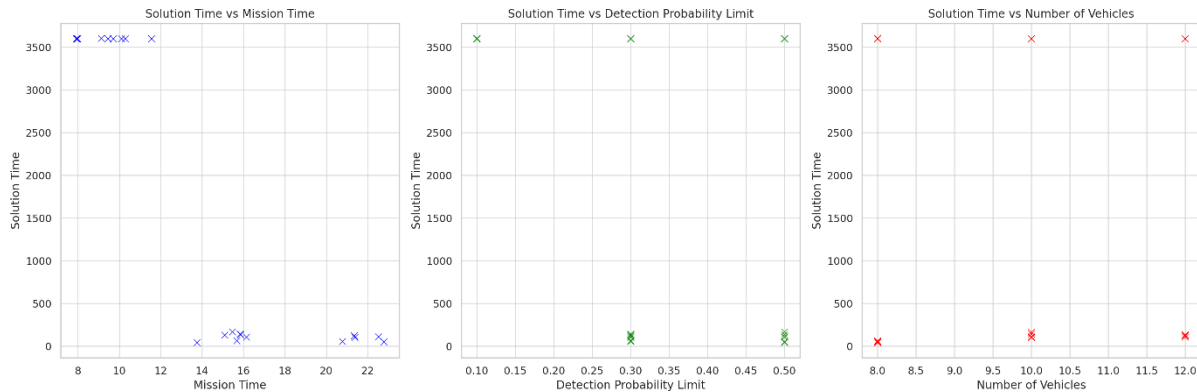


Figure 9. Scatter plots for the solution time of larger problem instance

Figure 10 presents the correlation between expected information collection and three mission parameters. For shorter missions, a broader range of expected information collection values is observed, while longer missions tend to show more clustering towards higher values. In terms of detection limitations, the results indicate that higher detection probability limits may not always result in substantially increased information collection, possibly due to other mission parameter limitations or operational constraints. Regarding fleet size, although larger fleets raise the minimum expected information collection, the relationship is not distinctly linear, suggesting that increasing fleet size does not uniformly enhance information collection.

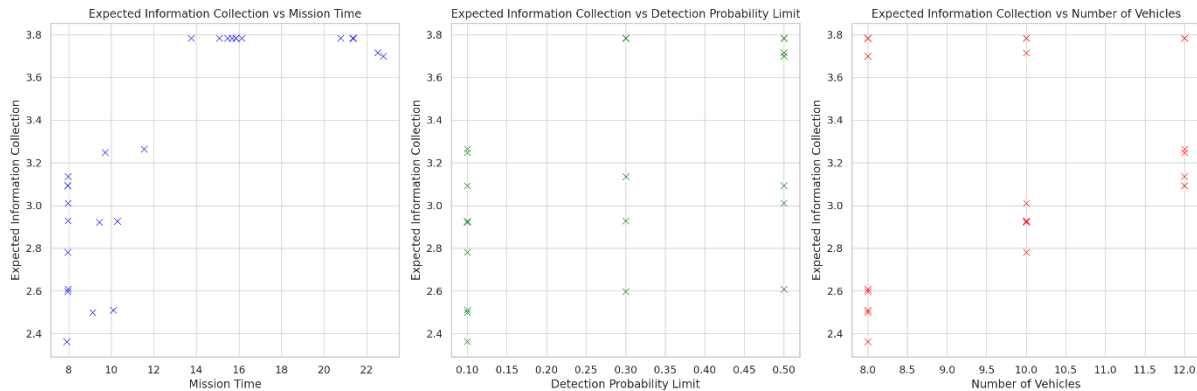


Figure 10. Scatter plots for the expected collected information of larger problem instance

4.6 Discussions

The case study, MO in the context of UAV operations for border patrolling in Türkiye, show the effectiveness of the model in addressing high and low-level decision problems during practical-sized UAV border patrolling operations. It provides optimal recommendations and reveals trade-offs among mission success (information collection), mission safety (radar threat), and mission duration (flight duration) in 18 minutes on average (with a median of 5) over 210 runs with different parameter combinations.

