

# VERİMLİLİK DERGİSİ



T.C. SANAYİ VE  
TEKNOLOJİ BAKANLIĞI



**Cilt: 59 | Sayı: 3**

Tedarik Zinciri Yönetiminin İşletme Performansına Etkisi: Bursa Otomotiv Yan Sanayi Örneği

Eda Vardar, İbrahim Sabuncu

Determinants of Financial Performance of Non-Bank Financial Institutions: Factoring Institutions in Türkiye

Bertaç Şakir Şahin

A Framework for the Selection of Material Handling Equipment Using Fuzzy FUCOM: A Case Study in the Automotive Industry

Damla Çevik Aka

Comparative Financial Efficiency and Performance Analysis with TOPSIS and MOORA Methods: An Application on Logistic Companies

İsmail Öztanır

Türkiye’de Faaliyet Gösteren Mevduat ve Katılım Bankalarının Finansal Etkinlik ve Verimliliğinin Ölçülmesi: Malmquist Toplam Faktör Verimlilik Endeksi Uygulaması

Barış Aksoy

Performance-Based Shelf Space Plan Evaluation for Enhanced Retail Efficiency

Şeyda Serdarasan

Modeling Potential Productivity Gains from SME Growth: A Monte Carlo Simulation for Turkish Manufacturing Firms

Fatih Cemil Özbüğday

Demiryolu Makinistlerinin Zihinsel İş Yükünün Bulanık TOPSIS ve Bulanık COPRAS Teknikleriyle Analizi

Meryem Koçer, Ömer Faruk Efe

KOBİ'lere Yönelik Ar-Ge Desteklerinin İnovasyon Kapasitesi Üzerindeki Etkinliği: İllere Dayalı Yatay Kesit Veri Analizi

Emine Bayrak Urasoğlu, Necmettin Çelik

Girişimcilikte Başarıya Etki Eden Kriterlerin Tespiti ve Önem Derecelerinin Belirlenmesi

Ali Sevinç

Lojistik Yönetiminde Teslimat Süresi Sapmaları İçin POBREP Yönteminin Modellenmesi ve Uygulanması

Kenan Orçanlı, İlkey Erarslan, Hasan Boztoprak

Adoption of Industry 4.0 in Developing Countries: Scale Development and Empirical Validation

Sayıl Saçak Düzgün, Üstün Özen, Derya Fındık

Türkiye’de Finansal Esneklik ve Yatırım Verimliliği: Borsa İstanbul BIST Temettü Endeksi Şirketleri Üzerine Bir İnceleme

Emine Karaçayır

Application of Lean Manufacturing Techniques to Low Density Polyethylene Recycling Processes: A Value Stream Mapping Approach

Emre Can Temiz, Emel Yontar

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: 2025 Sayı: 3

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 - Şeniz KOBAL

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  
22.07.2025

### 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. Kağan KARADEMİR - Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı  
Dr. Murat MAHMUTOĞLU - 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 BAKI - Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Cengiz KAHRAMAN - İstanbul Teknik 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. Metin DAĞDEVİREN - Yükseköğretim Denetleme Kurulu  
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. Cihan YALÇIN - SRG Mühendislik Danışmanlık Ltd. Şti.

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 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.



# İÇİNDEKİLER

## CONTENTS

481  
502

Tedarik Zinciri Yönetiminin İşletme Performansına Etkisi: Bursa Otomotiv Yan Sanayi Örneği  
*The Effect of Supply Chain Management on Business Performance: An Example of Bursa Automotive Sub-Industry*  
**Eda Vardar, İbrahim Sabuncu**

503  
512

Determinants of Financial Performance of Non-Bank Financial Institutions: Factoring Institutions in Türkiye  
*Banka Dışı Finansal Kuruluşların Finansal Performans Belirleyicileri: Türkiye'deki Faktoring Kuruluşları*  
**Bertaç Şakir Şahin**

513  
530

A Framework for the Selection of Material Handling Equipment Using Fuzzy FUCOM: A Case Study in the Automotive Industry  
*Bulanık FUCOM Kullanılarak Malzeme Taşıma Ekipmanı Seçimi İçin Bir Çerçeve: Otomotiv Endüstrisinde Bir Vaka Çalışması*  
**Damla Çevik Aka**

531  
548

Comparative Financial Efficiency and Performance Analysis with TOPSIS and MOORA Methods: An Application on Logistic Companies  
*TOPSIS ve MOORA Yöntemleri ile Karşılaştırmalı Finansal Verimlilik ve Performans Analizi: Lojistik Şirketlerine Yönelik Bir Uygulama*  
**İsmail Öztanır**

549  
574

Türkiye'de Faaliyet Gösteren Mevduat ve Katılım Bankalarının Finansal Etkinlik ve Verimliliğinin Ölçülmesi: Malmquist Toplam Faktör Verimlilik Endeksi Uygulaması  
*Measuring the Financial Efficiency and Productivity of Deposit and Participation Banks Operating in Türkiye: An Application of the Malmquist Total Factor Productivity Index*  
**Bariş Aksoy**

575  
588

Performance-Based Shelf Space Plan Evaluation for Enhanced Retail Efficiency  
*Performansa Dayalı Raf Alanı Planı Değerlendirmesi: Perakende Verimliliğini Artırma*  
**Şeyda Serdarasan**

589  
608

Modeling Potential Productivity Gains from SME Growth: A Monte Carlo Simulation for Turkish Manufacturing Firms  
*KOBİ Büyümesinden Kaynaklanan Potansiyel Verimlilik Kazançlarının Modellenmesi: Türk İmalat Sanayii İçin Bir Monte Carlo Simülasyonu*  
**Fatih Cemil Özbuğday**

609  
624

Demiryolu Makinistlerinin Zihinsel İş Yükünün Bulanık TOPSIS ve Bulanık COPRAS Teknikleriyle Analizi  
*Mental Workload Analysis of Railway Drivers Through Fuzzy TOPSIS and Fuzzy COPRAS Methods*  
**Meryem Koçer, Ömer Faruk Efe**

625  
646

KOBİ'lere Yönelik Ar-Ge Desteklerinin İnovasyon Kapasitesi Üzerindeki Etkinliği: İllere Dayalı Yatay Kesit Veri Analizi  
*Effectiveness of R&D Supports for SMEs on Innovation Capacity: A Provincial Cross-Sectional Data Analysis*  
**Emine Bayrak Urasoğlu, Necmettin Çelik**

647  
660

Girişimcilikte Başarıya Etki Eden Kriterlerin Tespiti ve Önem Derecelerinin Belirlenmesi  
*Determination of Criteria Affecting Success in Entrepreneurship and Determination of Their Importance*  
**Ali Sevinç**

661  
682

Lojistik Yönetiminde Teslimat Süresi Sapmaları İçin POBREP Yönteminin Modellenmesi ve Uygulanması  
*Modeling and Implementing the POBREP Method for Delivery Time Deviations in Logistics Management*  
**Kenan Orçanlı, İlkay Erarslan, Hasan Boztoprak**

683  
700

Adoption of Industry 4.0 in Developing Countries: Scale Development and Empirical Validation  
*Endüstri 4.0'ın Gelişmekte Olan Ülkelerde Benimsenmesi: Ölçek Geliştirme ve Ampirik Doğrulama*  
**Sayıl Saçak Düzgün, Üstün Özen, Derya Fındık**

701  
714

Türkiye'de Finansal Esneklik ve Yatırım Verimliliği: Borsa İstanbul BIST Temettü Endeksi Şirketleri Üzerine Bir İnceleme  
*Financial Flexibility and Investment Efficiency in Turkey: A Review of Borsa İstanbul BIST Dividend Index Companies*  
**Emine Karaçayır**

715  
742

Application of Lean Manufacturing Techniques to Low Density Polyethylene Recycling Processes: A Value Stream Mapping Approach  
*Düşük Yoğunluklu Polietilen Geri Dönüşüm Proseslerine Yalın Üretim Tekniklerinin Uygulanması: Değer Akış Haritalandırma Yaklaşımı*  
**Emre Can Temiz, Emel Yontar**

## Tedarik Zinciri Yönetiminin İşletme Performansına Etkisi: Bursa Otomotiv Yan Sanayi Örneği

Eda Vardar<sup>1</sup> , İbrahim Sabuncu<sup>1</sup> 

### ÖZET

**Amaç:** Bu araştırma, Bursa otomotiv yan sanayisinde faaliyet gösteren firmalarda tedarik zinciri yönetimi uygulamalarının (TZYU) işletme performansına etkilerini incelemeyi amaçlamaktadır. Ayrıca şirket niteliklerinin etkisinin olup olmadığı da araştırmaya dahil edilmiştir.

**Yöntem:** Veriler, Bursa ilinde otomotiv yan sanayi alanında faaliyet gösteren 4 bölge içerisindeki işletmelerden elde edilmiştir. 283 firmanın yer aldığı evrenden kolayda örnekleme yöntemiyle seçilen 108 firmadan veri toplanmıştır. Veri toplama aracı olarak anket yöntemi kullanılmıştır. Veriler hem e-posta hem de yüz yüze görüşmeler sonucu elde edilmiş ve SPSS 27.0 programı yardımıyla analiz edilmiştir. Analizlerde güvenilirlik, normallik, korelasyon, regresyon analizleri ile fark testleri kullanılmıştır.

**Bulgular:** Araştırma kapsamında elde edilen bulgular, TZYU'nın işletme performansı üzerinde pozitif ve anlamlı etkiler yarattığını göstermektedir. Ayrıca, faaliyet süresi, çalışan sayısı gibi şirket niteliklerinin, tedarik zinciri yönetimi süreçlerinin etkinliği üzerinde belirgin etkiler yarattığı gözlemlenmiştir. Daha uzun süredir faaliyet gösteren ve çalışan sayısı fazla olan firmaların, tedarik zinciri uygulamalarını daha etkin bir şekilde yönettikleri tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, işletme büyüklüğü ve deneyiminin, tedarik zinciri yönetimi başarısında kritik bir rol oynadığını ortaya koymaktadır.

**Özgünlük:** Literatürde, bu uygulamaların Bursa otomotiv yan sanayi özelindeki etkileri hakkında yeterli çalışma bulunmamaktadır. Bu araştırma, sektöre özgü veriler ve analizlerle bu boşluğu doldurmayı hedeflemektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Tedarik Zinciri Yönetimi, Tedarik Zinciri Yönetimi Uygulamaları, İşletme Performansı.

**JEL Kodları:** M1, M11, L23, L60.

## The Effect of Supply Chain Management on Business Performance: An Example of Bursa Automotive Sub-Industry

### ABSTRACT

**Purpose:** This research aims to examine the effects of supply chain management practices on business performance in companies operating in Bursa automotive sub-industry. In addition, whether company characteristics have an effect or not is also included in the research.

**Methodology:** Data were obtained from businesses operating in the automotive sub-industry in 4 regions of Bursa. Data were collected from 108 companies selected by convenience sampling method from the universe of 283 companies using the survey method. Data were obtained through both e-mail and face-to-face interviews and analyzed with SPSS 27.0 program. Reliability, normality, correlation, regression analyses and difference tests were used in the analyses.

**Findings:** Research findings indicate that supply chain management practices positively impact business performance. Additionally, company characteristics such as operational duration and number of employees significantly affect the effectiveness of supply chain management processes. Firms with longer operational histories and more employees manage their supply chain practices more effectively. These results highlight the critical role of business size and experience in the success of supply chain management.

**Originality:** There are not enough studies in the literature about the effects of these applications on Bursa automotive sub-industry. This research aims to fill this gap with sector-specific data and analysis.

**Keywords:** Supply Chain Management, Supply Chain Management Applications, Business Performance.

**JEL Codes:** M1, M11, L23, L60.

<sup>1</sup> Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yalova, Türkiye

Sorumlu Yazar-Corresponding Author: Eda Vardar, edasenn97@gmail.com

DOI: 10.51551/verimlilik.1600447

Araştırma Makalesi / Research Article | Geliş / Submitted: 12.12.2024 | Kabul / Accepted: 17.04.2025

Atıf/Cite: Vardar, E. ve Sabuncu, İ. (2025). "Tedarik Zinciri Yönetiminin İşletme Performansına Etkisi: Bursa Otomotiv Yan Sanayi Örneği", *Verimlilik Dergisi*, 59(3), 481-502.

## EXTENDED ABSTRACT

In the context of increasing globalization and intensified competition, supply chain management (SCM) has become a strategic necessity for businesses seeking to achieve sustainable success. SCM encompasses all processes from raw material procurement to the final delivery of products to customers. Effective SCM practices can significantly reduce costs, enhance operational efficiency, and increase customer satisfaction, particularly in industries such as the automotive sub-industry, where quality, speed, and cost are critical.

Although SCM has been widely examined in various sectors, there is a notable gap in academic research focusing specifically on the effects of SCM practices on business performance within the automotive sub-industry in Bursa, Turkey—a key hub in the country's automotive production network. This study aims to fill that gap by empirically investigating the relationship between SCM practices and business performance in automotive sub-industry firms operating in Bursa. The research focuses on six core SCM components: strategic supplier partnership, customer relationship management, information sharing, information quality, postponement, and internal operations. The main hypothesis posits that SCM practices have a significant and positive impact on business performance. Additionally, the study investigates whether company characteristics have an impact.

The study employs a quantitative research method based on a structured questionnaire. Data were collected from 108 automotive sub-industry firms in Bursa using convenience sampling. The questionnaire was distributed via email and in face-to-face interviews. Statistical analyses including reliability tests, normality tests, correlation, regression, and ANOVA were conducted using SPSS 27.0 software. The analysis aims to determine the significance and direction of the relationship between SCM components and business performance, while also examining the moderating role of firm characteristics.

The results reveal that SCM practices have a statistically significant and positive effect on business performance. Regression analysis indicates that strategic supplier partnerships, customer relationship management, information sharing, information quality, postponement, and internal operations each positively influence performance metrics such as efficiency, customer satisfaction, and financial outcomes. Among these, internal operations and strategic supplier partnerships showed the strongest effects. Moreover, the results demonstrate that firms with longer operational histories and larger workforces tend to implement SCM practices more effectively, highlighting the influence of organizational maturity and capacity. The findings are supported by correlation coefficients and regression models with  $R^2$  values ranging from 0,063 to 0,296, showing varying degrees of explanatory power among different SCM components.

The research confirms that effective SCM implementation contributes positively to firm performance in the automotive sub-industry. The implications are particularly relevant for firms aiming to enhance their competitive edge in both domestic and international markets. From a practical standpoint, the study offers strategic insights for managers seeking to optimize SCM processes. It also suggests that investment in SCM capabilities should be aligned with organizational size and experience to maximize performance outcomes. However, the study is limited to firms operating in Bursa and relies on self-reported data. Future research could adopt longitudinal or multi-regional designs to generalize the findings further and explore causal relationships in more depth.

## 1. GİRİŞ

Küreselleşmenin hız kazandığı günümüzde, işletmelerin rekabet avantajı elde edebilmesi ve sürdürülebilir bir başarı yakalayabilmesi için tedarik zinciri yönetimi kritik bir öneme sahiptir. Tedarik zinciri yönetimi, hammadde tedarik edilmesinden nihai ürünün müşteriye ulaştırılmasına kadar olan tüm süreçleri kapsamaktadır ve etkin bir TZY uygulaması, maliyetlerin azaltılması, operasyonel verimliliğin artırılması ve müşteri memnuniyetinin sağlanması gibi çeşitli avantajlar sunmaktadır (Christopher, 2016: 12-13; Kim, 2009; Tan ve diğerleri, 1998).

Tedarik zinciri yönetimi, işletmelerin sadece iç süreçlerini değil, aynı zamanda tedarikçiler, dağıtıcılar ve müşterilerle olan ilişkilerini de optimize etmeyi amaçlar. Bu bağlamda, tedarik zinciri yönetimi, işletmelerin rekabet gücünü artırmak ve piyasa koşullarına hızlı bir şekilde uyum sağlamak için stratejik bir araç olarak kullanılmaktadır. Özellikle otomotiv yan sanayi gibi rekabetin yoğun olduğu sektörlerde, tedarik zinciri süreçlerinin etkin bir şekilde yönetilmesi işletme başarısını doğrudan etkilemektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalar, tedarik zinciri yönetimi uygulamalarının işletme performansına olumlu etkileri olduğunu ortaya koymuş ve stratejik tedarikçi ortaklığı, bilgi paylaşımı, müşteri ilişkileri gibi unsurların bu süreçte katkı sağladığını göstermiştir (Byrd ve Davidson, 2003; Gandhi ve diğerleri, 2017).

Otomotiv yan sanayi, ana sanayi ile entegrasyon halinde çalışan, ürün kalitesi, teslimat hızı ve maliyet optimizasyonu gibi faktörlerin büyük önem taşıdığı bir endüstridir. Bursa, Türkiye'nin otomotiv sanayisinde kritik bir rol üstlenmekte olup, bölgede faaliyet gösteren yan sanayi firmaları hem yerel hem de küresel pazarlara hizmet vermektedir. Ancak, literatür incelemeleri, Bursa otomotiv yan sanayi özelinde TZY'nin işletme performansına etkisini konu alan akademik çalışmaların sınırlı olduğunu göstermektedir. Bu çalışma, akademik boşluğu doldurmayı amaçlayarak sektöre özgü bir analiz sunmaktadır.

Bu çalışmanın temel amacı, Bursa otomotiv yan sanayi örneği üzerinden tedarik zinciri yönetimi uygulamalarının işletme performansına etkisini bilimsel verilerle ortaya koymaktır. TZY'nin bileşenleri arasında stratejik tedarikçi ortaklığı, müşteri ilişkileri yönetimi, bilgi paylaşımı, bilgi kalitesi, erteleme ve dahili operasyonlar yer almaktadır (Mentzer ve diğerleri, 2001). Araştırmanın temel hipotezi, TZY uygulamalarının işletme performansı üzerinde anlamlı ve pozitif bir etkisi olduğu yönündedir.

Araştırmada kullanılan yöntem, bilimsel geçerliliği olan anket tekniğine dayanmaktadır. Veriler, Bursa'daki otomotiv yan sanayi firmalarından kolayda örnekleme yöntemiyle toplanmış olup, analizlerde güvenilirlik, normallik, korelasyon, regresyon analizleri ile fark testleri kullanılmıştır. Bu yöntemin tercih edilme nedeni, sınırlı zaman ve kaynaklarla genellenebilir ve güvenilir veriler elde edebilmeye imkân tanınmasıdır (Saunders ve diğerleri, 2016: 324). Çalışma sonucunda elde edilen bulgular, sektördeki işletmelerin stratejik karar alma süreçlerini iyileştirmelerine rehberlik edebilecek önemli çıktılar sağlamaktadır.

Bu bağlamda, çalışmanın yapısı şu şekilde kurgulanmıştır: İlk olarak, tedarik zinciri yönetimi ve işletme performansı konularındaki kuramsal ve ampirik literatür ayrıntılı bir şekilde incelenmiş ve kavramsal bir temel oluşturulmuştur. Devamında, araştırmanın amacı, kapsamı, yöntemi, evreni, örnekleme ve veri toplama süreci açıklanarak metodolojik altyapı ortaya konmuştur. Sonraki bölümde, anket yoluyla elde edilen veriler istatistiksel analizler aracılığıyla değerlendirilmiş ve bulgular detaylı şekilde sunulmuştur. Son olarak, ulaşılan sonuçlar ışığında genel değerlendirmeler yapılmış, uygulayıcılara yönelik öneriler geliştirilmiş ve gelecekteki çalışmalara katkı sağlayabilecek çıkarımlar paylaşılmıştır.

## 2. LİTERATÜR TARAMASI

Tedarik zinciri yönetimi uygulamaları (TZYU), işletmelerin hammadde tedarik edilmesinden nihai ürüne kadar olan süreçlerini optimize ederek operasyonel verimliliği artırmayı, maliyetleri düşürmeyi ve rekabet avantajı sağlamayı amaçlayan stratejik bir yaklaşımdır. Günümüzün küreselleşmiş ekonomisinde, TZYU'nun önemi, işletmelerin hızlı değişimlere adapte olma yeteneği ve müşteri beklentilerini karşılama kapasitesiyle doğrudan ilişkilidir. Literatür, TZYU'nun işletme performansı üzerindeki etkisini operasyonel (verimlilik, teslimat hızı), finansal (kârlılık, maliyet azaltımı) ve stratejik (rekabet gücü, müşteri memnuniyeti) boyutlarıyla ele almıştır. Bu bağlamda, TZYU'nun işletme performansı ile pozitif bir ilişkisi olduğu genel kabul görmüş bir bulgudur. Ancak, bu ilişki sektörel, bölgesel ve firmaya özgü faktörlere göre değişiklik gösterebilir. Bursa'daki otomotiv yan sanayi firmalarında TZYU'nun işletme performansına etkisini inceleyen yeni çalışma, literatürdeki bu genel çerçeveyi sektörel bir bağlama oturtmayı hedeflemektedir. Çalışma, 108 firmadan toplanan verilerle TZYU'nun performans üzerindeki etkisini ve şirket niteliklerinin (faaliyet süresi, çalışan sayısı) bu süreçteki rolünü analiz ederek, literatürde az çalışılmış bir bölge ve sektöre odaklanmaktadır. Bu yönüyle, mevcut çalışmaların genellikle genel endüstriyel veya farklı sektörel bağlamlara yöneldiği bir alanda, Bursa otomotiv yan sanayisine özgü boşluğu doldurmayı amaçlamaktadır.