Innovation productivity, at its core, is about maximizing the output and value derived from innovative activities, and the effective conversion of new ideas into practical, value-adding applications. In the case, the application of MO in UAV operations highlights this motivation. By optimizing the UAV routes and strategies, MO not only improves the operational efficiency but also contributes to the broader objective of enhancing the productivity of the innovation. The ability to quickly analyze and determine optimal solutions in complex scenarios of innovative products, like UAV border patrolling, increases productivity in the innovation lifecycle. Decision makers can collect more relevant and higher-quality data in less time, which can then be analyzed to derive valuable insights. In applications like search and rescue or disaster

management, optimized UAV missions can result in quicker response times. Over time, consistent optimization accumulates valuable operational experience and data, which can be used for ongoing research and development. This, in turn, leads to better UAV technology and more effective mission planning tools, fostering long-term innovation and increased productivity in the UAV industry. The proficiency of the model in optimizing a mission consideration can lead to benefits in others. For instance, optimizing for mission duration not only saves time but also potentially increases the frequency of missions, thereby amplifying the overall output of the UAV system. To sum up, optimizing UAV missions streamlines operations, cuts costs speeds up data collection, and ultimately results in more successful and productive outcomes.

5. CONCLUSION

The primary motivation behind a productive innovation is to achieve equal or greater output while utilizing the same or fewer resources, thereby generating added value. At each stage of the innovation process, design problems arise, and efficiently addressing these challenges can significantly boost innovation productivity.

In the current era of digital transformation, analytical approaches are being incorporated into the design problems in innovation management. One such candidate is MO, which is a rapidly growing field within AI that is often underestimated. Despite its long history, MO's impact has recently increased with the advancement of computing technology. What sets MO apart from popular fields like machine learning is its ability to provide optimal recommendations for design problems, guaranteeing their optimality. By leveraging MO methodologies in conjunction with powerful solver technologies, the limitations such as scalability, automation, and the complexity of learning that humans often face can be eliminated.

In this paper, utilization of MO for enhancing innovation productivity is explored. A framework is introduced for integrating MO into the design processes of innovation management. Additionally, a case study that exemplifies the practical application of MO in the utilization of a UAV fleet for border patrolling in Türkiye is presented. In the case study, particularly focusing on UAV operations for border patrolling in Türkiye, the substantial role of MO in boosting innovation productivity is demonstrated. MO's application extends beyond UAV operations, offering broad potential in enhancing the productivity of diverse innovation processes. MO effectively optimizes product design and development, aligning features and specifications with customer needs while controlling costs, thereby expediting innovation cycles. It also enhances resource allocation efficiency, maximizing the return on investment and reducing wastage. In decision-making, MO delivers swift and optimal recommendations, shortening the transition from concept to execution and improving process efficiency. Furthermore, MO plays a crucial role in managing risks and uncertainties inherent in innovation, providing stability through scenario modeling. Additionally, MO facilitates continuous improvement, adapting to new data and insights for more effective solutions. Ultimately, MO's capacity to streamline various innovation aspects significantly reduces time to market, offering a competitive edge and reinforcing the productivity of the entire innovation cycle.

In Türkiye, innovation is as a key government policy, especially in the realm of technological advancement. The country focuses on developing products and services that can compete effectively on the global market. A prime example of this is Türkiye's significant progress in the development and deployment of UAVs, with notable vehicles like Bayraktar TB2, Anka, TAI ANKA, and Vestel Karayel. These advancements places Türkiye at the forefront of this competitive field. Furthermore, Türkiye has initiated the production of EV equipped with autonomous driving capabilities and other intelligent solutions through TOGG. The scope of innovation extends beyond technology to include processes and services. Recently, the Turkish national space program was unveiled, underscoring the commitment to space exploration. In the world of e-commerce and food delivery platforms, Türkiye stands out as one of the most competitive nations. Furthermore, significant innovations have been achieved in the realm of digital healthcare services, evident in platforms like E-nabız and e-prescription. Therefore, integration of MO into innovation initiative's in Türkiye provides a significant potential for innovation productivity.

The paper focuses on the potential of MO in enhancing innovation productivity, but there are still challenges that require further investigation and research. Many questions remain unanswered. One key question is the applicability of MO in triggering innovation. While MO is widely accepted in management areas, its use in pre-innovation stages is not yet well understood. Another question is about the availability of resources for a MO integration. Are MO-led design processes applicable in any industry or company, or are there limiting factors such as the availability of experts, suitable software, and the right organizational culture? Are these necessary resources available at reasonable costs, particularly in the context of Türkiye? Furthermore, integrating MO into design practice poses the challenge of determining the role of decision makers. With the availability of powerful computing, decision makers will no longer need to manually find solutions to problems. Instead, their role will shift towards understanding the significance of innovation

problems, defining design problems, formulating them, and translating them into computer-based models. This shift may necessitate a reconsideration of innovation processes, organizational structures, and problem-solving approaches. While MO holds significant potential, these questions remain unanswered, and further exploration is needed to fully comprehend the implications and practical implementation of MO in innovation processes.