Literatürde TZYU'nun işletme performansı üzerindeki etkisini inceleyen birçok çalışma, anket yöntemiyle nicel analizlere dayanmaktadır. Tan ve diğerleri (1998), üretim işletmelerine uygulanan anketlerle TZYU'nun

kurumsal performansı pozitif etkilediğini ortaya koymuş; Byrd ve Davidson (2003), ABD'deki 225 firmadan toplanan anket verileriyle bilişim teknolojilerinin TZYU üzerindeki olumlu etkisini doğrulamıştır. Kim (2009), Kore ve Japon imalat firmalarına uygulanan anketlerle TZYU'nın rekabet gücü ve performans üzerindeki etkisini incelemiş ve pozitif bir ilişki bulmuştur. Türkiye'de Ungan (2011), Sivas'taki 41 firmaya anket uygulayarak TZYU'nın tedarikçi performansı ile bağlantısını değerlendirmiştir. Erdem (2013), İstanbul'daki 78 gıda işletmesinden anketle veri toplayarak TZYU'nın müşteri değeri ve performans üzerindeki etkisini analiz etmiştir. Özgüner ve Yıldız (2021), Gaziantep'teki 176 işletmeden anket verileriyle TZYU'nın performans üzerindeki pozitif etkisini doğrulamıştır. Bu çalışmalar, anket yönteminin TZYU-performans ilişkisini geniş ölçekte ölçmedeki etkinliğini göstermektedir. Ancak, bu çalışmaların çoğu genel endüstriyel bağlamlara veya farklı sektörlerle odaklanmıştır. Bursa'daki yeni çalışma, anket yöntemiyle 108 otomotiv yan sanayi firmasından veri toplayarak bu alandaki sektörel boşluğu doldurmayı hedeflemektedir. Ayrıca, şirket niteliklerinin TZYU süreçlerindeki etkisini inceleyerek, literatürdeki anket temelli çalışmalara firmaya özgü bir perspektif eklemeyi amaçlamaktadır.

TZYU'nın işletme performansına etkisini istatistiksel yöntemlerle ölçen çalışmalar, regresyon ve korelasyon analizlerini sıklıkla kullanmıştır. Bıçakçı ve Üreten (2017), Ankara'daki 42 işletmeden toplanan verilerle basit ve çoklu regresyon analizi yaparak, talep yönetimi ve tedarik tabanı yönetiminin TZY performansını olumlu etkilediğini bulmuştur. Gandhi ve diğerleri (2017), Hindistan'daki 125 perakende işletmesinde çoklu regresyon analiziyle TZYU'nın performansla pozitif ilişkisini doğrulamıştır. Tekin ve Öztürk (2020), Ankara'daki 90 gıda işletmesinde korelasyon ve regresyon analizleriyle TZYU'nın performans üzerindeki pozitif etkisini ortaya koymuştur. Gültekin ve Onuk (2020), Bursa'daki 59 otomotiv firmasında regresyon analiziyle inovasyonun performansı artırdığını belirlemiştir. Chileshe ve Phiri (2022), Zambiya'daki 151 tarım bayisinde regresyon analiziyle TZYU'nın rekabet avantajı ve performansla ilişkisini incelemiştir. Kadiane ve diğerleri (2023), Fildişi Sahili'nde çoklu doğrusal regresyonla TZYU'nın finansal performansı iyileştirdiğini göstermiştir. Bu çalışmalar, regresyon ve korelasyon analizlerinin TZYU'nın etkilerini nedensel bir şekilde ölçmedeki gücünü kanıtlamaktadır. Yeni çalışma, Bursa'daki 108 firmadan toplanan verileri SPSS 27.0 ile analiz ederek regresyon ve korelasyon yöntemlerini kullanmayı planlamaktadır. Literatürdeki bu yöntemleri genişleterek, şirket niteliklerinin TZYU-performans ilişkisindeki moderatör etkisini ölçmeyi hedefleyen çalışma, istatistiksel analizlere yeni bir boyut katacaktır.

Literatürde TZYU'nın işletme performansına etkisini nitel yöntemlerle inceleyen çalışmalar sınırlı olsa da bu yaklaşımlar derinlemesine anlayış sunar. Ungan (2011), Sivas'taki sanayi işletmelerinde TZYU'nın benimsenme düzeyini ve tedarikçi seçim kriterlerini anketle birlikte nitel gözlemlerle değerlendirmiştir. Bu çalışma, TZYU'nın pratikteki eksikliklerini ortaya koyarak iyileştirme alanlarını belirlemiştir. Nursyamsiah ve Syah (2019), Endonezya'daki lahana tarım işletmelerinde TZYU'nın rekabet avantajına etkisini nitel verilerle desteklemiştir. Bu tür nitel analizler, TZYU'nın sektörel dinamiklerini anlamada değerlidir. Ancak, otomotiv yan sanayisine özgü nitel çalışmalar literatürde eksiktir. Bursa'daki yeni çalışma, esasen nicel bir yaklaşıma dayansa da anket verilerinin yorumlanmasında sektörel dinamikleri derinlemesine ele alarak nitel bir perspektif sunabilir. Bu, çalışmanın sektörel özgünlüğünü artırarak, literatürdeki nitel boşluğu dolaylı yoldan destekleyecektir.

Nicel ve nitel yöntemleri birleştiren karma yöntem çalışmaları, TZYU'nın etkilerini çok yönlü bir şekilde analiz eder. Bülbül ve diğerleri (2014), Türkiye'deki 233 işletmeden toplanan anket verilerini yapısal eşitlik modellemesi (YEM) ile analiz etmiş ve alıcı-tedarikçi iş birliğinin TZY performansını artırdığını nitel gözlemlerle desteklemiştir. Truong ve diğerleri (2017), Vietnam'daki hazır giyim işletmelerinde YEM ile TZYU'nın doğrudan ve dolaylı etkilerini incelemiş, nitel verilerle bulguları zenginleştirmiştir. Quynh ve Huy (2018), Ho Chi Minh City'deki KOBİ'lerde anket verilerini nitel yorumlarla birleştirerek TZYU'nın müşteri ilişkileriyle performans bağlantısını vurgulamıştır. Baki (2019), Türkiye'deki 103 çalışandan toplanan verileri YEM ile analiz etmiş ve üst yönetim desteğinin rolünü nitel olarak değerlendirmiştir. Yıldız ve Çetindaş (2020), İstanbul'daki 156 imalat firmasında YEM ile entegrasyonun etkisini ölçmüş, esneklik ve çeviklik faktörlerini nitel açıdan tartışmıştır. Yeni çalışma, karma yöntemleri doğrudan benimsemese de anket verilerinin analizinde şirket niteliklerini derinlemesine yorumlayarak karma bir bakış açısı sunmayı hedefler. Bu, literatürdeki karma yöntem çalışmalarına dolaylı bir katkı sağlayacaktır.

TZYU'nın işletme performansı üzerindeki etkisini inceleyen çalışmalar, genellikle kaynak temelli görüş (RBV), işlem maliyeti ekonomisi (TCE) ve sistem teorisi gibi teorik modellere dayanır. Zhou ve Li (2020), Çin'deki 138 firmada RBV çerçevesinde TZYU'nın kalite yönetimiyle performans ilişkisini incelemiştir. Acar ve diğerleri (2021), Bursa'daki otel işletmelerinde sistem teorisiyle TZYU'nın lojistik entegrasyonunu analiz etmiştir. Literatürdeki bu teorik temeller, TZYU'nın stratejik bir yetkinlik olarak performans üzerindeki etkisini açıklamaktadır. Yeni çalışma, RBV ve sistem teorisini birleştirerek, Bursa'daki firmaların TZYU'nı bir kaynak olarak nasıl kullandığını ve şirket niteliklerinin bu süreçteki rolünü hipotezlerle test etmeyi planlamaktadır. Bu yaklaşım, literatürdeki teorik çerçeveyi sektörel bir bağlamda genişletecektir.

Literatür, TZYU'nun işletme performansı üzerindeki pozitif etkisini anket, regresyon, nitel ve karma yöntemlerle kanıtlamıştır. Ancak, Bursa otomotiv yan sanayisine özgü bir çalışma bulunmamaktadır. Mevcut çalışmalar genellikle genel endüstriyel bağlamlara veya farklı sektörlerle (gıda, tarım, perakende) odaklanırken, şirket niteliklerinin TZYU-performans ilişkisindeki rolü yeterince ele alınmamıştır. Yeni çalışma, 108 firmadan toplanan verilerle bu boşlukları doldurmayı hedefler. Bursa'nın otomotiv sektöründeki stratejik konumu ve yan sanayinin yoğunluğu, çalışmayı özgün kılarken, şirket niteliklerinin analizine odaklanması literatüre yeni bir boyut katacaktır. Böylece hem akademik hem de pratik açıdan sektörel bir katkı sunacaktır.

### 3. YÖNTEM

#### 3.1. Araştırmanın Amacı ve Önemi

Bu araştırmanın temel amacı, Bursa otomotiv yan sanayi sektöründe tedarik zinciri yönetiminin işletme performansı üzerindeki etkilerini incelemektir. Otomotiv yan sanayi, Türkiye'nin en stratejik sektörlerinden biri olan otomotiv sektörüne doğrudan hizmet vererek hem yerel hem de uluslararası rekabet gücünü beslemektedir. Bu bağlamda, araştırma genel literatürdeki TZY bulgularının ötesine geçerek, otomotiv yan sanayisine özgü dinamikleri mercek altına almayı hedeflemektedir. Tedarik zinciri yönetimi, yalnızca mal ve hizmet akışlarının verimli bir şekilde optimize edilmesi değil, aynı zamanda maliyetlerin düşürülmesi, müşteri memnuniyetinin artırılması ve işletme süreçlerinin bütüncül olarak iyileştirilmesi açısından kritik bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır.

TZY ile işletme performansı arasındaki ilişkinin somut verilerle ortaya konulması, sektördeki firmaların rekabet avantajı kazanmasına, stratejik karar alma süreçlerini daha sağlıklı ve bilinçli şekilde yönetmelerine olanak sağlayacaktır. Bursa, otomotiv sanayinde Türkiye'nin önde gelen merkezlerinden biri olup, burada faaliyet gösteren yan sanayi firmaları küresel tedarik zincirinde önemli roller üstlenmektedir. Bu nedenle, tedarik zinciri yönetiminin işletme performansına olan etkilerinin anlaşılması, bölgesel işletmelerin sürdürülebilir büyüme sağlamalarına ve uluslararası pazarlarda rekabet güçlerini artırmalarına doğrudan katkı sunacaktır. Ayrıca bu araştırma, literatüre önemli bir katkı sunmanın yanı sıra, sektörel uygulamaları iyileştirmeye yönelik stratejik rehberlik sağlayacak nitelikte veriler sunmayı amaçlamaktadır.

#### 3.2. Araştırmanın Kapsamı

Araştırma, Bursa ilinde otomotiv yan sanayi alanında faaliyet gösteren işletmelere odaklanmıştır. Veriler, Bursa'nın önde gelen sanayi bölgelerinden olan Nilüfer Organize Sanayi Bölgesi (NOSAB), Bursa Organize Sanayi Bölgesi (BOSAB), Demirtaş Organize Sanayi Bölgesi (DOSAB) ve Hasanağa Organize Sanayi Bölgesi (HOSAB) içerisindeki işletmelerden elde edilmiştir. Verilerin toplanmasında, hem e-posta aracılığıyla gönderilen anketler hem de işletmelerle birebir gerçekleştirilen yüz yüze görüşmeler kullanılmıştır. Bu kapsamlı veri toplama süreci, araştırmanın güvenilirliğini ve bölgedeki TZY ile işletme performansı arasındaki ilişkiyi en doğru şekilde analiz etmeyi amaçlamaktadır.

#### 3.3. Araştırmanın Yöntemi

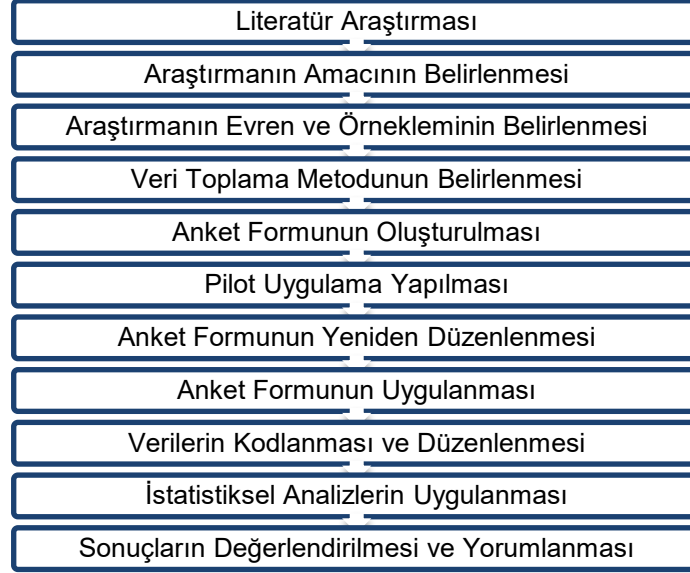
Araştırma yöntemi, belirli aşamalar dahilinde planlanmış ve sistematik bir şekilde yürütülmüştür. İlk olarak, konuya dair mevcut çalışmaları incelemek amacıyla kapsamlı bir literatür taraması yapılmış, ardından araştırmanın amacı belirlenmiştir. Araştırmanın evreni ve örnekleme, hedef kitleyi temsil edecek şekilde seçilmiştir. Veri toplama yöntemi olarak anket kullanılmış ve bu doğrultuda anket formu hazırlanmıştır. Anket formu, pilot uygulama ile test edilmiş ve elde edilen sonuçlara göre düzenlemeler yapılmıştır. Sonrasında, nihai anket formu örnekleme uygulanmış, toplanan veriler analiz için kodlanarak düzenlenmiştir. İstatistiksel analizler aracılığıyla veriler değerlendirilmiş ve sonuçlar yorumlanmıştır. Bu süreç, araştırmanın güvenilir ve geçerli sonuçlar elde etmesine katkıda bulunmuştur. Araştırmada izlenen süreç Şekil 1'de gösterilmektedir.

#### 3.4. Araştırmanın Evren ve Örnekleme

Araştırmanın evrenini, Bursa ilindeki otomotiv yan sanayi sektöründe faaliyet gösteren şehrin önemli sanayi bölgeleri olan Nilüfer Organize Sanayi Bölgesi (NOSAB), Bursa Organize Sanayi Bölgesi (BOSAB), Demirtaş Organize Sanayi Bölgesi (DOSAB) ve Hasanağa Organize Sanayi Bölgesi (HOSAB) içerisindeki işletmeler oluşturmaktadır. Araştırmanın yapıldığı dönemde, dört sanayi bölgesinden toplanan verilere göre (internet adreslerinden alınan işletme sayılarına göre) Bursa'da kayıtlı 283 otomotiv yan sanayi firması bulunmaktadır. Bu firmalar, bölgenin otomotiv sektöründeki güçlü konumunu ve sanayinin geniş çapta faaliyet gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Araştırmanın ana kitlesini oluşturan tüm işletmelere ulaşmanın pratik zorlukları, maliyet ve zaman sınırlamaları nedeniyle, çalışmada örnekleme yöntemine başvurulmuştur. Bu doğrultuda, veri toplama sürecinde daha kolay erişilebilen sanayi bölgelerindeki işletmelere ağırlık verilmiş ve tesadüfi olmayan

örnekleme tekniklerinden kolayda örnekleme yöntemi kullanılmıştır. Bu tercih, araştırmanın hem bilgilere hızlıca ulaşmasını sağlamış hem de zaman ve maliyet açısından avantaj sunarak sürecin etkin bir şekilde tamamlanmasına katkıda bulunmuştur. Kolayda örnekleme yöntemi kullanılarak hem e-posta hem de yüz yüze görüşmeler sonucu 108 (%38) tane anket formuna ulaşılmıştır. Önceki anket çalışmalarından elde edilen verilere dayanarak, seçilen örneklem büyüklüğünün çalışmanın istatistiksel analizler için yeterli olduğu sonucuna ulaşılmıştır.



**Şekil 1. Araştırmada izlenen süreç**

### 3.5. Veri Toplama Yöntemi

Araştırmada verilerin toplanmasında, kantitatif araştırma yöntemleri arasında sıkça kullanılan anket yöntemi tercih edilmiştir. Literatürde de yaygın bir biçimde benimsenen bu yöntem, katılımcılardan yapılandırılmış bir şekilde bilgi elde etmek için oldukça etkili bir araçtır. Anket, araştırmanın hedeflerine ulaşılmasına katkı sağlayarak, katılımcıların görüş ve deneyimlerini sistematik bir şekilde toplama imkânı sunmaktadır.

Anket sonuçlarının geçerliliğini artırmak amacıyla, ilk olarak bir ön uygulama (pilot test) gerçekleştirilmiştir. Bu ön çalışma, anketin içeriğini değerlendirmek ve gerekli düzenlemeleri yapmak için kritik bir aşama olmuştur. Pilot testin ardından, anket formuna son şekli verilmiş ve ardından işletmelere uygulanmıştır.

Anketler katılımcılara e-posta aracılığıyla gönderilmiştir. Ancak, e-posta ile yeterli geri dönüş sağlanamadığı durumlarda, firmalarla doğrudan iletişim kurularak yüz yüze görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Bu yaklaşım hem zamandan tasarruf edilmesini sağlarken hem de yeterli veri elde edilemediği durumlarda yüz yüze etkileşim sayesinde daha fazla katılım sağlanmasına olanak tanımıştır.

### 3.6. Anket Formunun Oluşturulması

Anket formunu hazırlarken öncelikle literatürdeki çalışmalar incelenmiş ve bu alanda yapılan önceki araştırmalar göz önünde bulundurulmuştur. Formun oluşturulmasında ise temel olarak Lee ve diğerleri (2018) ile Güleş ve Çağlıyan (2003) tarafından kullanılan anketlerden faydalanılmıştır.

Anket formunun giriş bölümünde, katılımcılara araştırmanın amacı açıklanmış ve verecekleri yanıtların yalnızca bilimsel amaçlarla değerlendirileceği açıkça belirtilmiştir. Katılımcıların güvenliğini sağlamak adına, kişisel bilgilerin gizliliği ve verilerin anonim olarak kullanılacağı da vurgulanmıştır. Anket, A4 formatında ve dört sayfa olacak şekilde düzenlenmiştir. Formdaki tüm bölümler ve sorular, okuyucunun kolayca anlayabileceği şekilde özenle tasarlanmıştır.

Araştırmada kullanılan anket formu, Likert tipi sorular ile kategorik soruların bir araya getirildiği bir yapıda tasarlanmıştır. Anketin ilk bölümünde, TZYU'nı değerlendirmek amacıyla oluşturulan ölçek soruları, 5 dereceli Likert ölçeğiyle yanıtlanacak şekilde sunulmuştur (1=Kesinlikle Katılmıyorum, 2=Katılmıyorum, 3=Kararsızım, 4=Katılıyorum, 5=Kesinlikle Katılıyorum). Veri toplama sürecinde kullanılan bu anket, kapsamlı bir literatür incelemesi sonucunda şekillendirilmiş ve toplamda 35 ifadelik bir soru seti içermektedir.

Anketin ikinci bölümünde, işletme performansını değerlendirmeye yönelik sorular yer almaktadır. Bu bölümde kullanılan ölçek, 5 dereceli Likert tipi olup (1=Çok Düşük, 2=Düşük, 3=Orta, 4=Yüksek, 5=Çok Yüksek) katılımcıların işletme performansı hakkındaki algılarını ölçmeyi amaçlamaktadır. İşletme performansına dair verilerin toplanması için hazırlanan bu bölüm, 7 maddeden oluşan bir ölçeğe sahiptir ve sorular, katılımcıların performans düzeyini net bir şekilde ifade edebilmelerine olanak sağlayacak şekilde yapılandırılmıştır.

Anketin üçüncü bölümünde ise, katılımcıların demografik özelliklerini ve işletme ile ilgili niteliklerini değerlendirmeye yönelik kategorik sorular yer almaktadır. Bu bölüm, cinsiyet, yaş, eğitim durumu ve işletmedeki görevi gibi katılımcıların bireysel özelliklerinin yanı sıra, işletmedeki çalışan sayısı, işletmenin faaliyet süresi, sermaye yapısı, hedef pazarlar ve pazar payına ilişkin toplam 9 soru içermektedir.

Anket sorularının katılımcılar tarafından anlaşılabilirliği ve onların ilgisini kaybetmemesi için ifadelerin açık ve anlaşılır bir dille yazılmasına özen gösterilmiştir. Sorular, verilerin bilgisayar ortamında analiz edilmesine olanak tanıyacak şekilde, SPSS programında yapılacak detaylı istatistiksel değerlendirmelere uygun olarak tasarlanmıştır. Bu yaklaşım, elde edilen verilerin derinlemesine incelenmesini ve daha anlamlı sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır.

### 3.7. Ön Uygulama (Pilot Test)

Pilot uygulama için 10 kişiye hazırlanan anket formu gönderilmiş ve bu kişilerden anketi doldurmaları istenmiştir. Ardından, mülakatlar gerçekleştirerek katılımcıların sorulardan ne anladıklarını, ifadelerin anlaşılabilirliğini ve hangi soruları anlamakta zorluk yaşadıkları tespit edilmeye çalışılmıştır. Örneğin, birinci soruda "tedarikçi seçiminde kaliteyi en önemli kriter olarak kabul ediyoruz" ifadesinde, katılımcıların kaliteyi fiyat veya ürün kalitesi olarak değerlendirdiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle, amacımız ürün kalitesini vurgulamak olduğundan, sorunun ifadesine "ürün kalitesi" eklenmesinin daha uygun olacağı sonucuna varılmıştır. Ayrıca, katılımcı profili ve şirket nitelikleri bölümündeki dördüncü soru olan "işletmedeki görev" ifadesinin "müdür" yerine "departman" olarak belirtilmesinin, daha geniş bir kitleye ulaşılmasını sağlayacağı konusunda fikir birliğine gidilmiştir. Bu sayede farklı pozisyonlardaki katılımcıların görüşlerini alma imkânı bulacağımızı ve anketin daha kapsamlı bir perspektife sahip olacağı düşünülmüştür. Bu geri bildirimlerin ardından, anket yeniden gözden geçirilerek gerekli düzeltmeler yapılmıştır.

### 3.8. Anketin Uygulanması

Ön uygulama süreci sonrasında, anket formuna nihai şekli verilmiş ve daha sonra işletmelere uygulanmak üzere hazır hale getirilmiştir. Katılımcılarla iletişim, öncelikle e-posta aracılığıyla sağlanmış, fakat geri dönüş alınamadığı durumlarda doğrudan firmalarla irtibat kurularak yüz yüze görüşmelere de başvurulmuştur. Bu bağlamda, Bursa'daki dört sanayi bölgesinde bulunan toplam 283 otomotiv yan sanayi firmasına anket yapılması planlanmıştır. Ancak, bazı firmaların bilgi paylaşımında isteksiz olmaları ve ulaşım zorluğu nedeniyle, yalnızca 108 firma ile anket uygulaması gerçekleştirilmiştir. Elde edilen verilerin, otomotiv yan sanayi sektörüne dair kapsamlı ve derinlemesine bir analiz sağlamak için önemli bir fırsat sunduğu düşünülmektedir.

### 3.9. Araştırmanın Modeli ve Hipotezleri

Araştırmaya ait model (Şekil 2) ve hipotezler aşağıdaki gibidir.

H<sub>1</sub>: Tedarik zinciri yönetimi uygulamalarının işletme performansı üzerinde pozitif ve anlamlı bir etkisi vardır.

H<sub>1a</sub>: Stratejik tedarikçi ortaklığının işletme performansı üzerinde pozitif ve anlamlı bir etkisi vardır.

H<sub>1b</sub>: Müşteri ilişkileri yönetiminin işletme performansı üzerinde pozitif ve anlamlı bir etkisi vardır.

H<sub>1c</sub>: Bilgi paylaşımının işletme performansı üzerinde pozitif ve anlamlı bir etkisi vardır.

H<sub>1d</sub>: Bilgi kalitesinin işletme performansı üzerinde pozitif ve anlamlı bir etkisi vardır.

H<sub>1e</sub>: Ertelemenin işletme performansı üzerinde pozitif ve anlamlı bir etkisi vardır.

H<sub>1f</sub>: Dahili operasyonların işletme performansı üzerinde pozitif ve anlamlı bir etkisi vardır.

H<sub>2</sub>: Tedarik zinciri yönetimi uygulamaları ve işletme performansı ölçeklerinden alınan puanlar şirket niteliklerine göre farklılaşma göstermektedir.

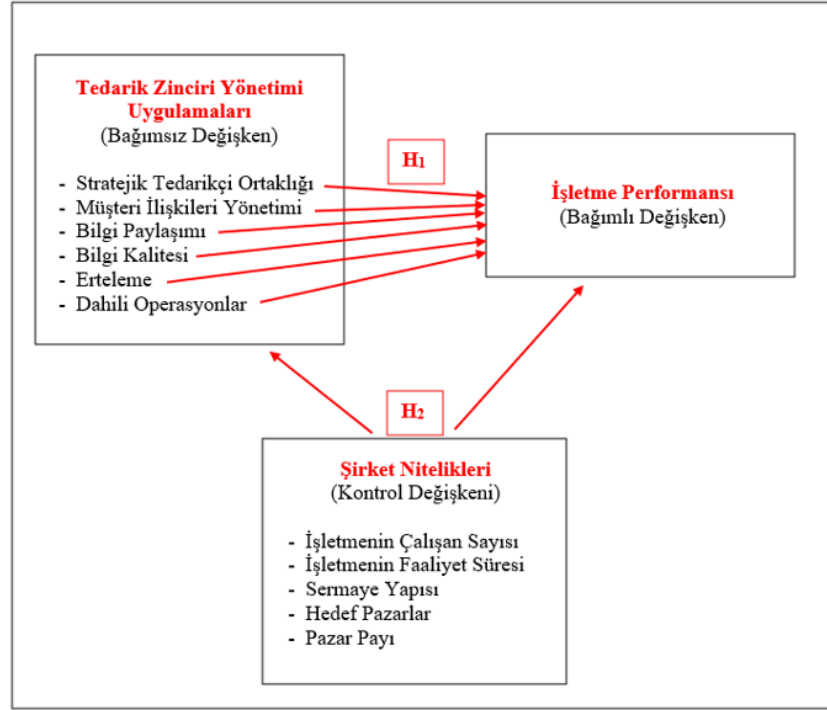
H<sub>2a</sub>: Tedarik zinciri yönetimi uygulamaları ve işletme performansı ölçeklerinden alınan puanlar işletmenin çalışan sayısına göre farklılaşma göstermektedir.

H<sub>2b</sub>: Tedarik zinciri yönetimi uygulamaları ve işletme performansı ölçeklerinden alınan puanlar işletmenin faaliyet süresine göre farklılaşma göstermektedir.

H<sub>2c</sub>: Tedarik zinciri yönetimi uygulamaları ve işletme performansı ölçeklerinden alınan puanlar işletmenin sermaye yapısına göre farklılaşma göstermektedir.

H<sub>2d</sub>: Tedarik zinciri yönetimi uygulamaları ve işletme performansı ölçeklerinden alınan puanlar işletmenin hedef pazarlarına göre farklılaşma göstermektedir.

H<sub>2e</sub>: Tedarik zinciri yönetimi uygulamaları ve işletme performansı ölçeklerinden alınan puanlar işletmenin pazar payına göre farklılaşma göstermektedir.



Şekil 2. Araştırma modeli

#### 4. ANALİZ ve BULGULAR

Bu çalışmada 108 katılımcıya; 9 ifadeden oluşan Katılımcı Profili ve Şirket Nitelikleri ile Stratejik Tedarikçi Ortaklığı, Müşteri İlişkileri Yönetimi, Bilgi Paylaşımı, Bilgi Kalitesi, Erteleme, Dahili Operasyonlar olmak üzere 6 boyutu olan ve 5'li Likert tipinde 35 ifadeden oluşan TZYU ve tek boyuttan oluşan İşletme Performansı ölçekleri uygulanmış ve elde edilen veriler IBM SPSS Statistics 27 paket programı aracılığıyla analiz edilmiştir. Analizlerde güvenilirlik, normallik, korelasyon, regresyon analizleri ile fark testleri kullanılmıştır.

Analiz sürecinde; ilk olarak frekans analizi yapılarak tanımlayıcı istatistikler incelenmiş, daha sonra ölçeklere verilen cevapların güvenilirlik analizleri yapılarak verilerin analizler için uygun olup olmadığına bakılmış, normallik testleri yapılarak kullanılacak yöntemlerin parametrik veya parametrik olmayan olması gerektiğine karar verilmiştir. Korelasyon analizleri ile ölçekler arasındaki ilişkiler belirlendikten sonra hipotez testleri kapsamında regresyon analizleri uygulanmıştır. İlişkisel analizler kapsamında da fark testleri yapılmıştır.

Tüm analizlerde istatistiki olarak anlamlılık (p) değeri 0,05 olarak alınmıştır. p değerinin 0,05'ten küçük olduğu analiz bulgularında istatistiki bir anlamlılık olduğu, aksi durumda istatistiki olarak anlamlılık olmadığı kabul edilmiştir.

##### 4.1. Tanımlayıcı Bulgular

Bu kısımda, araştırmaya katılan 108 yanıtlayıcının demografik özellikleri ve çalıştıkları işletmelere dair bilgiler detaylandırılmaktadır. Katılımcıların cinsiyet, yaş, eğitim durumu, işletmedeki görevi gibi temel özelliklerinin yanı sıra, işletmenin çalışan sayısı, faaliyet süresi ve sermaye yapıları gibi işletmeye özgü unsurlar da incelenmiştir. Ayrıca, işletmelerin hedef pazarları ve pazar payları da bu analiz kapsamında ele alınarak değerlendirilmiştir. Katılımcıların demografik verileri ve şirket niteliklerine ait veriler, frekans analizi ile analiz edilmiştir. Katılımcıların cinsiyetlerine göre dağılımı Tablo 1'de sunulmuştur.

**Tablo 1. Katılımcıların cinsiyet durumlarına göre dağılımı**

|       | Frekans | Yüzde | Geçerli Yüzde | Kümülatif Yüzde |
|-------|---------|-------|---------------|-----------------|
| Erkek | 77      | 71,3  | 71,3          | 71,3            |
| Kadın | 31      | 28,7  | 28,7          | 100,0           |
| Total | 108     | 100,0 | 100,0         |                 |

Tablo 1 incelendiğinde, ankete katılanların cinsiyet dağılımında erkeklerin belirgin bir çoğunluğa sahip olduğu görülmektedir; katılımcıların %71,3'ü erkek, %28,7'si kadındır. Bu veriler, katılımcı kitlesinin ağırlıklı olarak erkeklerden oluştuğunu açıkça ortaya koymaktadır.

**Tablo 2. Katılımcıların yaş gruplarına göre dağılımı**

|       | Frekans | Yüzde | Geçerli Yüzde | Kümülatif Yüzde |
|-------|---------|-------|---------------|-----------------|
| 32-39 | 40      | 37,0  | 37,0          | 37,0            |
| 25-31 | 35      | 32,4  | 32,4          | 69,4            |
| 40-49 | 27      | 25,0  | 25,0          | 94,4            |
| 50+   | 4       | 3,7   | 3,7           | 98,1            |
| 18-24 | 2       | 1,9   | 1,9           | 100,0           |
| Total | 108     | 100,0 | 100,0         |                 |

Elde edilen verilerin detaylı analizi sonucunda, 108 katılımcının yaş gruplarına göre dağılımında en büyük grubu, %37 oranla 32–39 yaş arası bireyler oluşturmuştur. Bu grubun ardından, %32,4 ile 25–31 yaş arası grup takip etmektedir. 40–49 yaş arası katılımcılar %25 oranında, 50 yaş ve üzeri katılımcılar %3,7 oranında, 18–24 yaş arası katılımcılar ise %1,9 oranında yer almaktadır. Bu dağılımın ayrıntıları Tablo 2’de sunulmaktadır ve katılımcıların yaş aralıklarına göre dikkat çekici bir çeşitlilik sergilediği görülmektedir.

**Tablo 3. Katılımcıların eğitim durumlarına göre dağılımı**

|               | Frekans | Yüzde | Geçerli Yüzde | Kümülatif Yüzde |
|---------------|---------|-------|---------------|-----------------|
| Lisans        | 76      | 70,4  | 70,4          | 70,4            |
| Yüksek Lisans | 16      | 14,8  | 14,8          | 85,2            |
| Lise          | 8       | 7,4   | 7,4           | 92,6            |
| Ön Lisans     | 7       | 6,5   | 6,5           | 99,1            |
| Doktora       | 1       | 0,9   | 0,9           | 100,0           |
| Total         | 108     | 100,0 | 100,0         |                 |

Ankete katılan bireylerin eğitim durumlarına ilişkin yapılan analizler, en büyük katılımcı grubunun %70,4 oranla lisans mezunlarından oluştuğunu ortaya koymaktadır. Yüksek lisans mezunları %14,8, lise mezunları %7,4, ön lisans mezunları %6,5 ve doktora mezunları %0,9 oranında temsil edilmektedir. Bu sonuçlar, eğitim düzeylerinin dağılımında lisans mezunlarının baskın olduğunu ve daha yüksek veya düşük eğitim düzeyine sahip katılımcıların oransal olarak daha az yer aldığını göstermektedir. Tüm bu bulgular, Tablo 3’te detaylı sunulmaktadır.

Tablo 4 incelendiğinde, ankete katılanların görev dağılımlarına ilişkin veriler, katılımcıların büyük bir bölümünün işletmelerin %25’i satın alma departmanlarında çalıştığını göstermektedir. İnsan kaynakları, muhasebe ve kalite gibi diğer departmanlar %16,7 oranında temsil edilmektedir. Tedarik zinciri departmanında çalışanlar %13,9, mühendislik ve lojistik departmanlarında çalışanlar %8,3, işletme sahipleri veya genel müdürler %7,4 oranında yer almaktadır. Üretim departmanında çalışanlar %6,5, müdür yardımcısı ve planlama departmanında çalışanlar %5,6, satış departmanında çalışanlar ise %2,8 oranında temsil edilmektedir. Bu dağılım, işletmelerdeki farklı departmanların anket katılımına ne oranda katkı sağladığını gösterirken, aynı zamanda yönetsel ve operasyonel rollerin çeşitliliğini de ortaya koymaktadır.

**Tablo 4. Katılımcıların görev durumlarına göre dağılımı**

|                                  | Frekans | Yüzde | Geçerli Yüzde | Kümülatif Yüzde |
|----------------------------------|---------|-------|---------------|-----------------|
| Satın Alma Departmanı            | 27      | 25,0  | 25,0          | 25,0            |
| Diğer (İK, Muhasebe, Kalite vb.) | 18      | 16,7  | 16,7          | 41,7            |
| Tedarik Zinciri Departmanı       | 15      | 13,9  | 13,9          | 55,6            |
| Mühendislik Departmanı           | 9       | 8,3   | 8,3           | 63,9            |
| Lojistik Departmanı              | 9       | 8,3   | 8,3           | 72,2            |
| İşletme Sahibi veya Genel Müdür  | 8       | 7,4   | 7,4           | 79,6            |
| Üretim Departmanı                | 7       | 6,5   | 6,5           | 86,1            |
| Müdür Yrd.                       | 6       | 5,6   | 5,6           | 91,7            |
| Planlama Departmanı              | 6       | 5,6   | 5,6           | 97,2            |
| Satış Departmanı                 | 3       | 2,8   | 2,8           | 100,0           |
| Total                            | 108     | 100,0 | 100,0         |                 |

**Tablo 5. İşletmelerin çalışan sayısına göre dağılımı**

|         | Frekans | Yüzde | Geçerli Yüzde | Kümülatif Yüzde |
|---------|---------|-------|---------------|-----------------|
| 50-149  | 30      | 27,8  | 27,8          | 27,8            |
| 150-249 | 29      | 26,9  | 26,9          | 54,6            |
| 250-499 | 23      | 21,3  | 21,3          | 75,9            |
| 500+    | 18      | 16,7  | 16,7          | 92,6            |
| 1-49    | 8       | 7,4   | 7,4           | 100,0           |
| Total   | 108     | 100,0 | 100,0         |                 |

Araştırmaya katılan işletmelerin çalışan sayısına göre dağılımına bakıldığında, işletmelerin %27,8'i 50-149 çalışan arasında yer almaktadır. 150-249 çalışanı olan işletmeler %26,9, 250-499 çalışanı olan işletmeler %21,3, 500'den fazla çalışanı olan işletmeler %16,7 ve 1-49 çalışanı olan küçük ölçekli işletmeler %7,4 oranında temsil edilmektedir. Bu veriler, araştırmaya katılan işletmelerin çalışan sayısına göre oldukça geniş bir yelpazede çeşitlilik gösterdiğini ortaya koymaktadır ve detaylı sonuçlar Tablo 5'te sunulmaktadır.

**Tablo 6. İşletmelerin faaliyet süresine göre dağılımı**

|       | Frekans | Yüzde | Geçerli Yüzde | Kümülatif Yüzde |
|-------|---------|-------|---------------|-----------------|
| 40+   | 38      | 35,2  | 35,2          | 35,2            |
| 20-39 | 34      | 31,5  | 31,5          | 66,7            |
| 10-19 | 27      | 25,0  | 25,0          | 91,7            |
| 1-9   | 9       | 8,3   | 8,3           | 100,0           |
| Total | 108     | 100,0 | 100,0         |                 |

Araştırma çerçevesinde incelenen işletmelerin faaliyet sürelerine bakıldığında, en genç, yani sektörde en yeni olan işletmelerin 1-9 yıl arasında faaliyette bulunduğu, en eski ve en deneyimli işletmelerin ise 40 yıl ve daha uzun süredir hizmet verdiği anlaşılmaktadır. Tablo 6'ya göre, işletmelerin %91,7'si 10 yıldan uzun süredir faaliyettedir. 1-9 yıl arasında faaliyet gösteren işletmeler %8,3 oranındadır.

**Tablo 7. İşletmelerin sermaye yapısına göre dağılımı**

|                  | Frekans | Yüzde | Geçerli Yüzde | Kümülatif Yüzde |
|------------------|---------|-------|---------------|-----------------|
| Tamamen Yerli    | 77      | 71,3  | 71,3          | 71,3            |
| Tamamen Yabancı  | 17      | 15,7  | 15,7          | 87,0            |
| Yabancı Ortaklık | 14      | 13,0  | 13,0          | 100,0           |
| Total            | 108     | 100,0 | 100,0         |                 |

Tablo 7'ye bakıldığında, işletmelerin sermaye yapısı açısından önemli bir bölümünün, %71,3'ü tamamen yerli sermayeye sahiptir. Tamamen yabancı sermayeye dayanan işletmeler %15,7 oranında yer alırken, yabancı ortaklı sermaye yapısına sahip işletmeler ise %13 olarak tespit edilmiştir.

**Tablo 8. İşletmelerin hedef pazarlarına göre dağılımı**

|                 | Frekans | Yüzde | Geçerli Yüzde | Kümülatif Yüzde |
|-----------------|---------|-------|---------------|-----------------|
| Her İkisi       | 93      | 86,1  | 86,1          | 86,1            |
| Sadece Yurtiçi  | 11      | 10,2  | 10,2          | 96,3            |
| Sadece Yurtdışı | 4       | 3,7   | 3,7           | 100,0           |
| Total           | 108     | 100,0 | 100,0         |                 |

Yapılan analizler sonucunda, incelenen işletmelerin büyük bir kısmının %86,1'i hem yurtiçi hem de yurtdışı pazarlarda faaliyet göstermektedir. Yalnızca yurtiçi pazarda faaliyet gösteren işletmeler %10,2, yalnızca yurtdışı pazarda faaliyet gösteren işletmeler %3,7 oranındadır. Bu durum, işletmelerin genel olarak uluslararası alanda geniş bir etki alanına sahip olduğunu göstermektedir.

**Tablo 9. İşletmelerin pazar paylarına göre dağılımı**

|            | Frekans | Yüzde | Geçerli Yüzde | Kümülatif Yüzde |
|------------|---------|-------|---------------|-----------------|
| Yüksek     | 57      | 52,8  | 52,8          | 52,8            |
| Çok Yüksek | 33      | 30,6  | 30,6          | 83,3            |
| Orta       | 17      | 15,7  | 15,7          | 99,1            |
| Çok Düşük  | 1       | 0,9   | 0,9           | 100,0           |
| Total      | 108     | 100,0 | 100,0         |                 |

İşletmelerin pazar payları değerlendirildiğinde, işletmelerin %52,8'i yüksek pazar payına sahiptir. Çok yüksek pazar payına sahip işletmeler %30,6, orta düzeyde pazar payına sahip işletmeler %15,7 ve çok düşük pazar payına sahip işletmeler %0,9 oranında temsil edilmektedir. Bu veriler, sektördeki işletmelerin genel olarak yüksek pazar paylarına sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

#### 4.2. Güvenilirlik Analizi

Bilimsel çalışmalarda verilerin güvenilirliği temel şarttır. Bir ölçme aracının doğru sonuçlar verebilmesi için hem güvenilir hem de geçerli olması gerekir. Güvenilirlik veya geçerlilik eksik olduğunda doğru sonuçlar elde edilemez. Lee ve diğerleri (2018) ile Güleş ve Çağlıyan (2003) tarafından geçerlilik ve güvenilirliğini doğrulayıp sonraki çalışmalara standart bir ölçek olarak önerdikleri TZYU ve işletme performansı ölçüm modeli kullanılmıştır. Bu model, tedarik zinciri yönetiminin işletme performansı üzerindeki etkilerin değerlendirilmesinde kullanılmıştır.