6. REFERENCES

- Ackoff, R.L. (1979). "The Future of Operational Research is Past", *The Journal of the Operational Research Society*, 30(2), 93-104.
- Arf, C. (1959). "Makine Düşünebilir Mi ve Nasıl Düşünebilir?", *Atatürk Üniversitesi – Üniversite Çalışmalarını Muhite Yayma ve Halk Eğitimi Yayınları Konferanslar Serisi*, 1, 91-103.
- Baykar (2023). "Bayraktar Akinci" <https://baykartech.com/tr/uav/bayraktar-akinci/> (Access date: 29.03.2024).
- Braekers, K., Ramaekers, K. and Van Nieuwenhuysse, I. (2016). "The Vehicle Routing Problem: State of the Art Classification and Review", *Computers & Industrial Engineering*, 99, 300-313.
- Camm, J.D., Cochran, J.J., Fry, M.J. and Ohlmann, J.W. (2020). "Business Analytics", Cengage Learning, Boston.
- Cantner, U., Dettmann, E., Giebler, A., Guenther, J. and Kristalova, M. (2019). "The Impact of Innovation and Innovation Subsidies on Economic Development in German Regions", *Regional Studies*, 53(9), 1284-1295.
- Carayannis, E. and Grigoroudis, E. (2014). "Linking Innovation, Productivity, and Competitiveness: Implications for Policy and Practice", *The Journal of Technology Transfer*, 39(2), 199-218.
- CCR (University at Buffalo), (2024). "The Center for Computational Research", <http://hdl.handle.net/10477/79221>, (Erişim tarihi: 29.03.2024)
- Cockburn, I.M., Henderson, R. and Stern, S. (2019). "The Impact of Artificial Intelligence on Innovation: An Exploratory Analysis ", *In: Agrawal, A., Gans, J. and Goldfarb, A. (eds.) The economics of artificial intelligence : an agenda*. Chicago ; London : The University of Chicago Press.
- Coutinho, W.P., Battarra, M. and Fliege, J. (2018). "The Unmanned Aerial Vehicle Routing and Trajectory Optimisation Problem, A Taxonomic Review", *Computers & Industrial Engineering*, 120, 116-128.
- Dasdemir, E., Batta, R., Köksalan, M. and Tezcaner Öztürk, D. (2022). "UAV Routing for Reconnaissance Mission: A Multi-Objective Orienteering Problem with Time-dependent Prizes and Multiple Connections", *Computers & Operations Research*, 145, 105882.
- Dasdemir, E., Köksalan, M. and Tezcaner Öztürk, D. (2020). "A Flexible Reference Point-Based Multi-Objective Evolutionary Algorithm: An Application to the UAV Route Planning Problem", *Computers & Operations Research*, 114, 104811.
- Elmokadem, T. and Savkin, A.V. (2021). "Towards Fully Autonomous UAVs: A Survey". *Sensors*, 21.
- Evers, L., Barros, A. I., Monsuur, H. and Wagelmans, A. (2015). "UAV Mission Planning: From Robust to Agile", *Military Logistics: Research Advances and Future Trends*, (Editors: Zeimpekis, V., Kaimakamis, G. and Daras, N.J), . Springer International Publishing, Cham.
- Garud, R., Tuertscher, P. and Van de Ven, A.H. (2013). "Perspectives on Innovation Processes", *Academy of Management Annals*, 7(1), 775-819.
- Guerriero, F., Surace, R., Loscri, V. and Natalizio, E. (2014). "A Multi-Objective Approach for Unmanned Aerial Vehicle Routing Problem with Soft Time-Windows Constraints", *Applied Mathematical Modelling*, 38(3), 839-852.
- Gunawan, A., Lau, H.C. and Vansteenwegen, P. (2016). "Orienteering Problem: A Survey of Recent Variants, Solution Approaches and Applications", *European Journal of Operational Research*, 255(2), 315-332.
- Gurobi Optimization, LLC. 2024. Gurobi Optimizer Reference Manual.
- Haefner, N., Wincent, J., Parida, V. and Gassmann, O. (2021). "Artificial Intelligence and Innovation Management: A Review, Framework, and Research Agenda", *Technological Forecasting and Social Change*, 162, 120392.
- Haenlein, M. and Kaplan, A. (2019). "A Brief History of Artificial Intelligence: On the Past, Present, and Future of Artificial Intelligence", *California Management Review*, 61(4), 5-14.
- Hall, J.R. and Hess, S.W. (1978). "OR/MS: Dead or Dying? RX for Survival", *Interfaces*, 8, 42-44.
- Jacques, B., Eric, H., Sree, R., Chui, M. , Allas, T., Dahlstrom, P., Henke, N. and Trench, M. (2017). "Artificial Intelligence: The Next Digital Frontier?", McKinsey and Company Global Institute, 47.3.6,
- Mariani, M.M., Machado, Isa, M.V. and Dwivedi, Y.K. (2023). "Artificial Intelligence in Innovation Research: A Systematic Review, Conceptual Framework, and Future Research Directions", *Technovation*, 122, 102623.
- McCloskey, J.F. (1987). "The Beginnings of Operations Research: 1934-1941", *Operations Research*, 35(1), 143-152.
- Minford, L. and Meenagh, D. (2019). "Testing a Model of UK Growth: A Role for R&D Subsidies", *Economic Modelling*, 82, 152-167.
- Mittal, S. and Deb, K. (2007), "Three-Dimensional Offline Path Planning for UAVs Using Multiobjective Evolutionary Algorithms", *2007 IEEE Congress on Evolutionary Computation*, Singappre, 3195-3202.
- Mittelman, H.D. (2020). "Benchmarking Optimization Software - A (Hi)Story", *SN Operations Research Forum*, 1(1), 2.