Güvenilirlik, ölçüm sonuçlarının her seferinde tutarlı olmasını ifade eder. Bir ölçüm aracı, farklı zaman ve yerlerde uygulandığında benzer sonuçlar vermelidir. Yani bağımsız ölçümler arasında kararlı ve benzer sonuçlar elde edilmesi gerekir. Bu nedenle güvenilirlik, bir ölçeğin ölçmek istediği özelliği ne kadar doğru ölçtüğünü, ölçeğin üretkenliğini ve sürekliliğini değerlendiren bir kavramdır. Güvenilir bir ölçüm aracı, tekrarlanabilir ve başka ortamlara da aktarılabilir nitelikte olmalıdır. Aynı zamanda güvenilirlik, bir ölçme aracındaki tüm soruların birbiriyle uyumlu olup olmadığını ve ölçmek istenilen kavramın ne kadar iyi bir şekilde ele alındığını ortaya koyar. Güvenilirlik analizleri çeşitli yöntemlerle yapılabilir, ancak literatürde incelendiğinde en yaygın kullanılan yöntem içsel tutarlılık analizidir. İçsel tutarlılık analizi genellikle Cronbach's Alpha katsayısı ile gerçekleştirilir (Çakmur, 2012). Cronbach's Alpha katsayısı, 0 ile 1 arasında bir değer alır ve bu değer 1'e yaklaşması ölçüm aracının güvenilirliğinin yüksek olduğunu gösterir. Genellikle, güvenilirlik için kabul edilen alt sınır 0,70 olarak belirlenmiştir. Bu oran, güvenilirliğin belirli bir düzeyde olup olmadığını değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan bir referanstır (Padem ve diğerleri, 2012: 64).

**Tablo 10. Ölçeklerin güvenilirlik katsayıları**

| Ölçek               | Boyutlar                      | Madde Sayısı | Boyut Cronbach's Alpha ( $\alpha$ ) Katsayısı | Ölçek Cronbach's Alpha ( $\alpha$ ) Katsayısı |
|---------------------|-------------------------------|--------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Tedarik Zinciri     | Stratejik Tedarikçi Ortaklığı | 6            | 0,711                                         |                                               |
| Yönetimi            | Müşteri İlişkileri Yönetimi   | 5            | 0,791                                         |                                               |
| Uygulamaları        | Bilgi Paylaşımı               | 6            | 0,849                                         |                                               |
|                     | Bilgi Kalitesi                | 5            | 0,884                                         | 0,916                                         |
|                     | Erteleme                      | 5            | 0,718                                         |                                               |
|                     | Dahili Operasyonlar           | 8            | 0,819                                         |                                               |
| İşletme Performansı | İşletme Performansı           | 7            | 0,840                                         | 0,840                                         |

Araştırmada kullanılan anket formunun sonuçlarının değerlendirilmesi ve güvenilirliğinin belirlenmesi amacıyla Cronbach's Alpha katsayısından yararlanılmıştır. Tablo 10'da ölçeklerin Cronbach's Alpha değerleri sunulmuş ve ölçeklerin yapısına ilişkin genel bilgiler özetlenmiştir.

Tablo 10'da araştırmada kullanılan ana değişkenler, bunların alt boyutları, madde sayıları ve Cronbach's Alpha katsayıları yer almaktadır. TZYU; stratejik tedarikçi ortaklığı, müşteri ilişkileri yönetimi, bilgi paylaşımı, bilgi kalitesi, erteleme ve dahili operasyonlar olmak üzere altı alt boyuttan oluşmaktadır. Tablodaki verilere göre, TZYU ölçeğinin genelinin ve alt boyutlarının, aynı zamanda İşletme Performansı ölçeğinin de Cronbach's Alpha katsayıları 0,70'in üzerindedir. Bu durum, içsel tutarlılığın yüksek olduğunu göstermektedir.

#### 4.3. Normallik Analizi

Normallik analizi, bir veri setinin normal dağılımına uygunluğunun belirlenmesi için yapılan bir testtir. Dağılımın normal özellikleri gösterdiğinde parametrik testler, aksi durumda ise parametrik olmayan testler tercih edilir. İki veri grubu için en sık kullanılan parametrik test t-testi olup, bu testin parametrik olmayan örneği Mann-Whitney testidir. Üç veya daha fazla veri grubu değerlendirmeleri için parametrik test ANOVA, parametrik olmayan test ise Kruskal-Wallis testidir.

Bu bölümde verilerin normal dağılım gösterip göstermediği incelenmiştir. Araştırmanın normallik dağılımı gösterip göstermediğini tespit edebilmek için normallik testi yapılmış ve TZYU ve işletme performansı ölçeklerine ait normallik testi ve betimleyici istatistikler bulguları Tablo 11'de verilmiştir.

Boyutların normal dağılıp dağılmadıklarına karar verilirken, çarpıklık (skewness) ve basıklık (kurtosis) değerlerine bakılmalıdır ve literatürde kabul görmüş bir yaklaşım olan Tabachnick ve Fidell (2013: 79)'e göre; çarpıklık ve basıklık değerlerinin -1,50 ile +1,50 arasında olması durumunda cevapların dağılımın normal kabul edilebileceği belirtilmektedir. Bu bağlamda çarpıklık ve basıklık değerlerine göre; TZYU ölçeği ve genel puan ve alt boyut puanları ve İşletme Performansı ölçeğinde normallik varsayımı sağlanmaktadır.

Katılımcıların TZYU'ndan aldıkları ortalama puan 4,0696 olarak hesaplanmıştır. Alt boyutlarından alınan en yüksek puanlar müşteri ilişkileri yönetimi iken, en düşük puanlar erteleme alt boyutundan alınmıştır. İşletme Performansı ölçeğinden alınan ortalama puan ise 4,0106 olarak hesaplanmıştır.

**Tablo 11. Normallik analizi**

| Ölçek                                 | Min  | Maks. | $\bar{x}$ | s       | Çarpıklık | Basıklık |
|---------------------------------------|------|-------|-----------|---------|-----------|----------|
| Tedarik Zinciri Yönetimi Uygulamaları | 3,06 | 5,00  | 4,0696    | 0,43496 | -0,280    | -0,387   |
| Stratejik Tedarikçi Ortaklığı         | 2,83 | 5,00  | 4,2701    | 0,51444 | -0,535    | -0,200   |
| Müşteri İlişkileri Yönetimi           | 2,60 | 5,00  | 4,3944    | 0,53404 | -0,771    | 0,251    |
| Bilgi Paylaşımı                       | 2,17 | 5,00  | 3,9367    | 0,66069 | -0,551    | 0,086    |
| Bilgi Kalitesi                        | 2,80 | 5,00  | 4,0944    | 0,55934 | 0,107     | -0,551   |
| Erteleme                              | 1,00 | 5,00  | 3,3833    | 0,84638 | -0,367    | 0,061    |
| Dahili Operasyonlar                   | 2,38 | 5,00  | 4,2292    | 0,49780 | -0,466    | 0,740    |
| <i>İşletme Performansı</i>            | 3,00 | 5,00  | 4,0106    | 0,50581 | 0,010     | -0,601   |

#### 4.4. Korelasyon Analizi

Korelasyon analizi, iki değişken arasında bir ilişkinin olup olmadığı ve varsa bu ilişkinin yönü ile büyüklüğünü ortaya koymak için kullanılan bir araçtır. En sık kullanılan türü olan Pearson korelasyonudur. Eşit aralıklı ya da orantısal olarak ölçülmüş değişkenler arasında ilişkinin yönünü ve büyüklüğünü belirlemek için tercih edilir. Küçük "r" harfi ile gösterilir ve -1 ile +1 arasında bir değer alır. Her iki değişken aynı anda artıyor veya azalıyor, pozitif bir gelişme vardır ve bu durumda r değeri pozitif çıkar. İki değişkenden biri artarken diğeri azalıyor ise r değeri negatif olur ve bu durumda negatif bir gelişme vardır (Doğanay ve diğerleri, 2018: 182). Değişkenler arasındaki ilişki Pearson korelasyon katsayısından faydalanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 12'de verilmiştir.

**Tablo 12. Korelasyon matrisi**

|      | TZYU    | STO     | MİY     | BP      | BK      | E       | DO      | İP |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----|
| TZYU | 1       |         |         |         |         |         |         |    |
| STO  | 0,757** | 1       |         |         |         |         |         |    |
| MİY  | 0,651** | 0,543** | 1       |         |         |         |         |    |
| BP   | 0,790** | 0,587** | 0,399** | 1       |         |         |         |    |
| BK   | 0,764** | 0,542** | 0,472** | 0,688** | 1       |         |         |    |
| E    | 0,620** | 0,287** | 0,165   | 0,301** | 0,236*  | 1       |         |    |
| DO   | 0,818** | 0,486** | 0,492** | 0,499** | 0,544** | 0,509** | 1       |    |
| İP   | 0,550** | 0,421** | 0,406** | 0,400** | 0,420** | 0,267** | 0,527** | 1  |

\*\*Korelasyon katsayıları 0,01 düzeyinde anlamlıdır.

\*Korelasyon katsayıları 0,05 düzeyinde anlamlıdır.

Tablo 12'ye göre TZYU ile İşletme Performansı arasında istatistiksel olarak anlamlı ( $p < 0,05$ ) ve pozitif yönde güçlü ilişkiler (0,550) bulunmaktadır. Değerler incelendiğinde; stratejik tedarikçi ortaklığı ile işletme performansı (0,421); müşteri ilişkileri yönetimi ile işletme performansı (0,406); bilgi paylaşımı ile işletme performansı (0,400); bilgi kalitesi ile işletme performansı (0,420); erteleme ile işletme performansı (0,267); dahili operasyonlar ile işletme performansı (0,527) arasında olumlu yönde ilişki olduğu tespit edilmiştir. Tedarik Zinciri Yönetim Uygulamalarından alınan puanlar arttıkça İşletme Performansından alınan puanlarda da artış yaşanacaktır.

#### 4.5. Regresyon Analizi

Regresyon analizi, iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi tespit etmek ve bu ilişkinin ne kadar güçlü olduğunu belirlemek için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir (Güleş ve Çağlıyan, 2010). Bu teknik, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etkisini inceleyerek, mevcut verilerden yola çıkarak gelecekteki durumları tahmin etme olanağı sunar. Birçok alanda, veri temelli karar alma süreçlerinde rehberlik eder. TZYU genel ve alt boyut puanlarının İşletme Performansı üzerindeki etkilerin gösterildiği basit regresyon analizleri Tablo 13'teki gibidir.

Tablo 13'e göre;  $H_1$  hipotezi, TZYU'nun işletme performansı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi bulunmaktadır ( $R^2 = 0,296$ ,  $p < 0,05$ ). TZYU işletme performansının  $R^2$  değeri olan %29,6'sını açıklamaktadır. TZYU'ndan alınan 1 birim artış işletme performansını 0,550 birim kadar arttıracaktır.

$H_{1a}$  hipotezi, stratejik tedarikçi ortaklığının işletme performansı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi bulunmaktadır ( $R^2 = 0,169$ ,  $p < 0,05$ ). Stratejik tedarikçi ortaklığı işletme performansının  $R^2$  değeri olan %16,9'unu açıklamaktadır. Stratejik tedarikçi ortaklığından alınan 1 birim artış işletme performansını 0,421 birim kadar arttıracaktır.

**Tablo 13. Regresyon analizi sonuçları**

|       | <i>Standart Olmayan Katsayılar</i> |                   | <i>Standart Katsayılar</i> |          |          |                      |
|-------|------------------------------------|-------------------|----------------------------|----------|----------|----------------------|
|       | <i>B</i>                           | <i>Std. Error</i> | <i>Beta</i>                | <i>t</i> | <i>p</i> | <i>R<sup>2</sup></i> |
| Sabit | 1,407                              | 0,386             | 0,550                      | 3,644    | 0,000    | 0,296                |
| TZYU  | 0,640                              | 0,094             |                            | 6,784    | 0,000    |                      |
| Sabit | 2,244                              | 0,373             | 0,421                      | 6,023    | 0,000    | 0,169                |
| STO   | 0,414                              | 0,087             |                            | 4,775    | 0,000    |                      |
| Sabit | 2,319                              | 0,372             | 0,406                      | 6,232    | 0,000    | 0,157                |
| MİY   | 0,385                              | 0,084             |                            | 4,581    | 0,000    |                      |
| Sabit | 2,804                              | 0,272             | 0,400                      | 10,311   | 0,000    | 0,152                |
| BP    | 0,306                              | 0,068             |                            | 4,496    | 0,000    |                      |
| Sabit | 2,455                              | 0,329             | 0,420                      | 7,454    | 0,000    | 0,169                |
| BK    | 0,380                              | 0,080             |                            | 4,768    | 0,000    |                      |
| Sabit | 3,470                              | 0,195             | 0,267                      | 17,793   | 0,000    | 0,063                |
| E     | 0,160                              | 0,056             |                            | 2,857    | 0,005    |                      |
| Sabit | 1,745                              | 0,357             | 0,527                      | 4,887    | 0,000    | 0,271                |
| DO    | 0,536                              | 0,084             |                            | 6,387    | 0,000    |                      |

Bağımlı Değişken: İş Performansı

H<sub>1b</sub> hipotezi, müşteri ilişkileri yönetiminin işletme performansı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi bulunmaktadır ( $R^2=0,157$ ,  $p<0,05$ ). Müşteri ilişkileri yönetimi işletme performansının  $R^2$  değeri olan %15,7'sini açıklamaktadır. Müşteri ilişkileri yönetiminden alınan 1 birim artış işletme performansını 0,406 birim kadar arttıracaktır.

H<sub>1c</sub> hipotezi, bilgi paylaşımının işletme performansı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi bulunmaktadır ( $R^2=0,152$ ,  $p<0,05$ ). Bilgi paylaşımı işletme performansının  $R^2$  değeri olan %15,2'sini açıklamaktadır. Bilgi paylaşımından alınan 1 birim artış işletme performansını 0,400 birim kadar arttıracaktır.

H<sub>1d</sub> hipotezi, bilgi kalitesinin işletme performansı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi bulunmaktadır ( $R^2=0,169$ ,  $p<0,05$ ). Bilgi kalitesi işletme performansının  $R^2$  değeri olan %16,9'unu açıklamaktadır. Bilgi kalitesinden alınan 1 birim artış işletme performansını 0,420 birim kadar arttıracaktır.

H<sub>1e</sub> hipotezi, ertelemenin işletme performansı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi bulunmaktadır ( $R^2=0,063$ ,  $p<0,05$ ). Erteleme işletme performansının  $R^2$  değeri olan %6,3'ünü açıklamaktadır. Ertelemeden alınan 1 birim artış işletme performansını 0,267 birim kadar arttıracaktır.

H<sub>1f</sub> hipotezi, dahili operasyonların işletme performansı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi bulunmaktadır ( $R^2=0,271$ ,  $p<0,05$ ). Dahili operasyonlar işletme performansının  $R^2$  değeri olan %27,1'ini açıklamaktadır. Dahili operasyonlardan alınan 1 birim artış işletme performansını 0,527 birim kadar arttıracaktır.

#### 4.6. Fark Testleri

TZYU ölçeği ve alt boyutlarının ve İşletme Performansı ölçeğinin normal dağılım göstermesi sebebiyle bu ölçeklerin fark testlerinde parametrik yöntemler kullanılmıştır.

##### 4.6.1. Çalışan Sayısı ile Ölçekler Arasındaki İlişkiler

Çalışan sayısı değişkenlerinin analiz sonuçları Tablo 14'te verilmiştir.

TZYU ve İşletme Performansına verilen cevapların işletmelerin çalışan sayısına göre değişiminin incelendiği ANOVA sonuçlarına göre; TZYU genel puanında, müşteri ilişkileri yönetimi alt boyutunda ve İşletme Performansı ölçeğinde istatistiksel olarak anlamlı farklılaşmalara rastlanmaktadır ( $p<0,05$ ). Anlamlı farklılaşmaların hangi seçeneklerden kaynaklandığını belirlemek üzere yapılan Post-Hoc analizlerinden Tukey'e göre; ölçeğin kendisinde 250-499 ve 500+ seçenekleri; müşteri ilişkileri yönetiminde 150-249 ve 250-499 seçenekleri; İşletme Performansı ölçeğinde 1-149 ve 500+ seçenekleri anlamlıdır. Anlamlı seçenekler arasında yapılan karşılaştırmalara göre anlamlı farklar TZYU ve İşletme Performansı ölçeklerinde 500+; müşteri ilişkileri yönetimi alt boyutunda 150-249 seçeneklerinin yüksek ortalama puanlarından kaynaklanmaktadır. TZYU ve işletme performansı ölçeklerinden alınan puanlar işletmenin çalışan sayısına göre farklılaşma göstermektedir. H<sub>2a</sub> hipotezi kabul edilmiştir.

**Tablo 14. Çalışan sayısı ile ölçeklerin karşılaştırması**

|                                       | <i>Çalışan Sayısı</i> | <i>N</i> | <i><math>\bar{x}</math></i> | <i>s</i> | <i>F</i> | <i>p</i> | <i>Post Hoc (Tukey)</i> |
|---------------------------------------|-----------------------|----------|-----------------------------|----------|----------|----------|-------------------------|
| Tedarik Zinciri Yönetimi Uygulamaları | 1-149                 | 38       | 4,0579                      | 0,43415  | 2,730    | 0,048    | d>c                     |
|                                       | 150-249               | 29       | 4,1379                      | 0,40723  |          |          |                         |
|                                       | 250-499 <sup>c</sup>  | 23       | 3,8758                      | 0,41275  |          |          |                         |
|                                       | 500+ <sup>d</sup>     | 18       | 4,2317                      | 0,44726  |          |          |                         |
| Stratejik Tedarikçi Ortaklığı         | 1-149                 | 38       | 4,2588                      | 0,48506  | 2,628    | 0,054    | -                       |
|                                       | 150-249               | 29       | 4,3793                      | 0,46269  |          |          |                         |
|                                       | 250-499               | 23       | 4,0362                      | 0,60711  |          |          |                         |
|                                       | 500+                  | 18       | 4,4167                      | 0,45464  |          |          |                         |
| Müşteri İlişkileri Yönetimi           | 1-149                 | 38       | 4,3789                      | 0,56719  | 3,396    | 0,021    | b>c                     |
|                                       | 150-249 <sup>b</sup>  | 29       | 4,5448                      | 0,48076  |          |          |                         |
|                                       | 250-499 <sup>c</sup>  | 23       | 4,1217                      | 0,51782  |          |          |                         |
|                                       | 500+                  | 18       | 4,5333                      | 0,45504  |          |          |                         |
| Bilgi Paylaşımı                       | 1-149                 | 38       | 3,9956                      | 0,69369  | 1,438    | 0,236    | -                       |
|                                       | 150-249               | 29       | 3,9080                      | 0,63712  |          |          |                         |
|                                       | 250-499               | 23       | 3,7246                      | 0,61260  |          |          |                         |
|                                       | 500+                  | 18       | 4,1296                      | 0,66065  |          |          |                         |
| Bilgi Kalitesi                        | 1-149                 | 38       | 4,1211                      | 0,57617  | 0,737    | 0,532    | -                       |
|                                       | 150-249               | 29       | 4,1172                      | 0,61764  |          |          |                         |
|                                       | 250-499               | 23       | 3,9478                      | 0,50170  |          |          |                         |
|                                       | 500+                  | 18       | 4,1889                      | 0,50163  |          |          |                         |
| Erteleme                              | 1-149                 | 38       | 3,3421                      | 0,85980  | 0,994    | 0,399    | -                       |
|                                       | 150-249               | 29       | 3,4966                      | 0,84451  |          |          |                         |
|                                       | 250-499               | 23       | 3,1652                      | 0,80148  |          |          |                         |
|                                       | 500+                  | 18       | 3,5667                      | 0,87649  |          |          |                         |
| Dahili Operasyonlar                   | 1-149                 | 38       | 4,1612                      | 0,41090  | 1,735    | 0,164    | -                       |
|                                       | 150-249               | 29       | 4,2888                      | 0,57970  |          |          |                         |
|                                       | 250-499               | 23       | 4,1141                      | 0,47060  |          |          |                         |
|                                       | 500+                  | 18       | 4,4236                      | 0,52709  |          |          |                         |
| İşletme Performansı                   | 1-149 <sup>a</sup>    | 38       | 3,8872                      | 0,51685  | 2,933    | 0,037    | d>a                     |
|                                       | 150-249               | 29       | 4,0837                      | 0,47918  |          |          |                         |
|                                       | 250-499               | 23       | 3,9193                      | 0,47930  |          |          |                         |
|                                       | 500+ <sup>d</sup>     | 18       | 4,2698                      | 0,47731  |          |          |                         |

#### 4.6.2. Faaliyet Süresi İle Ölçekler Arasındaki İlişkiler

Faaliyet süresi değişkenlerinin analiz sonuçları Tablo 15'te verilmiştir. TZYU ve İşletme Performansına verilen cevapların işletmelerin faaliyet sürelerine göre değişiminin incelendiği ANOVA sonuçlarına göre; müşteri ilişkileri yönetimi alt boyutunda istatistiksel olarak anlamlı farklılaşmalara rastlanmaktadır ( $p<0,05$ ). Anlamlı farklılaşmaların hangi seçeneklerden kaynaklandığını belirlemek üzere yapılan Post-Hoc analizlerinden Tukey'e göre; 1-19 ve 20-39 seçenekleri anlamlıdır. Anlamlı seçenekler arasında yapılan karşılaştırmalara göre anlamlı farklar 20-39 yıldır faaliyet veren işletmelerin müşteri ilişkileri yönetimi alt boyutundan aldıkları yüksek ortalama puanlarından kaynaklanmaktadır. TZYU ve işletme performansı ölçeklerinden alınan puanlar işletmenin faaliyet süresine göre farklılaşma göstermektedir.  $H_{2b}$  hipotezi kabul edilmiştir.

**Tablo 15. Faaliyet süresi ile ölçeklerin karşılaştırması**

|                                       | <i>Faaliyet Süresi</i> | <i>N</i> | $\bar{x}$ | <i>s</i> | <i>F</i> | <i>p</i> | <i>Post Hoc (Tukey)</i> |
|---------------------------------------|------------------------|----------|-----------|----------|----------|----------|-------------------------|
| Tedarik Zinciri Yönetimi Uygulamaları | 1-19                   | 36       | 4,0032    | 0,43233  | 1,002    | 0,371    | -                       |
|                                       | 20-39                  | 34       | 4,1496    | 0,36819  |          |          |                         |
|                                       | 40+                    | 38       | 4,0609    | 0,48905  |          |          |                         |
| Stratejik Tedarikçi Ortaklığı         | 1-19                   | 36       | 4,2222    | 0,48957  | 0,726    | 0,486    | -                       |
|                                       | 20-39                  | 34       | 4,3578    | 0,44784  |          |          |                         |
|                                       | 40+                    | 38       | 4,2368    | 0,59101  |          |          |                         |
| Müşteri İlişkileri Yönetimi           | 1-19 <sup>a</sup>      | 36       | 4,2111    | 0,58738  | 3,445    | 0,036    | b>a                     |
|                                       | 20-39 <sup>b</sup>     | 34       | 4,5176    | 0,42102  |          |          |                         |
|                                       | 40+                    | 38       | 4,4579    | 0,53808  |          |          |                         |
| Bilgi Paylaşımı                       | 1-19                   | 36       | 3,8796    | 0,58907  | 1,325    | 0,270    | -                       |
|                                       | 20-39                  | 34       | 4,0882    | 0,59208  |          |          |                         |
|                                       | 40+                    | 38       | 3,8553    | 0,76834  |          |          |                         |
| Bilgi Kalitesi                        | 1-19                   | 36       | 4,0500    | 0,52454  | 1,639    | 0,199    | -                       |
|                                       | 20-39                  | 34       | 4,2353    | 0,54488  |          |          |                         |
|                                       | 40+                    | 38       | 4,0105    | 0,59356  |          |          |                         |
| Erteleme                              | 1-19                   | 36       | 3,3778    | 0,90683  | 0,030    | 0,970    | -                       |
|                                       | 20-39                  | 34       | 3,4118    | 0,73516  |          |          |                         |
|                                       | 40+                    | 38       | 3,3632    | 0,90028  |          |          |                         |
| Dahili Operasyonlar                   | 1-19                   | 36       | 4,1632    | 0,50869  | 0,737    | 0,481    | -                       |
|                                       | 20-39                  | 34       | 4,2169    | 0,44093  |          |          |                         |
|                                       | 40+                    | 38       | 4,3026    | 0,53716  |          |          |                         |
| İşletme Performansı                   | 1-19                   | 36       | 3,8452    | 0,45737  | 2,994    | 0,054    | -                       |
|                                       | 20-39                  | 34       | 4,0966    | 0,50074  |          |          |                         |
|                                       | 40+                    | 38       | 4,0902    | 0,52769  |          |          |                         |

**4.6.3. Sermaye Yapısı ile Ölçekler Arasındaki İlişkiler**

Sermaye yapısı değişkenlerinin analiz sonuçları Tablo 16'da verilmiştir.

**Tablo 16. Sermaye yapısı ile ölçeklerin karşılaştırması**

|                                       | <i>Sermaye Yapısı</i> | <i>N</i> | $\bar{x}$ | <i>s</i> | <i>F</i> | <i>p</i> | <i>Post Hoc (Tukey)</i> |
|---------------------------------------|-----------------------|----------|-----------|----------|----------|----------|-------------------------|
| Tedarik Zinciri Yönetimi Uygulamaları | Tamamen Yerli         | 77       | 4,0482    | 0,44078  | 0,745    | 0,477    | -                       |
|                                       | Tamamen Yabancı       | 17       | 4,0571    | 0,37769  |          |          |                         |
|                                       | Yabancı Ortaklık      | 14       | 4,2020    | 0,47327  |          |          |                         |
| Stratejik Tedarikçi Ortaklığı         | Tamamen Yerli         | 77       | 4,2489    | 0,51627  | 0,231    | 0,794    | -                       |
|                                       | Tamamen Yabancı       | 17       | 4,3333    | 0,48233  |          |          |                         |
|                                       | Yabancı Ortaklık      | 14       | 4,3095    | 0,56936  |          |          |                         |
| Müşteri İlişkileri Yönetimi           | Tamamen Yerli         | 77       | 4,4000    | 0,55251  | 1,420    | 0,246    | -                       |
|                                       | Tamamen Yabancı       | 17       | 4,2353    | 0,50118  |          |          |                         |
|                                       | Yabancı Ortaklık      | 14       | 4,5571    | 0,43803  |          |          |                         |
| Bilgi Paylaşımı                       | Tamamen Yerli         | 77       | 3,9221    | 0,66808  | 0,086    | 0,918    | -                       |
|                                       | Tamamen Yabancı       | 17       | 3,9510    | 0,55203  |          |          |                         |
|                                       | Yabancı Ortaklık      | 14       | 4,0000    | 0,77625  |          |          |                         |
| Bilgi Kalitesi                        | Tamamen Yerli         | 77       | 4,1065    | 0,58182  | 0,449    | 0,643    | -                       |
|                                       | Tamamen Yabancı       | 17       | 4,0118    | 0,33519  |          |          |                         |
|                                       | Yabancı Ortaklık      | 14       | 4,1286    | 0,66844  |          |          |                         |
| Erteleme                              | Tamamen Yerli         | 77       | 3,3221    | 0,84800  | 1,189    | 0,309    | -                       |
|                                       | Tamamen Yabancı       | 17       | 3,4000    | 0,79057  |          |          |                         |
|                                       | Yabancı Ortaklık      | 14       | 3,7000    | 0,89012  |          |          |                         |
| Dahili Operasyonlar                   | Tamamen Yerli         | 77       | 4,1899    | 0,52590  | 1,202    | 0,305    | -                       |
|                                       | Tamamen Yabancı       | 17       | 4,2574    | 0,39149  |          |          |                         |
|                                       | Yabancı Ortaklık      | 14       | 4,4107    | 0,43420  |          |          |                         |
| İşletme Performansı                   | Tamamen Yerli         | 77       | 3,9796    | 0,51389  | 0,799    | 0,452    | -                       |
|                                       | Tamamen Yabancı       | 17       | 4,1513    | 0,36933  |          |          |                         |
|                                       | Yabancı Ortaklık      | 14       | 4,0102    | 0,60210  |          |          |                         |

TZYU ve İşletme Performansına verilen cevapların sermaye yapılarına göre değişiminin incelendiği ANOVA sonuçlarına göre; istatistiksel olarak anlamlı farklılaşmalara rastlanmamaktadır ( $p>0,05$ ). TZYU ve işletme

performansı ölçeklerinden alınan puanlar işletmenin sermaye yapısına göre farklılaşma göstermemektedir.  $H_{2c}$  hipotezi reddedilmiştir.

#### 4.6.4. Hedef Pazarlar İle Ölçekler Arasındaki İlişkiler

İşletmenin hedef pazarları değişkenlerinin analiz sonuçları Tablo 17'de verilmiştir.

**Tablo 17. Hedef pazarlar ile ölçeklerin karşılaştırması**

|                                       | Hedef Pazarlar | N  | $\bar{x}$ | s       | t      | df  | p     |
|---------------------------------------|----------------|----|-----------|---------|--------|-----|-------|
| Tedarik Zinciri Yönetimi Uygulamaları | Sadece Yurtiçi | 11 | 3,9974    | 0,53107 | -0,594 | 102 | 0,554 |
|                                       | Her İkisi      | 93 | 4,0796    | 0,42174 |        |     |       |
| Stratejik Tedarikçi Ortaklığı         | Sadece Yurtiçi | 11 | 4,2576    | 0,40390 | -0,057 | 102 | 0,955 |
|                                       | Her İkisi      | 93 | 4,2670    | 0,53055 |        |     |       |
| Müşteri İlişkileri Yönetimi           | Sadece Yurtiçi | 11 | 4,3455    | 0,68755 | -0,329 | 102 | 0,743 |
|                                       | Her İkisi      | 93 | 4,4022    | 0,52211 |        |     |       |
| Bilgi Paylaşımı                       | Sadece Yurtiçi | 11 | 3,6970    | 0,84596 | -1,320 | 102 | 0,190 |
|                                       | Her İkisi      | 93 | 3,9695    | 0,62213 |        |     |       |
| Bilgi Kalitesi                        | Sadece Yurtiçi | 11 | 4,0727    | 0,67689 | -0,158 | 102 | 0,874 |
|                                       | Her İkisi      | 93 | 4,1011    | 0,54742 |        |     |       |
| Erteleme                              | Sadece Yurtiçi | 11 | 3,3818    | 1,11159 | 0,004  | 102 | 0,997 |
|                                       | Her İkisi      | 93 | 3,3806    | 0,80976 |        |     |       |
| Dahili Operasyonlar                   | Sadece Yurtiçi | 11 | 4,1477    | 0,52979 | -0,590 | 102 | 0,556 |
|                                       | Her İkisi      | 93 | 4,2433    | 0,50519 |        |     |       |
| İşletme Performansı                   | Sadece Yurtiçi | 11 | 3,7922    | 0,51652 | -1,451 | 102 | 0,150 |
|                                       | Her İkisi      | 93 | 4,0276    | 0,50825 |        |     |       |

TZYU ve İşletme Performansına verilen cevapların işletmelerin hedef pazarlarına göre değişiminin incelendiği Bağımsız Örneklem T-Testi sonuçlarına göre; istatistiksel olarak anlamlı farklılaşmalara rastlanmamaktadır ( $p>0,05$ ). TZYU ve işletme performansı ölçeklerinden alınan puanlar işletmenin hedef pazarlarına göre farklılaşma göstermemektedir.  $H_{2d}$  hipotezi reddedilmiştir.

#### 4.6.5. Pazar Payı İle Ölçekler Arasındaki İlişkiler

Pazar payı değişkenlerinin analiz sonuçları Tablo 18'de verilmiştir.

**Tablo 18. Pazar payı ile ölçeklerin karşılaştırması**

|                                       | Pazar Payı              | N  | $\bar{x}$ | s       | F      | p     | Post Hoc (Tukey) |
|---------------------------------------|-------------------------|----|-----------|---------|--------|-------|------------------|
| Tedarik Zinciri Yönetimi Uygulamaları | Orta <sup>a</sup>       | 17 | 3,8437    | 0,43473 | 11,583 | 0,000 | c>b>a            |
|                                       | Yüksek <sup>b</sup>     | 57 | 3,9779    | 0,40737 |        |       |                  |
|                                       | Çok Yüksek <sup>c</sup> | 33 | 4,3351    | 0,36072 |        |       |                  |
| Stratejik Tedarikçi Ortaklığı         | Orta <sup>a</sup>       | 17 | 4,0588    | 0,57717 | 10,573 | 0,000 | c>b>a            |
|                                       | Yüksek <sup>b</sup>     | 57 | 4,1637    | 0,51030 |        |       |                  |
|                                       | Çok Yüksek <sup>c</sup> | 33 | 4,5455    | 0,36150 |        |       |                  |
| Müşteri İlişkileri Yönetimi           | Orta                    | 17 | 4,2471    | 0,51249 | 3,958  | 0,022 | c>b              |
|                                       | Yüksek <sup>b</sup>     | 57 | 4,3123    | 0,57572 |        |       |                  |
|                                       | Çok Yüksek <sup>c</sup> | 33 | 4,6000    | 0,41231 |        |       |                  |
| Bilgi Paylaşımı                       | Orta                    | 17 | 3,7353    | 0,67459 | 3,564  | 0,032 | c>b              |
|                                       | Yüksek <sup>b</sup>     | 57 | 3,8626    | 0,66003 |        |       |                  |
|                                       | Çok Yüksek <sup>c</sup> | 33 | 4,1818    | 0,60862 |        |       |                  |
| Bilgi Kalitesi                        | Orta <sup>a</sup>       | 17 | 3,8941    | 0,52971 | 6,820  | 0,002 | c>b>a            |
|                                       | Yüksek <sup>b</sup>     | 57 | 3,9930    | 0,54375 |        |       |                  |
|                                       | Çok Yüksek <sup>c</sup> | 33 | 4,3758    | 0,51662 |        |       |                  |
| Erteleme                              | Orta                    | 17 | 3,0941    | 0,80968 | 3,508  | 0,034 | c>b              |
|                                       | Yüksek <sup>b</sup>     | 57 | 3,2877    | 0,85609 |        |       |                  |
|                                       | Çok Yüksek <sup>c</sup> | 33 | 3,6788    | 0,78889 |        |       |                  |
| Dahili Operasyonlar                   | Orta <sup>a</sup>       | 17 | 3,9485    | 0,37775 | 10,648 | 0,000 | c>b>a            |
|                                       | Yüksek <sup>b</sup>     | 57 | 4,1382    | 0,52007 |        |       |                  |
|                                       | Çok Yüksek <sup>c</sup> | 33 | 4,5114    | 0,36358 |        |       |                  |
| İşletme Performansı                   | Orta <sup>a</sup>       | 17 | 3,6891    | 0,53746 | 12,612 | 0,000 | c>b>a            |
|                                       | Yüksek <sup>b</sup>     | 57 | 3,9173    | 0,42253 |        |       |                  |
|                                       | Çok Yüksek <sup>c</sup> | 33 | 4,3074    | 0,45474 |        |       |                  |

TZYU ve İşletme Performansına verilen cevapların işletmelerin pazar paylarına göre değişiminin incelendiği ANOVA sonuçlarına göre; TZYU ölçeği genel ve tüm alt boyutlarında ve İşletme Performansı ölçeğinde istatistiksel olarak anlamlı farklılaşmalara rastlanmaktadır ( $p < 0,05$ ). Anlamlı farklılaşmaların hangi seçeneklerden kaynaklandığını belirlemek üzere yapılan Post-Hoc analizlerinden Tukey'e göre; TZYU ölçeği genel puanı, stratejik tedarikçi ortaklığı, bilgi kalitesi, dahili operasyonlar alt boyutu ve İşletme Performansı ölçeğinde tüm seçenekler; müşteri ilişkileri yönetimi, bilgi paylaşımı ve erteleme alt boyutlarında yüksek ve çok yüksek seçenekleri anlamlıdır. Anlamlı seçenekler arasında yapılan karşılaştırmalara göre anlamlı farklar pazar payı çok yüksek olan işletmelerdeki katılımcıların aldıkları yüksek ortalama puanlarından kaynaklanmaktadır. TZYU ve işletme performansı ölçeklerinden alınan puanlar işletmenin pazar payına göre farklılaşma göstermektedir.  $H_{2e}$  hipotezi kabul edilmiştir.

## 5. SONUÇ

Bu çalışmanın bulguları, TZYU'nun işletme performansı üzerinde pozitif ve anlamlı etkileri olduğunu ortaya koymuştur. Araştırmaya katılan işletmelerin büyük bir kısmı, stratejik tedarikçi ortaklığı, müşteri ilişkileri yönetimi, bilgi paylaşımı, bilgi kalitesi, erteleme ve dahili operasyonlar gibi faktörlerin, performanslarını geliştirdiğini belirtmiştir.

Araştırmanın temel hipotezi olan "Tedarik zinciri yönetimi uygulamalarının işletme performansı üzerinde etkisi vardır" hipotezi doğrulanmıştır. TZYU'nun işletme performansının %29,6'sını açıkladığı ve bu uygulamalardan alınan her birim artışın işletme performansını olumlu yönde etkilediği tespit edilmiştir. Bu bulgu, tedarik zinciri yönetiminin işletme performansını artırmada kritik bir rol oynadığını göstermektedir.

Stratejik tedarikçi ortaklığının işletme performansı üzerinde anlamlı bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. Stratejik tedarikçi ortaklığı, işletme performansının %16,9'unu açıklamakta ve bu ortaklıklardan alınan her birim artış işletme performansını olumlu yönde etkilemektedir. Stratejik tedarikçi ortaklığı, işletmelerin tedarikçileri ile kurdukları uzun vadeli ve güvene dayalı ilişkilerin, işletme performansını artırmada kritik bir rol oynadığını ortaya koymuştur. Tedarikçilerin ürün kalitesini iyileştirme çabaları ve sürekli iyileştirme programlarına dahil edilmeleri, işletmelerin rekabet avantajını güçlendirmiştir. Bu bulgu, tedarik zinciri yönetiminin etkin bir şekilde uygulanmasının, işletmelerin maliyetlerini düşürerek ve kaliteyi artırarak performanslarını iyileştirdiğini göstermektedir (Gültekin, 2022).

Müşteri ilişkileri yönetiminin işletme performansı üzerinde anlamlı bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. Müşteri ilişkileri yönetimi, işletme performansının %15,7'sini açıklamakta ve bu yönetim uygulamalarından alınan her birim artış işletme performansını olumlu yönde etkilemektedir. Müşteri ilişkileri yönetimi, müşteri memnuniyetini artırma ve müşteri beklentilerini karşılama konusundaki başarının, işletme performansına doğrudan katkı sağladığını ortaya koymuştur. Müşteri memnuniyetinin düzenli olarak ölçülmesi ve değerlendirilmesi, işletmelerin müşteri taleplerine hızlı ve etkili bir şekilde yanıt vermelerini sağlamıştır. Bu durum, müşteri sadakatini artırarak işletmelerin pazar payını genişletmiştir. Literatürde de bu sonuçları destekleyen çalışmalar bulunmaktadır (Civelek, 2016; Yıldız, 2010).

Bilgi paylaşımı ve bilgi kalitesi, tedarik zinciri üyeleri arasında etkin bilgi akışının sağlanmasının, işletme performansını olumlu yönde etkilediğini göstermiştir. Bilgi paylaşımı, işletme performansının %15,2'sini, bilgi kalitesi işletme performansının %16,9'unu açıklamakta ve bu paylaşım ve kalite uygulamalarından alınan her birim artış işletme performansını olumlu yönde etkilemektedir. Paylaşılan bilginin kalitesi ve seviyesinin yüksek olması, tedarik zincirinin performansını artırırken toplam maliyetleri düşürmekte ve müşteri hizmet kalitesini yükselterek işletmelere önemli avantajlar sağlamaktadır. İşletmeler ticari hayatlarını sürdürebilmek için diğer işletmelerle iş birliği yapmak zorundadır. Bu iş birliklerinden maksimum fayda sağlamak için işletmeler birbirleriyle sürekli ve etkin bir bilgi alışverişi içerisinde olmaları gerekmektedir. Ticaret ortakları ile doğru, eksiksiz ve güvenilir bilgi paylaşımı, işletmelerin karar alma süreçlerini iyileştirmiş ve operasyonel verimliliği artırmıştır. Bu sonuçların literatürde de desteklendiğine dair çalışmalar mevcuttur (Şahin, 2018; Urk, 2016).