- Moskal, M.D. and Batta, R. (2017). "A Macrogrid Approach for Routing UAVs in Support of Information Gathering", *Military Operations Research*, 22(4), 35-54.
- Moskal, M.D., Dasedemir, E. and Batta, R. (2023). "Unmanned Aerial Vehicle Information Collection Missions with Uncertain Characteristics", *INFORMS Journal on Computing*, 35(1), 120-137.
- Moustakas, K., Loizidou, M., Rehan, M. and Nizami, A. S. (2020). "A Review of Recent Developments in Renewable and Sustainable Energy Systems: Key Challenges and Future Perspective", *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 119
- Pfeiffer, B., Batta, R., Klamroth, K. and Nagi, R. (2009). "Path Planning for UAVs in the Presence of Threat Zones Using Probabilistic Modelling", *Handbook of Military Industrial Engineering*, (Editors: Badiru, A. B. and Thomas, M. U.), CRC Press, USA.
- Picchi, A. (2023). "College Majors Have A Big Impact on Income. Here Are the Highest- and Lowest-Earning Fields", <https://www.cbsnews.com/news/college-major-top-and-lowest-earning-majors-impact-on-income-pay/>, (Access Date: 29.03.2024)
- Rojas V., Daniela, Solano-Charris, E.L., Muñoz-Villamizar, A. and Montoya-Torres, J.R. (2021). "Unmanned Aerial Vehicles/Drones in Vehicle Routing Problems: A Literature Review", *International Transactions in Operational Research*, 28(4), 1626-1657.
- Rothberg, E. (Forbes), (2021). "Operations Research Analyst: The Fastest-Growing Job You've Never Heard of". <https://www.forbes.com>(Access Date: 29.03.2024)
- Sabuncuoğlu, İ. and Dengiz, B. (2022). "Türkiye'de Endüstri Mühendisliğine Bir Bakış: Geçmişi, Bugünü Ve Geleceği", *Verimlilik Dergisi*, 3, 559-568.
- Stavropoulou, F., Repoussis, P.P. and Tarantilis, C.D. (2019). "The Vehicle Routing Problem with Profits and consistency constraints", *European Journal of Operational Research*, 274(1), 340-356.
- Teece, D.J. (2018). "Tesla and the Reshaping of the Auto Industry", *Management and Organization Review*, 14(3), 501-512.
- Tezcaner, D. and Köksalan, M. (2011). "An Interactive Algorithm for Multi-objective Route Planning", *Journal of Optimization Theory and Applications*, 150(2), 379-394.
- Tezcaner Öztürk, D. and Köksalan, M. (2023). "Biobjective Route Planning of An Unmanned Air Vehicle in Continuous Space", *Transportation Research Part B: Methodological*, 168, 151-169.
- Verganti, R., Vendraminelli, L. and Iansiti, M. (2020). "Innovation and Design in the Age of Artificial Intelligence", *Journal of Product Innovation Management*, 37(3), 212-227.
- Xia, Y., Batta, R. and Nagi, R. (2017). "Controlling a Fleet of Unmanned Aerial Vehicles to Collect Uncertain Information in a Threat Environment", *Operations Research*, 65(3), 674-692.
- Zheng, Z. B., Xie, S.A., Dai, H.N., Chen, X.P. and Wang, H.M. (2018). "Blockchain Challenges and Opportunities: A Survey", *International Journal of Web and Grid Services*, 14(4), 352-375.



T.C. SANAYİ VE
TEKNOLOJİ BAKANLIĞI

Milli
TEKNOLOJİ
HAMLESİ

STRATEJİK ARAŞTIRMALAR VE VERİMLİLİK GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