Ertelemenin işletme performansı üzerinde anlamlı bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. Erteleme, işletme performansının %6,3'ünü açıklamakta ve bu uygulamalardan alınan her birim artış işletme performansını olumlu yönde etkilemektedir. Erteleme stratejisi sayesinde, ürünler müşterilerin talep ve beklentilerine göre tamamen farklılaştırılmış ve bu da müşteri memnuniyetini artırmıştır. Tedarik zinciri sürecinde hazır ürün stok seviyeleri azaltılarak stok maliyetleri düşürülmüştür. Stok için üretim (make-to-inventory) anlayışından sipariş için üretim (make-to-order) anlayışına geçilmesiyle, işletmeler pazar trendlerine daha iyi uyum sağlayarak karlılıklarını artırmışlardır (Urk, 2016).

Dahili operasyonların işletme performansı üzerinde anlamlı bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. Dahili operasyonlar, işletme performansının %27,1'ini açıklamakta ve bu operasyonlardan alınan her birim artış işletme performansını olumlu yönde etkilemektedir. Dahili operasyonların etkin yönetimi, işletme performansını artırmada kritik bir rol oynamaktadır. Dahili operasyonlar, işletmelerin üretim süreçlerinde

esneklik sağlayarak müşteri taleplerine daha hızlı yanıt vermelerini mümkün kılmıştır. Bu bulgu, işletmelerin rekabet avantajı elde etmeleri ve sürdürülebilir büyüme sağlamaları için dahili operasyonların önemini vurgulamaktadır (Lee ve diğerleri, 2018).

Bu çalışma çerçevesinde oluşturulan hipotezler şu şekilde ifade edilmiştir:

H<sub>1</sub>: Tedarik zinciri yönetimi uygulamalarının işletme performansı üzerinde pozitif ve anlamlı bir etkisi vardır. Bu hipotez altı alt hipotezle desteklenmiştir:

- H<sub>1a</sub>: Stratejik tedarikçi ortaklığı
- H<sub>1b</sub>: Müşteri ilişkileri yönetimi
- H<sub>1c</sub>: Bilgi paylaşımı
- H<sub>1d</sub>: Bilgi kalitesi
- H<sub>1e</sub>: Erteleme
- H<sub>1f</sub>: Dahili operasyonlar

Bu alt hipotezlerin tamamı regresyon analizi ile test edilmiş ve anlamlılık düzeyleri kontrol edilmiştir. Tüm alt hipotezler  $p < 0,05$  düzeyinde kabul edilmiştir. Örneğin, dahili operasyonların işletme performansını %27,1 oranında açıkladığı ve bilgi kalitesindeki 1 birimlik artışın işletme performansını 0,420 birim artırdığı tespit edilmiştir.

Araştırmanın şirket nitelikleri açısından yapılan analizlerinde, çalışan sayısı, faaliyet süresi, sermaye yapısı, hedef pazarlar ve pazar payı gibi faktörlerin TZYU ve işletme performansı üzerinde farklı etkiler yarattığı tespit edilmiştir. Özellikle, pazar payı yüksek olan işletmelerde TZYU'nın daha etkin bir şekilde uygulandığı ve işletme performansının daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Şirket nitelikleri değişkenlerinin etkisini anlamak amacıyla H<sub>2</sub> ve alt hipotezleri geliştirilmiştir:

H<sub>2</sub>: Tedarik zinciri yönetimi uygulamaları ve işletme performansı ölçeklerinden alınan puanlar şirket niteliklerine göre farklılaşma göstermektedir. Bu hipotez altındaki detaylar şu şekildedir:

- **Çalışan Sayısı (H<sub>2a</sub>)**: İşletmelerin büyüklüğünü temsil eden çalışan sayısı ile TZYU arasındaki ilişki anlamlı bulunmuştur. Çalışan sayısı fazla olan işletmelerde, TZYU daha etkin bulunmuş ve işletme performansına daha fazla katkı sağladığı belirtilmiştir. Küçük ölçekli işletmelerde ise, TZYU genellikle kaynak eksikliği nedeniyle daha sınırlı bir etkiye sahip olmuştur. Sonuç olarak, çalışan sayısına göre farklılık anlamlı bulunmuş ve hipotez kabul edilmiştir.
- **Faaliyet Süresi (H<sub>2b</sub>)**: İşletmelerin sektördeki faaliyet süresine göre yapılan analizlerde, 10 yıl ve üzeri faaliyet gösteren işletmeler, TZYU'nda daha yüksek performans algısına sahiptir. Bu, deneyimin stratejik süreçlerin daha etkin uygulanmasında önemli bir faktör olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, faaliyet süresine göre anlamlı farklılıklar bulunmuş ve hipotez kabul edilmiştir.
- **Sermaye Yapısı (H<sub>2c</sub>)**: İşletmelerin sermaye yapısına göre yapılan analizlerinde, sermaye yapısının TZYU ve işletme performansına anlamlı bir etkisi olmadığı ortaya konulmuş ve hipotez reddedilmiştir.
- **Hedef Pazarlar (H<sub>2d</sub>)**: İşletmelerin hedef pazarlarına göre yapılan analizlerinde, hedef pazarların TZYU ve işletme performansı arasındaki ilişki anlamlı bulunmamıştır ve hipotez reddedilmiştir.
- **Pazar Payı (H<sub>2e</sub>)**: İşletmelerin faaliyet gösterdiği sektördeki pazar payının TZYU ve işletme performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Pazar payı, işletmeleri yenilikçi ve etkin TZYU benimsemeye teşvik etmektedir. Daha az pazar payına sahip sektörlerde faaliyet gösteren işletmelerde ise, bu süreçlerin performans üzerindeki etkisi daha düşük bulunmuştur. Bu işletmelerde TZYU'na olan ihtiyaç daha az hissedilmektedir. Sonuç olarak, pazar payına göre farklılıklar anlamlı bulunmuş ve hipotez kabul edilmiştir.

Bu araştırma, TZYU'nın işletme performansı üzerindeki olumlu etkilerini kapsamlı bir şekilde ortaya koymuştur. TZYU'na yönelik genel ve alt hipotezlerin tamamı regresyon analizi ile test edilmiş ve tümü  $p < 0,05$  düzeyinde anlamlı bulunmuştur. Ayrıca, şirket niteliklerinin TZY algıları üzerinde anlamlı farklılıklar yarattığı tespit edilmiştir. Bu bulgular, işletmelerin strateji geliştirme süreçlerinde TZYU'nın önemini vurgulamaktadır.

Elde edilen bulgular, daha önce yapılan Tan ve diğerleri (1998), Kim (2009), Tekin ve Öztürk (2020) ve Özgüner ve Yıldız (2021) gibi çalışmaların sonuçları ile paralellik göstermektedir. Ancak, Bursa özelinde yapılan bu araştırma, sektöre özgü dinamikleri ele alması ve bölge özelinde bir analiz sunması nedeniyle literatüre yeni bir perspektif kazandırmaktadır.

Bu bağlamda, işletmelerin rekabet avantajı kazanabilmesi için;

- Tedarikçi entegrasyonunu daha etkin bir şekilde sağlamaları,
- Bilgi paylaşımının artırılması,

- Tedarik zinciri yönetimi stratejilerinin iyileştirilmesi önerilmektedir.

Bursa'daki otomotiv yan sanayi firmalarının büyük bir kısmı uluslararası pazarda yer almaktadır. Bu nedenle, gelecekteki araştırmalar, TZYU'nun uluslararası rekabet gücüne etkisini daha detaylı olarak inceleyebilir.

#### **Yazar Katkıları / Author Contributions**

*Eda Vardar: Literatür Taraması, Kavramsallaştırma, Metodoloji, Veri Derleme, Analiz, Makale Yazımı- orijinal taslak İbrahim Sabuncu: Modelleme, Makale Yazımı-inceleme ve düzenleme*  
*Eda Vardar: Literature Review, Conceptualization, Methodology, Data Curation, Analysis, Writing-original draft İbrahim Sabuncu: 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 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**

Bu çalışma için Yalova Üniversitesi Etik Kurulu'nun 06.11.2024 tarihli ve 2024/265 numaralı kararı ile onay alınmıştır.  
*For this study, the approval of the Ethics Committee of Yalova University was obtained with the decision dated 06.11.2024 and numbered 2024/265.*

#### **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**

- Acar, A.Z., Kara, K. ve Gülsoy, E. (2021). "Tedarik Zinciri Uygulamalarının Otel İşletmelerinin Performansına Etkisi: Bursa İli Örneği", *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 20(78), 569-589. <https://doi.org/10.17755/esosder.718619>
- Baki, R. (2019). "Bilgi Teknolojileri ve Üst Yönetim Desteğinin Tedarik Zinciri Performansına Etkisi: Türkiye İçin Ampirik Bir Yaklaşım", *European Journal of Science and Technology*, (17), 916-926. <https://doi.org/10.31590/ejosat.654828>
- Bıçakçı, P.S. ve Üreten, S. (2017). "Tedarik Zinciri Yönetimi Uygulamalarının Zincir Performansı Üzerindeki Etkileri: Bir Uygulama", *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 19(1), 367-386.
- Bülbül, H., Özçifçi, V. ve Özoğlu, B. (2014). "Tedarik Zinciri Ve İşletme Performansına Bilişim Teknolojilerinin Etkisi", *Niğde Üniversitesi İİBF Dergisi*, 7(1), 95-106.
- Byrd, T. A. and Davidson, N. W. (2003). "Examining Possible Antecedents of IT Impact on The Supply Chain and Its Effect on Firm Performance", *Information and Management*, 41(2), 243-255. [https://doi.org/10.1016/S0378-7206\(03\)00051-X](https://doi.org/10.1016/S0378-7206(03)00051-X)
- Chileshe, M.J. ve Phiri, J. (2022). "The Impact of Supply Chain Management Practices on Performance of Small and Medium Enterprises in Developing Countries: A Case of Agro-Dealers in Zambia", *Open Journal of Business and Management*, 10(02), 591-605. <https://doi.org/10.4236/ojbm.2022.102033>
- Christopher, M. (2016). "Logistics and Supply Chain Management", 5th Edition, Pearson, London.
- Civelek, A. (2016). "Konaklama İşletmelerinde Müşteri İlişkileri Yönetiminin İşletme Performansına Etkisi: 5 Yıldızlı Oteller Üzerine Bir Uygulama", *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 19(2), 233-253.
- Çakmur, H. (2012). "Araştırmalarda Ölçme-Güvenilirlik-Geçerlilik", *TAF Preventive Medicine Bulletin*, 11(3), 339-344. <https://doi.org/10.5455/pmb.1-1322486024>
- Doğanay, A., Ataizi, M., Şimşek, A., Balaban Salı, J. ve Akbulut, Y. (2018). "Sosyal Bilimlerde Araştırma Yöntemleri", Anadolu Üniversitesi Yayınları, Eskişehir.
- Erdem, G. (2013). "Tedarik Zinciri Yönetimi Uygulamalarının Benimsenmesinin, Tedarik Zinciri ve İşletme Performansına Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Çorum.
- Gandhi, A.V., Shaikh, A. ve Sheorey, P.A. (2017). "Impact of Supply Chain Management Practices on Firm Performance: Empirical Evidence From a Developing Country", *International Journal of Retail & Distribution Management*, 45(4), 366-384. <https://doi.org/10.1108/IJRDM-06-2015-0076>
- Güleş, H.K. ve Çağlayan, V. (2003). "İleri İmalat Teknolojileri Kullanımının İşletme Performansına Etkileri: Küçük ve Orta Ölçekli Sanayi İşletmelerinde Bir Uygulama", *Sosyal Ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 3(5), 63-85.
- Güleş, H.K. ve Çağlayan, V. (2010). "Tedarik Zinciri Yönetimi Bağlamında Ürün Yeniliğine Tedarikçi Katılımı", *Niğde Üniversitesi İİBF Dergisi*, 3(1), 30-40.
- Gültekin, A.N. (2022). "Tedarik Zinciri Yönetimi Uygulamalarının Tedarik Zinciri ve İşletme Performansına Etkisi: Konya Otomotiv Yan Sanayi Örneği", Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya.
- Gültekin, A. ve Onuk, M. (2020). "Bursa Otomotiv Sanayisinde İnovasyonun Şirket Performansı Üzerine Etkisini İnceleyen Bir Araştırma", *Journal of Economics and Social Research*, 7(13), 54-65.
- Kadiane, A., Zhang, G. ve Shi, Y. (2023). "Impact of Supply Chain Management Practices on Firm Performance in Developing Economics: An Empirical Study From Cote D'Ivoire Agrifood Companies", *SSRN Electronic Journal*, 1-32. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4335131>
- Kim, S. W. (2009). "An Investigation on the Direct and Indirect Effect of Supply Chain Integration on Firm Performance", *International Journal of Production Economics*, 119(2), 328-346. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.03.007>
- Lee, V.H., Ooi, K.B., Chong, A.Y.L. ve Sohal, A. (2018). "The Effects Of Supply Chain Management on Technological Innovation: The Mediating Role of Guanxi", *International Journal of Production Economics*, 205, 15-29. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.08.025>
- Mentzer, J.T., Dewitt, W., Keebler, J.S., Min, S., Nix, N.W., Smith, C.D. ve Zacharia, Z.G. (2001). "Defining Supply Chain Management", *Journal of Business Logistics*, 22(2), 1-25. <https://doi.org/10.1002/j.2158-1592.2001.tb00001.x>
- Nursyamsiah, S. ve Syah, N.F. (2019). "The Impact of Supply Chain Management Practices and Supply Chain Integration on Company Performance Mediated by Competitive Advantage (Empirical Study on Cabbage Agribusiness in Bandungrejo Village, Magelang, Indonesia)", *Review of Integrative Business and Economics Research*, 8(4), 333-350.
- Özgüner, Z. ve Yıldız, A. (2021). "Tedarik Zinciri Yönetimi Uygulamalarının İşletme Performansına Etkisi: Gaziantep İli Örneği", *Pamukkale Üniversitesi İşletme Araştırmaları Dergisi*, 8(2), 378-402. <https://doi.org/10.47097/piar.996774>
- Padem, H., Konaklı, Z. ve Göksu, A. (2012). "Araştırma Yöntemleri SPSS Uygulamalı", International Burch University Publications, Sarajevo.

- Quynh, D.V.X. ve Huy, N.H. (2018). "Supply Chain Management Practices, Competitive Advantages and Firm Performance: A Case of Small and Medium Enterprises (SMEs) in Vietnam", *Journal of Modern Accounting and Auditing*, 14(3), 136–146. <https://doi.org/10.17265/1548-6583/2018.03.004>
- Saunders, M., Lewis, P. ve Thornhill, A. (2016). "Research Methods for Business Students", 7th Edition, Pearson, Harlow.
- Şahin, H. (2018). "Tedarik Zincirinde Bilgi Paylaşımının İşletme Performansına Etkileri", Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Tabachnick, B.G. ve Fidell, L.S. (2013). "Using Multivariate Statistics", 6th Edition, Pearson, Boston, MA.
- Tan, K.C., Kannan, V.R. ve Handfield, R.B. (1998). "Supply Chain Management: Supplier Performance and Firm Performance", *International Journal of Purchasing & Materials Management*, 34(3), 1-23.
- Tekin, M. ve Öztürk, D. (2020). "Tedarik Zinciri Yönetiminin İşletme Performansı Üzerindeki Etkisi: Gıda Sektöründe Bir Uygulama", *Research Journal of Business and Management*, 7(2), 56-66. <https://doi.org/10.17261/Pressacademia.2020.1198>
- Truong, H.Q., Sameiro, M., Fernandes, A.C., Sampaio, P., Duong, B.A.T., Duong, H.H. ve Vilhenac, E. (2017). "Supply Chain Management Practices and Firms' Operational Performance", *International Journal of Quality & Reliability Management*, 34(2), 176-193. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-05-2015-0072>
- Ungan, M.C. (2011). "En İyi Tedarik Zinciri Uygulamaları ve Bir Saha Çalışması", *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 16(2), 307-322.
- Urk, H. (2016). "Tedarik Zinciri Yönetimi Uygulamalarının Tedarik Zinciri Ve Şirket Performansı Üzerine Etkilerinin Ampirik Analizi", Doktora Tezi, Haliç Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Yıldız, B. ve Çetindaş, A. (2020). "Tedarik Zinciri Entegrasyonunun Firma Performansı Üzerindeki Etkisinde Tedarik Zinciri Esnekliği ve Tedarik Zinciri Çevikliğinin Aracı Rolü", *Verimlilik Dergisi*, 3, 175-199.
- Yıldız, D. (2010). "Müşteri İlişkileri Yönetimi (CRM) Uygulamalarının İşletme Performansına Etkileri ve Bir Uygulama", Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kütahya.
- Zhou, H. ve Li, L. (2020). "The Impact of Supply Chain Practices and Quality Management on Firm Performance: Evidence From China's Small and Medium Manufacturing Enterprises", *International Journal of Production Economics*, 230, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107816>



## Determinants of Financial Performance of Non-Bank Financial Institutions: Factoring Institutions in Türkiye

Bertaç Şakir Şahin<sup>1</sup> 

### ABSTRACT

**Purpose:** Non-bank financial institutions can contribute to the deepening and diversification of financial markets by providing broader access to credit, insurance, and investment services. Additionally, they may support financial stability by offering alternative sources of financing to the traditional banking system. Therefore, examining the role of NBFIs and identifying the determinants of their financial performance can offer valuable insights into the finance literature. This study analyzes the factors influencing the financial performance of factoring companies.

**Methodology:** The Autoregressive Distributed Lag (ARDL) bounds testing approach is employed. The independent variables include banking sector profitability (ROA & ROE), the Turkish lira reference interest rate, and inflation. The dependent variable is the profitability of the factoring sector.

**Findings:** Empirical results indicate no statistically significant relationship between banking sector profitability and the financial performance of factoring firms. However, inflation exerts a negative impact on the sector's profitability.

**Originality:** While the literature has addressed the importance of factoring in financial markets, empirical studies focusing on Türkiye are limited. This research provides country-specific insights into the determinants of factoring firms' performance.

**Keywords:** Financial Markets and Institutions, Financial Performance, Factoring.

**JEL Codes:** G20, G23, M40, M41.

## Banka Dışı Finansal Kuruluşların Finansal Performans Belirleyicileri: Türkiye'deki Faktoring Kuruluşları

### ÖZET

**Amaç:** Banka dışı finansal kurumlar, finansal piyasaların derinleşmesine ve çeşitlenmesine katkı sağlayarak kredi, sigorta ve yatırım gibi hizmetlere daha geniş bir erişim sunabilir. Ayrıca, bu kurumlar ekonomik istikrarı destekleyerek geleneksel bankacılık sistemine alternatif finansman kaynakları yaratabilir ve finansal sistemdeki risklerin dağıtılmasına yardımcı olabilir. Dolayısıyla bu kurumların finansal piyasalardaki konumu ve banka dışı finans kurum performanslarının belirleyicilerinin ortaya konması finans literatürüne katkı sunabilir. Bu çalışmanın amacı banka dışı finansal kurumlardan factoring işletmelerinin finansal performansını etkileyen faktörleri analiz etmektir.

**Yöntem:** Çalışmada ARDL sınır testi uygulanmıştır. Bankacılık sektörü karlılığı, TL referans faizi ve enflasyon bağımsız değişkenlerdir. Faktoring sektörünün karlılığı is bağımlı değişken olarak modele dahil edilmiştir.

**Bulgular:** Ampirik bulgular bankacılık sektörü karlılığı ile factoring sektörünün finansal performansı arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olmadığını gösterir. Enflasyonun factoring şirketlerinin finansal performansı üzerinde olumsuz etkisi mevcuttur.

**Özgünlük:** Literatürde factoring faaliyetlerinin finansal piyasalar için önemi ve factoring şirketlerinin finansal performansının belirleyicileri incelenmiştir. Ancak, Türkiye örneğine ilişkin ampirik bulgular sunan çalışmalar sınırlıdır. Bu çalışma, Türkiye'deki factoring şirketlerinin finansal performansının belirleyicilerini analiz ederek literatüre katkıda bulunmayı amaçlamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Finansal Piyasalar ve Kurumlar, Faktoring, Finansal Performans.

**JEL Kodları:** G20, G23, M40, M41.

<sup>1</sup> Yıldız Technical University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Department of Business Administration, İstanbul, Türkiye

Corresponding Author: Bertaç Şakir Şahin, bertacs@yildiz.edu.tr

DOI: 10.51551/verimlilik.1626476

Research Article | Submitted: 24.01.2025 | Accepted: 18.04.2025

Cite: Şahin, B.Ş. (2025). "Determinants of Financial Performance of Non-Bank Financial Institutions: Factoring Institutions in Türkiye", *Verimlilik Dergisi*, 59(3), 503-512.

## 1. INTRODUCTION

Companies in emerging markets largely rely on debt for financing. In these markets, bank loans are the primary traditional method of borrowing. As a result, this option is typically the preferred way for businesses to address their external financing requirements. Recently, factoring has become increasingly significant as an alternative funding source. This method entails a company acquiring quick funds by either transferring its accounts receivable to a third party or utilizing these receivables as security for a loan (Bilgin and Dinç, 2019).

Factoring originates from the Latin word “factor,” meaning a person who acts on behalf of another. As factoring is a financing method that spans business, law, and economics, it has been defined in various ways. Essentially, factoring is a financial service that provides companies with funding through selling their receivables. It can be described as a financing technique where factoring companies, known as factors, purchase and collect the seller's short-term receivables for a fee or commission. This allows the seller to access financing and benefit from a range of financial services (Özdemir, 2005).

Factoring became widely used worldwide after the cash shortages following the 1973 oil crisis and began to be adopted in Türkiye in the 1980s. Its importance in foreign trade, especially in export transactions, has been growing in recent years. Factoring is primarily a short-term financing method focused on receivables with payment terms of 60 to 180 days (Bağcı and Esmer, 2016).

Compared to bank loans, factoring offers businesses unique advantages, impacting their capital structure and financing costs in distinct ways. Factoring provides short-term funding by converting receivables directly into cash, thus enhancing liquidity and accelerating the business cycle without relying on equity. While bank loans often require collateral and involve lengthy approval processes, factoring is more flexible and typically does not require collateral. This flexibility allows small and medium-sized enterprises, in particular, to reduce their reliance on banks and maintain a more balanced debt-to-equity ratio. Additionally, although factoring fees and commissions are part of the overall financing cost, factoring can often reduce total financing expenses due to lower transaction costs and quicker access to funds than bank loans (Mol-Gómez-Vázquez et al., 2018).

Identifying the factors that influence the financial performance of factoring firms is crucial, especially considering their function as non-bank financial institutions. In contrast to conventional banks, factoring firms offer alternative financing options, mainly through managing accounts receivable, and play a significant role in improving the liquidity of businesses without engaging in direct lending. Gaining insights into these factors can enhance the stability and effectiveness of factoring firms in supporting small and medium-sized enterprises (SMEs) and other businesses. This understanding also aids policymakers and investors in evaluating the resilience and efficiency of factoring firms throughout economic cycles, strengthening their role within the overall financial system (Yıldırım, 2024). Moreover, revealing the relationship between deposit interest rates and banking performance and the financial performance of factoring companies may provide an outlook on financial markets in Türkiye regarding whether factoring is an alternative non-bank financial instrument (Bilgin and Dinç, 2019).

The importance of factoring activities for financial markets and the determinants of financial performance of factoring companies are analyzed in the literature. However, studies analyzing the Turkish sample are limited (Milenkovic-Kerkovic and Dencic-Mihajlov, 2012; Yıldırım, 2024). This study aims to contribute to the literature by analyzing the determinants of the financial performance of the factoring firms in Türkiye. For this purpose, the effect of inflation, banking sector profits, and interest on the ROA and ROE ratios of factoring enterprises in the 01.12.2018-01.08.2024 monthly period is analyzed by the ARDL bounds test. The paper can fill the gap in the literature by revealing the relationship between factoring and the banking sector in Türkiye and the determinants of factoring performance. The contribution of this study to the literature lies not only in its sample selection. The inclusion of the banking sector and the Turkish lira reference interest rate as model variables, as well as the selected analysis period, enhance the originality of the research. Moreover, while the existing literature primarily focuses on the firm-level performance of publicly listed factoring companies, this study provides a sectoral perspective.

This paper is organized as follows: Section 2 discusses theoretical background, Section 3 reviews the literature, Section 4 deals with methodology and data, Section 5 presents the results, and we present the conclusion in Section 6.

## 2. THEORETICAL FRAMEWORK

Factoring is an important source of external financing other than banks. Factoring companies lack the power to collect payments, so they rely on other financial institutions for their funding. This limitation results in a higher financing cost for their customers compared to banks. Nonetheless, factoring expenses can be deducted from taxes, and businesses can control their factoring costs by raising their sale prices. In contrast

to bank loan financing, factoring is not impacted by the crowding-out effect. This effect describes the drive to seek returns that exceed the expenses associated with financial intermediation. Such costs stem from the challenges of obtaining frictionless transactions, as outlined in the Arrow-Debreu model (Burdett et al., 2001).

Factoring companies rely on bank financing, adding to their costs. However, higher returns on factoring reduce the likelihood of a direct crowding-out effect. These firms use specialized expertise rather than trading financial instruments, ensuring reliable financing for clients. An indirect crowding-out effect may occur if public debt yields exceed bank loan rates (Bilgin and Dinç, 2019). Given these benefits, factoring is a popular external financing choice for companies, especially for small and medium-sized enterprises (SMEs), which heavily depend on this type of funding. In contrast, larger companies primarily turn to bank loans due to the flexibility of collateral they provide, whereas factoring is an alternative financing method that is less commonly utilized. These larger firms may consider factoring when they near their bank credit limits or wish to improve their balance sheet presentation. Factoring becomes particularly attractive for large companies once they hit their non-collateralized risk levels, enabling them to balance their higher costs with their additional advantages (Soufani, 2002).

The study analyzes the performance of factoring firms in Türkiye in the context of macroeconomic and banking variables and examines the factors affecting firms' demand for factoring financing. The study findings can be evaluated using several finance theories. Modigliani-Miller theory can provide insights into capital structure decisions within factoring firms, exploring how debt and equity choices affect firm value, especially in a non-banking context where financing structures differ from traditional banks (Marchi et al., 2020). Trade-off Theory examines the balance between debt benefits (e.g., tax shields) and the costs associated with financial distress. It helps explain how factoring firms, as non-banking entities, manage leverage while maintaining flexibility and liquidity (Kalantonis et al., 2021).

Pecking order theory argues that financing through factoring should be considered an option between debt and equity, given that its related costs are intermediate between these two alternatives. Therefore, when companies seek external funding, they first choose to secure a bank loan. After reaching their limit on unsecured credit lines, the additional costs linked to bank debt will rise. Eventually, the factoring expense may match or fall below that of a bank loan. At this juncture, businesses might opt for factoring rather than progressing to their next financing option (equity) within the hierarchy. This approach is followed whenever a firm requires funding from external sources. From this viewpoint, this analysis can propose that factoring holds a place between bank loans and equity financing options within a modified pecking order framework (Myers and Majluf, 1984).

### 3. LITERATURE REVIEW

Due to the development of financial markets, the increase in the volume of international trade, and the role of factoring in financial markets, the literature on factoring is growing. This Section reviews the literature. Non-bank financial institutions have been widely covered in the literature in recent years. Studies examine the contribution of these institutions to economic growth through the diversity of financial instruments and their relationship with the banking sector. Selimler and Kale (2018) compare the non-performing loans of banks and non-bank financial institutions. The findings indicate that banks reduce non-performing loan ratios by selling their receivables to asset management companies. Therefore, banks have an advantage over non-bank financial institutions regarding non-performing loans. Tekin (2021) finds that the financial performance of non-bank financial institutions significantly affects inflation and GDP in Türkiye. Khowaja et al. (2021) emphasize the importance of non-bank financial institutions in financing SMEs. Wang et al. (2023) analyze the impact of customer satisfaction on the performance of non-bank financial institutions. Similarly, Sharma et al. (2020) argue that non-bank financial institutions can contribute to microfinance. Besides, studies emphasize the importance of non-bank financial institutions for fintech (Micu and Micu, 2016; Melnychenko et al., 2020).

Factoring institutions have an important place in the literature on non-bank financial institutions. According to Uyanık (2015), factoring can be defined as follows: "Factoring is the transfer of deferred receivables arising from the sale of goods or services to the assets of the factoring company (factor) with or without return, and whether or not the factor makes financing for these receivables; collection follow-up, keeping receivable records and fulfillment of at least one of the functions of protection against doubtful receivables." Domestic literature analyzes factoring in two dimensions. Some of the studies focus on the use of factoring in international trade. Özdemir (2005) emphasizes the role of factoring in financing foreign trade. Yılmaz (2007) discusses the advantages of factoring in financing tourism enterprises. Eke and Çetiner (2020) refer to the role of factoring in eliminating supplier credit risk in the export process.

A significant part of the domestic literature focuses on the financial performance of factoring companies. Özçelik and Küçükçakal (2019) rank the factoring companies traded in Borsa İstanbul according to their

financial performance using the TOPSIS method. Similarly, using multi-criteria decision-making methods, Özbek (2018) ranks factoring firms traded in Borsa İstanbul according to their financial performance. Selimler and Taş (2019) examine the credit management performance of factoring firms. Empirical findings show that market interest rates negatively affect the credit management performance of factoring firms. İslamoğlu and Kayhan (2013) propose a cumulative cash flow model for factoring firms to demonstrate a more prosperous financial performance. According to the VIKOR method, Lider Faktoring A.Ş. has the best performance in the 2016-2019 period, and Creditwest Faktoring A.Ş. has the best performance in the 2020 period. Bitrak (2023) Analyses the market concentration of the factoring sector in Türkiye. The findings show that the number of factoring companies operating in Türkiye has shown a decreasing trend over the years and the market concentration ratios in the sector have followed a fluctuating downward trend in the 2012-2016 period and a continuously increasing trend in the 2016-2021 period.

Some of the studies on the Turkish sample compare the financial performance of factoring and other non-bank financial institutions. Gülcan (2022) evaluates the financial performance of factoring and financial leasing companies whose shares are traded in Borsa İstanbul. Gürol (2018) compares the financial performances of financial leasing, factoring, and financing institutions from 2014-2016. The findings show that the most successful year of factoring firms was 2015. According to Bektaş (2023), the factors affecting the financial performance of financial leasing and factoring enterprises are shareholders' equity, profit for the period, and operating income.

Limited literature analyzes the factors affecting the financial performance of the factoring sector. Tekin and Yener (2020) Analyze the macro factors affecting the profitability performance of non-bank financial institutions in Türkiye. Empirical findings. Shows the significant impact of GDP, interest rates, and inflation on profitability ratios. Çetinceli et al. (2018) examine the performance of non-bank financial institutions with Modified Digital Logic (Mdl) Based Gray Related Analysis. The results show that factoring was the sector that developed the most during the analysis period. The reason for the result is the collaborations and regulations in the sector. Şeker (2022) finds that leverage ratios of non-bank financial institutions have a statistically significant effect on their profitability performance.

The international literature investigates the financial performance of factoring in a broader context. Koch (2015) measures the impact of shareholder groups on the profitability of factoring organizations. According to the empirical findings, the profitability of factoring companies is largely influenced by the size of the company and shareholders, and the factoring company with financial ownership is less profitable than the factoring company without financial ownership. Fiordelisi and Molyneux (2004) analyze the efficiency of the Italian factoring sector using data envelopment analysis. The findings indicate significant cost-saving opportunities within the Italian factoring industry, with average cost inefficiencies ranging from 14% to 22% between 1993 and 1997. These inefficiencies are primarily attributed to allocative inefficiencies rather than technical ones. Degl'Innocenti et al. (2020) examine the relationship between competition and stability in the factoring and banking sectors. The results indicate three conclusions: 1) On average, factoring companies exhibit more excellent stability than banks; 2) The stability of factoring companies tends to rise as competition diminishes (competition-vulnerability perspective); 3) The competition-vulnerability perspective is less pronounced in the factoring industry compared to the banking sector.

The literature on factoring emphasizes its effectiveness as a financing alternative to traditional banks. Ivanovic et al. (2011) contend that factoring can assist businesses in achieving liquidity during periods of financial management and crises. Soufani (2002) examines the various aspects of factoring utilization in the UK, based on a survey conducted with 3,805 companies, out of which 212 made use of factoring services. The results indicate that numerous factors play a significant role in firms' choices to adopt factoring for working capital financing and to enhance cash flow. Nevertheless, factoring is still a financial option not available to everyone. Klapper (2006) finds that factoring is more common in countries that exhibit greater economic development, growth, and well-established credit information systems. "Reverse factoring" can mitigate the problem of informational opacity for borrowers by factoring only the receivables from reputable buyers. The reverse factoring initiative by Nafin in Mexico exemplifies this strategy. Al-Zaqeba et al. (2022) argue the vital role of reverse factoring in supply chain financing.

Studies analyzing the factors affecting the performance of the factoring sector are limited. This study analyses the financial and macroeconomic variables affecting the factoring sector and discusses the determinants of the factoring sector and its role as an alternative to banks. The study is unique in its subject, period of analysis, and methodology. This study enhances the limited literature that provides a sectoral perspective on the financial performance of factoring companies in Türkiye. In addition, the broad analysis period and unique model are other elements that contribute to the study's originality.

#### 4. DATA and METHODOLOGY

The study analyses the effect of TL Reference Interest Rate, banking sector profitability, and inflation on factoring sector financial performance. ARDL bounds test is applied to the data for the monthly period 01.12.2018-01.08.2024. Profitability is a proxy of the financial performance of factoring. Average financial performance data of factoring companies and average profitability data of the banking sector are obtained from the Banking Regulation and Supervision Agency. Inflation and TL Reference Interest Rate data can be accessed from Investing. Rediscount interest rates of the Central Bank are obtained from the Electronic Data Distribution System. Table 1 presents the variable list.

**Table 1. Variable list**

| <i>Variable Name</i>       | <i>Abbreviations</i> | <i>Definition</i>                                                                            |
|----------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Banking Return on Assets   | BROA                 | Net Income / Average Total Assets (%)                                                        |
| Banking Return of Equity   | BROE                 | Net Income / Average Shareholder's Equity (%)                                                |
| TL Reference Rate          | TLREF                | It is a benchmark interest rate for financial institutions and real sector firms in Türkiye. |
| Inflation                  | INF                  | The consumer price index.                                                                    |
| Factoring Return on Assets | FROA                 | Net Income / Average Total Assets (%)                                                        |
| Factoring Return of Equity | FROE                 | Net Income / Average Shareholder's Equity (%)                                                |

ARDL bound test is applied to analyze the determination of factoring performance. The primary benefit of this approach is its flexibility in accommodating variables with varying degrees of stationarity in the study. However, the ARDL model cannot be used on stationary variables at the second level. This method presents a new approach to testing for the existence of a relationship between all variables in levels, which is applicable irrespective of whether the underlying regressors are purely  $I(0)$ , purely  $I(1)$ , or mutually cointegrated (Pesaran et al., 2001; Pesaran and Shin, 1999). Using an unrestricted error correction model increases the reliability of ARDL model outputs. Another notable feature of the ARDL model is that it may be applied to smaller sample sizes (Narayan and Smyth, 2005). The ARDL bounds test comprises three fundamental phases. In the initial phase, the cointegrating relationship among the variables is assessed. If cointegration is detected, the analysis proceeds to investigate both the long and short-term relationships (Gülmez, 2015).

#### 5. EMPIRICAL RESULTS

The study analyses the effects of bank profitability, TL reference interest rate, and inflation on the financial performance of factoring companies. Table 2 gives descriptive statistics for the variables. Two models analyse the factoring sector's ROA and ROE.

**Table 2. Descriptive statistics**

|           | <i>FROA</i> | <i>FROE</i> | <i>BROA</i> | <i>BROE</i> | <i>INF</i> | <i>TLREF</i> |
|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|--------------|
| Mean      | 2.88        | 16.37       | 1.32        | 12.56       | 2.71       | 20.65        |
| Max.      | 8.62        | 57.22       | 4.85        | 49.92       | 13.58      | 52.99        |
| Min.      | 0.31        | 1.43        | 0.09        | 0.72        | -0.40      | 7.86         |
| Std. Dev. | 1.96        | 13.42       | 1.11        | 11.58       | 2.63       | 12.82        |
| Obs.      | 69          | 69          | 69          | 69          | 69         | 69           |

The ARDL bounds test is applicable for stationary variables evaluated at their level or first difference. Therefore, a unit root test is conducted. The findings of the unit root tests, including the Augmented Dickey-Fuller and Phillips Perron tests, are illustrated in Table 3. According to these results, all variables demonstrate stationarity at the first level or difference.

**Table 3. Unit root tests**

|       | <i>ADF</i>   |                       | <i>PP</i>    |                       |
|-------|--------------|-----------------------|--------------|-----------------------|
|       | <i>Level</i> | <i>1. Differences</i> | <i>Level</i> | <i>1. Differences</i> |
| FROA  | -3.09**      | -9.54**               | -3.10**      | -8.68***              |
| FROE  | -2.83*       | -7.74***              | -2.84*       | -8.65***              |
| BROA  | -3.26**      | -8.70***              | -3.36**      | -9.01***              |
| BROE  | -3.20**      | -8.81***              | -3.27**      | -9.15***              |
| INF   | -4.01***     | -8.44***              | -4.02***     | 15.73***              |
| TLREF | -0.48        | -2.31**               | 0.74         | -6.74***              |

Note: \*, \*\*, and \*\*\* indicate the significance at the 10, 5, and 1% levels, respectively.

Table 4 presents the ARDL models. When determining the ARDL model, the lag length is calculated using the Akaike Information Criterion. The ARDL model's lag length is (1,8,2,8,4) for Model 1, and (1,8,2,6,3) for Model 2.

**Table 4. ARDL models**

| Models  | F Statistic | Critical Values | Lower Limit | Upper Limit |
|---------|-------------|-----------------|-------------|-------------|
| Model 1 | 4.55        | 10%             | 1.9         | 3.01        |
|         |             | 5%              | 2.26        | 3.48        |
|         |             | 1%              | 3.07        | 4.44        |
| Model 2 | 5.29        | 10%             | 1.9         | 3.01        |
|         |             | 5%              | 2.26        | 3.48        |
|         |             | 1%              | 3.07        | 4.44        |

The F statistics of both models are above the critical values. The models are significant. Table 5 shows the long-run coefficients. The findings indicate that bank profitability has no significant effect on the ROA of the factoring sector. Inflation has a negative effect on the ROA of the factoring sector, while TL reference interest rate has a positive effect. Only inflation has a negative effect on the ROE of the factoring sector. In addition, the existence of short-term deviations from the long-run relationship can also be examined with the help of the error correction model. However, since the study aims to reveal long-run relationships, the error correction model is not included in the scope of the study.

**Table 5. Long term coefficients**

| Independent Variables | Dependent Variable: FROA |         | Dependent Variable: FROE |         |
|-----------------------|--------------------------|---------|--------------------------|---------|
|                       | Coefficients             | P-Value | Coefficients             | P-Value |
| BROA                  | 0.00                     | 0.99    | -2.86                    | 0.85    |
| BROE                  | 0.24                     | 0.27    | 2.16                     | 0.18    |
| INF                   | -0.60                    | 0.00*** | -3.33                    | 0.00*** |
| TLREF                 | 0.09                     | 0.00*** | 0.13                     | 0.10    |

Note: \*\*\*, \*\*, and \* indicate statistical significance at 1, 5, and 10 percent significance level, respectively.

Table 6 shows the results of heteroskedasticity, autocorrelation, and normality tests. Probability values are above 5%. Therefore, there are no problems of heteroskedasticity, autocorrelation, or normality in the models. The model's structural break is examined using the CUSUM test. According to Figure 1, there is no structural break in the models.

**Table 6. Heteroscedasticity, serial correlation, and normality**

|                       | Model 1      |         | Model 2      |         |
|-----------------------|--------------|---------|--------------|---------|
|                       | Coefficients | P-Value | Coefficients | P-Value |
| Breusch-Pagan-Godfrey | 21.99        | 0.73    | 24.19        | 0.45    |
| Breusch- Godfrey-LM   | 2.66         | 0.26    | 1.41         | 0.49    |
| Jarque-Bera           | 11.44        | 0.13    | 4.66         | 0.10    |

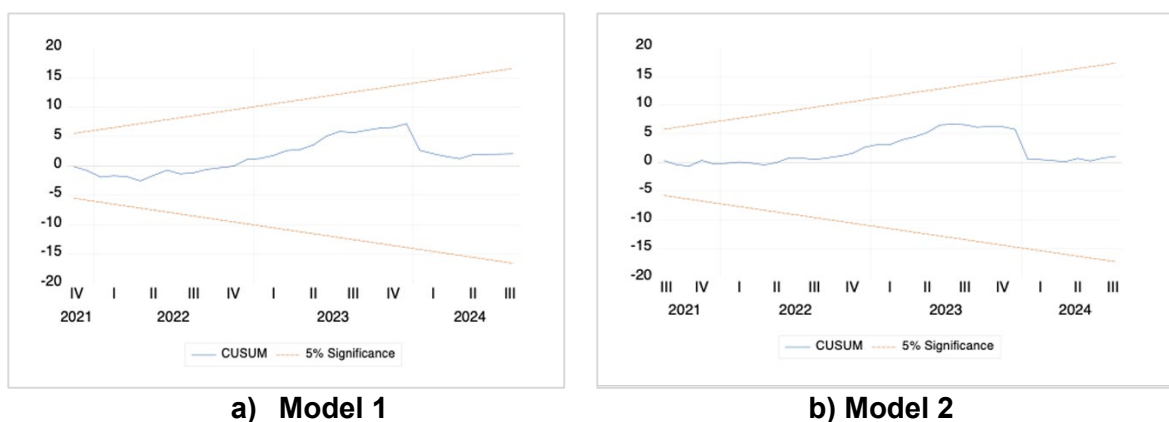


**Figure 1. CUSUM tests for Model 1 and Model 2**

The analysis results indicate that there is no significant correlation between the profitability of the banking sector and that of factoring. Existing literature includes studies highlighting factoring as a substitute for traditional banking and comparing the two sectors (Bilgin and Dinç, 2019; Degl'Innocenti et al., 2020). However, no study has presented empirical findings on the financial performance of the banking and factoring sectors. The findings are unique to the literature. The observation that the banking sector's

profitability does not significantly impact the profitability of the factoring sector underscores the unique operational characteristics and market functions of factoring as a non-bank financial institution. In contrast to banks, which mainly depend on interest income, factoring companies earn revenue through the sale and management of accounts receivable, making their profitability less dependent on conventional banking operations. This autonomy highlights the stability of the factoring sector in the face of banking industry fluctuations. It illustrates its distinct value proposition in offering liquidity and credit management solutions, especially to businesses that may not qualify for banks' rigorous lending requirements. This finding highlights factoring's function as a supportive yet independent entity within the financial ecosystem, addressing specific needs with minimal dependence on the performance of the banking sector (Goddard and Wilson, 2009).

Inflation has a negative effect on the profitability of the factoring sector. This finding is consistent with the literature that finds a significant effect of inflation on factoring (Tekin and Yener, 2020). Inflation may negatively impact the profitability of the factoring sector by increasing operational costs and reducing the actual value of receivables. As inflation rises, administrative expenses, such as employee wages, technology costs, and other overheads, erode profit margins. Additionally, the real purchasing power of the amounts recovered from factored receivables diminishes over time, particularly if payment terms are extended. High inflation may also lead to increased default risks among clients as businesses struggle with rising costs and declining profit margins, which can further impair the factoring firm's financial performance. Moreover, inflation often leads to higher interest rates, increasing the cost of funds for factoring firms that rely on borrowing to finance their operations, further squeezing profitability (Abreu and Mendes, 2001).

Interest rates positively influence factoring ROE. This result supports the studies in the domestic literature (Selimler and Taş, 2019; Tekin and Yener, 2020). The positive effect of interest rates on the return on equity (ROE) of factoring firms can be attributed to the nature of their revenue model, which often incorporates interest-like fees on advances provided against receivables. When interest rates rise, factoring firms can adjust their pricing to reflect the increased cost of funds, thereby maintaining or even enhancing their profit margins. Higher interest rates may also make traditional bank loans less attractive to businesses, driving more clients towards factoring as a flexible financing alternative. This increased demand for factoring services can result in higher revenues and improved operational efficiency, ultimately boosting ROE. As non-bank financial institutions, factoring firms are well-positioned to capitalize on these market dynamics by leveraging their expertise in receivables management and liquidity provision (Selimler and Taş, 2019).

## 6. CONCLUSION

This study seeks to identify the factors influencing the financial performance of the factoring sector within non-bank financial institutions. In addition, the impact of the financial performance of the banking sector on the factoring sector is also one of the subjects of the study. For this purpose, the impact of banking sector profitability, TL reference rate, and inflation on factoring sector profitability is analyzed by the ARDL bounds test. The findings show the negative effect of inflation on factoring profitability and the positive effect of TL reference interest rate on factoring profitability. Moreover, profitability in the banking sector has no significant effect on factoring profitability.

The finding that banking sector profitability does not affect the profitability of the factoring sector carries important implications for researchers, policymakers, and factoring firms. For researchers, this outcome underscores the necessity of investigating the factors that drive performance in the factoring sector, highlighting its distinction from traditional banking influences and the significance of alternative financial ecosystems. Policymakers may view this as an indication of the factoring sector's resilience and potential to serve as a complementary service to banking, suggesting the need for tailored regulatory frameworks that foster its growth while addressing systemic risks. This independence presents an opportunity for factoring firms to carve out unique value propositions by focusing on niche markets and providing innovative financial solutions, particularly to underserved businesses.

The adverse impact of inflation on the profitability of the factoring sector carries significant implications for researchers, policymakers, and factoring firms. For researchers, this finding underscores the necessity for additional studies examining how inflation influences non-bank financial institutions in contrast to traditional banks and the identification of adaptive strategies that can mitigate these effects. Policymakers should take into account the pressures inflation places on factoring firms when formulating monetary and regulatory policies, ensuring these institutions have access to affordable funding and mechanisms to stabilize operations during inflationary periods. Furthermore, for factoring firms, these implications highlight the importance of implementing dynamic pricing strategies to respond to inflationary pressures, establishing robust risk management practices to address heightened default risks, and enhancing operational efficiencies to control increasing costs.

The positive relationship between interest rates and the profitability of the factoring sector has significant implications for researchers, policymakers, and factoring firms. For researchers, this finding highlights the necessity of examining the mechanisms by which interest rate fluctuations impact the pricing, demand, and financial strategies of factoring firms, thereby distinguishing their performance from that of traditional lenders. Policymakers can interpret this as evidence of the sector's capacity to prosper in high-interest environments, suggesting the importance of implementing supportive regulations that facilitate the efficient provision of liquidity to businesses while effectively managing associated risks. For factoring firms, this relationship emphasizes the critical need to adapt their pricing models to align with interest rate changes in order to optimize profitability while leveraging their inherent flexibility to attract clients who may be deterred by elevated borrowing costs from traditional banks.

This study has some limitations. From data availability, the period of the study covers the period 01.12.2018-01.08.2024. Future studies may examine a wider analysis period. In addition, future studies can divide the analysis period into special periods such as high inflation, high interest rates. Analyses of non-financial variables can also contribute to the literature.

### **Conflict of Interest**

No potential conflict of interest was declared by the author.

### **Funding**

This study received no funding from any governmental, commercial or non-profit organisation.

### **Compliance with Ethical Standards**

It was declared by the author 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

- Abreu, M. and Mendes, V. (2001). "Commercial Bank Interest Margins and Profitability: Evidence for Some EU Countries", *Pan-European Conference*, 34(2), 17-20, Thessaloniki, Greece.
- Al-Zaqeba, M., Jarah, B.A.F., Al-Bazaiah, S.A.I., Malahim, S.S., Hamour, A.M.A., Alshehadeh, A.R. and Al-Khawaja, H.A. (2022). "The Effect of Reverse Factoring Financial Changes on Supply Chain", *Uncertain Supply Chain Management*, 10(4), 1331-1338. <https://doi.org/10.5267/j.uscm.2022.7.006>
- Bağcı, H. and Esmer, Y. (2016). "PROMETHEE Yöntemi ile Faktoring Şirketi Seçimi", *Beykent Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 9(2), 116-129. <https://doi.org/10.18221/bujss.14955>
- Bektaş, S. (2023). "BİST Finansal Kiralama ve Faktoring (XFINK) Endeksinde Bulunan Şirketlerin Finansal Performanslarının ÇKKV Yöntemleri ile Değerlendirilmesi", *Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 25(Özel Sayı), 1-22. <https://doi.org/10.26468/trakyasobed.1219829>
- Bitrak, O.O. (2023). "Banka Dışı Finansal Kurumlarda Piyasa Yapısı: Faktoring Sektörünün Piyasa Yoğunlaşma Analizi", *Abant Sosyal Bilimler Dergisi*, 23(2), 1114-1128. <https://doi.org/10.11616/asbi.1268285>
- Bilgin, R. and Dinc, Y. (2019). "Factoring as a Determinant of Capital Structure for Large Firms: Theoretical and Empirical Analysis", *Borsa İstanbul Review*, 19(3), 273-281. <https://doi.org/10.1016/j.bir.2019.05.001>
- Burdett, K., Shi, S. and Wright, R. (2001). "Pricing and Matching with Frictions", *Journal Of Political Economy*, 109(5), 1060-1085. <https://doi.org/10.1086/322835>
- Çetinceli, K., Ömürbek, V. and Aksoy, E. (2018). "Finansal Kurumların Modifiye Edilmiş Dijital Mantık (Mdl) Temelli Gri İlişkisel Analiz ile Performans Değerlendirmesi", *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 23(2), 425-438.
- Degl'Innocenti, M., Fiordelisi, F. and Trinugroho, I. (2020). "Competition and Stability in the Credit Industry: Banking vs. Factoring Industries", *The British Accounting Review*, 52(1), 100831. <https://doi.org/10.1016/j.bar.2019.03.006>
- Eke, S. and Çetiner, M. (2020). "İhracatta Tedarikçi Kredi Riskinin Garanti Altına Alınmasında Faktoring, İhracat Artışına ve Ekonomik Büyümeye Desteği", *Finans Ekonomi ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 5(2), 288-301. <https://doi.org/10.29106/fesa.730637>
- Fiordelisi, F. and Molyneux, P. (2004). "Efficiency in the Factoring Industry", *Applied Economics*, 36(9), 947-959. <https://doi.org/10.1080/00036884042000233177>
- Goddard, J. and Wilson, J.O. (2009). "Competition in Banking: A Disequilibrium Approach", *Journal of Banking & Finance*, 33(12), 2282-2292. <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2009.06.003>
- Gülcan, N. (2022). "Finansal Kiralama ve Faktoring Şirketlerinin Finansal Performans Değerlendirmesinde VIKOR Yönteminin Uygulanması", *Ekonomi Politika ve Finans Araştırmaları Dergisi*, 7(Özel Sayı), 235-247. <https://doi.org/10.30784/epfad.1148935>
- Gülmez, A. (2015). "Türkiye'de Dış Finansman Kaynakları Ekonomik Büyüme İlişkisi: ARDL Sınır Testi Yaklaşımı", *Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 11(2), 139-152.
- Gürol, B. (2018). "Faktoring, Finansal Kiralama ve Leasing Sektörlerinin Performanslarının TOPSİS Yöntemi ile Ölçülmesi: Türkiye Karşılaştırması", *Başkent Üniversitesi Ticari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 2(2), 61-73.
- İslamoğlu, M. and Kayhan, F. (2013). "Türk Faktoring Sektöründe Finansman ve Nakit Yönetiminin Yapısı: Kümülatif Nakit Akış Modeli Önerisi", *Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 9(9), 171-187.
- Ivanovic, S., Baresa, S. and Sinisa, B. (2011). "Factoring: Alternative Model of Financing", *UTMS Journal of Economics*, 2(2), 189-206.
- Kalantonis, P., Kallandranis, C. and Sotiropoulos, M. (2021). "Leverage and Firm Performance: New Evidence on the Role of Economic Sentiment Using Accounting Information", *Journal of Capital Markets Studies*, 5(1), 96-107. <https://doi.org/10.1108/JCMS-10-2020-0042>
- Khowaja, I.A., Talpur, U., Soomro, S.H. and Khan, M.S. (2021). "The Non-Banking Financial Institutions in Perspective of Economic Growth of Pakistan", *Applied Economics Letters*, 28(8), 701-706. <https://doi.org/10.1080/13504851.2020.1771266>
- Klapper, L. (2006). "The Role of Factoring for Financing Small and Medium Enterprises", *Journal of banking & Finance*, 30(11), 3111-3130. <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2006.05.001>
- Koch, S. (2015). "Effects of Shareholder Groups on the Factoring Institutions Profitability: Evidence from Germany", *International Journal of Economics and Finance*, 7(11), 39-51. <https://doi.org/10.5539/ijef.v7n11p39>
- Marchi, B., Zanoni, S. and Jaber, M.Y. (2020). "Improving Supply Chain Profit Through Reverse Factoring: A New Multi-Suppliers Single-Vendor Joint Economic Lot Size Model", *International Journal of Financial Studies*, 8(2), 23. <https://doi.org/10.3390/ijfs8020023>
- Melnychenko, S., Volosovych, S. and Baraniuk, Y. (2020). "Dominant Ideas of Financial Technologies in Digital Banking", *Baltic journal of Economic Studies*, 6(1), 92-99. <https://doi.org/10.30525/2256-0742/2020-6-1-92-99>

- Micu, I. and Micu, A. (2016). "Financial Technology (Fintech) and its Implementation on the Romanian Non-Banking Capital Market", *SEA-Practical Application of Science*, 11, 379-38.
- Milenkovic-Kerkovic, T. and Dencic-Mihajlov, K. (2012). "Factoring in the Changing Environment: Legal and Financial Aspects", *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 44, 428-435. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.05.047>
- Mol-Gómez-Vázquez, A., Hernández-Cánovas, G. and Koëter-Kant, J. (2018). "Legal and Institutional Determinants of Factoring in SMEs: Empirical Analysis across 25 European Countries", *Journal of Small Business Management*, 56(2), 312-329. <https://doi.org/10.1111/jsbm.12260>
- Myers, S.C. And Majluf, N.S. (1984). "Corporate Financing and Investment Decisions When Firms Have Information That Investors Do Not Have", *Journal of Financial Economics*, 13(2), 187-22. [https://doi.org/10.1016/0304-405X\(84\)90023-0](https://doi.org/10.1016/0304-405X(84)90023-0)
- Narayan, P.K. and Smyth, R. (2005), "Trade Liberalization and Economic Growth in Fiji: An Empirical Assessment Using the ARDL Approach", *Journal of The Asia Pacific Economy*, 10(1), 96-115. <https://doi.org/10.1080/1354786042000309099>
- Özbek, A. (2018). "BİST'te İşlem Gören Faktoring Şirketlerinin Mali Yapılarının Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri İle Değerlendirilmesi", *Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, 25(1), 29-53. <https://doi.org/10.18657/yonveek.306188>
- Özçelik, H. and Küçükçakal, Z. (2019). "BİST'de İşlem Gören Finansal Kiralama ve Faktoring Şirketlerinin Finansal Performanslarının TOPSIS Yöntemi İle Analizi", *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, (81), 249-270. <https://doi.org/10.25095/mufad.510675>
- Özdemir, Z. (2005). "Dış Ticaret Finansman Tekniklerinden Faktoring ve Forfaiting İşlemleri" *Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (10), 194-224.
- Pesaran, M. and Shin, Y. (1999). "An Autoregressive Distributed Lag Modeling Approach to Cointegration Analysis" *Econometrics and Economic Theory in the 20th Century: The Ragnar Frisch centennial Symposium*, (Editor: S. Strom), Cambridge University Press.
- Pesaran, M.H., Shin, Y. and Smith, R.J. (2001). "Bounds Testing Approaches to the Analysis of Level Relationships", *Journal of Applied Econometrics*, 16(3), 289-326. <https://doi.org/10.1002/jae.616>
- Şeker, K. (2022). "Banka Dışı Mali Kuruluşlarda Sermaye Yapısı ile Karlılık Arasındaki İlişkinin Panel Veri Yöntemi ile Analizi", *Turkish Business Journal*, 3(6), 65-86. <https://doi.org/10.51727/tbj.1190143>
- Selimler, H. and Kale, S. (2018). "Banka ve Finansal Kurumların Krediler ve Sorunlu Krediler Açısından Karşılaştırılması", *Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 40(2), 274-295. <https://doi.org/10.14780/muiibd.511032>
- Selimler, H. and Taş, C.. (2019). "Finansman, Faktoring ve Leasing Şirketlerinin Kredi Yönetim Performansının Topsis Yöntemi İle Değerlendirilmesi:(2015–2018)", *Finans Ekonomi ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 4(3), 286-306. <https://doi.org/10.29106/fesa.595430>
- Sharma, A., Rastogi, S. and Gupta, N. (2020). "Financial Efficiency of Non–Banking Financial Companies-Microfinance Institutions: A Data Envelopment Analysis", *Test Engineering and Management*, 83(5/6), 9080-9091.
- Soufani, K. (2002). "On the Determinants of Factoring as a Financing Choice: Evidence From the UK", *Journal of Economics and Business*, 54(2), 239-252. [https://doi.org/10.1016/S0148-6195\(01\)00064-9](https://doi.org/10.1016/S0148-6195(01)00064-9)
- Tekin, B. (2021). "Türkiye'de Banka Dışı Finansal Kuruluşların Finansal Göstergelerinin Ekonomik Büyüme ve Enflasyon Üzerine Etkileri", *ETÜ Sentez İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, (5), 51-72.
- Tekin, B. And Yener, E. (2020). "Banka Dışı Finansal Kurumlarda Karlılık Oranlarını Etkileyen Makro ve Mikro Düzeydeki Faktörler", *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, (58), 1-34. <https://doi.org/10.18070/erciyesiibd.703499>
- Uyanık, R. (2015). "Dünyada ve Türkiye'de Faktoring Tanımı", *Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 2(3), 23-40.
- Wang, C.K., Masukujjaman, M., Alam, S. S., Ahmad, I., Lin, C.Y. and Ho, Y.H. (2023). "The Effects of Service Quality Performance on Customer Satisfaction for Non-Banking Financial Institutions in an Emerging Economy", *International Journal of Financial Studies*, 11(1), 33. <https://doi.org/10.3390/ijfs11010033>
- Yıldırım, H. (2024). "Factoring Sector in Türkiye: General Overview and Evaluation of Factoring Companies' Financial Performance by Multi-Criteria Decision-Making Techniques", *Politik Ekonomik Kuram*, 8(2), 277-302. <https://doi.org/10.30586/pek.1419202>
- Yılmaz, H. (2007). "Turizm Sektörü Kobilerinin Finansman Sorunlarının Diğer Sektörlerle Karşılaştırmalı Analizi: Bodrum Örneği", *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, 33, 162-170.

## A Framework for the Selection of Material Handling Equipment Using Fuzzy FUCOM: A Case Study in the Automotive Industry

Damla Çevik Aka<sup>1</sup> 

### ABSTRACT

**Purpose:** The selection of material handling equipment is a strategic decision for companies, as it requires significant capital and affects operational efficiency. In the design of an operational industrial system, the decision to select the most appropriate equipment should consider multiple competitive criteria together. This research aims to provide a systematic method for prioritizing the criteria involved in the selection of MHE for assembly lines in the automotive sector.

**Methodology:** This paper presents an application based on a real problem in a bus manufacturing plant. To gain insight into the experience and knowledge of the experts, the study was conducted from a phenomenological perspective and involved nine experts from different departments. The experts' evaluations were analysed via F-FUCOM.

**Findings:** Research results show that the purchase cost, loading and unloading speed of equipment and adaptability of equipment to plants are the three most important factors in the selection of material handling equipment.

**Originality:** In the automotive sector, expert opinion is rarely used in material handling equipment selection, and no case study on truck production exists in the literature, making this study an original contribution. In addition, the research is significant for its simultaneous evaluation of 14 criteria and the inclusion of insights from experts with diverse experiences.

**Keywords:** Material Handling Equipment, Automotive Industry, Equipment Adaptability, Strategic Equipment Selection, FUCOM.

**JEL Codes:** L62, M11, O32.

## Bulanık FUCOM Kullanılarak Malzeme Taşıma Ekipmanı Seçimi için Bir Çerçeve: Otomotiv Endüstrisinde Bir Vaka Çalışması

### ÖZET

**Amaç:** Malzeme elleçleme ekipmanları seçimi önemli bir sermaye gerektirdiği ve operasyonel verimliliği etkilediği için firmalar için stratejik bir karardır. Operasyonel bir endüstriyel sistemin tasarımında en uygun ekipman seçimi kararı için birçok rekabetçi kriterler birlikte değerlendirilmelidir. Bu çalışma, otomotiv sektöründeki montaj hatlarında kullanılacak malzeme elleçleme ekipmanlarının seçimine ilişkin kriterleri önceliklendirmek için sistematik bir yöntem sunmayı amaçlar.

**Yöntem:** Makalede otobüs üretim tesisindeki malzeme elleçleme sistemiyle ilgili gerçek dünya problemine dayalı bir uygulama sunulur. Uzmanların deneyimlerini ve tercihlerini anlamaya yönelik olarak, araştırma "fenomenoloji" bakış açısıyla yürütülmüş ve dokuz uzman üretimdeki farklı departmanlardan seçilmiştir. Uzmanların kriterlere yönelik değerlendirmeleri bulanık FUCOM ile analiz edilmiştir.

**Bulgular:** Çalışma bulguları, otomotiv sektöründe faaliyet gösteren üreticinin malzeme elleçleme ekipmanı seçim kararında satın alma maliyetinin, ekipmanın yüklü veya yüksüz hızının ve sisteme uyarlanabilir olmasının en belirleyici ilk üç faktör olduğunu göstermektedir.

**Özgünlük:** Çalışma otomotiv sektöründeki firmaların verimli bir üretim akışında gerekli malzeme elleçleme ekipmanı seçimini etkileyen kriterleri çok kriterli karar verme yaklaşımı ile değerlendirme imkânı sunmaktadır. Ayrıca 14 kriteri eş zamanlı değerlendirmesi ve farklı tecrübedeki uzmanların bilgilerine yer vermesi açısından araştırmanın önemli olduğu düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Malzeme Elleçleme Ekipmanı, Otomotiv Endüstrisi, Ekipman Uyarlanabilirliği, Stratejik Ekipman Seçimi, FUCOM.

**Jel Kodları:** L62, M11, O32.

<sup>1</sup> Kırklareli University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Department of Business Administration, Kırklareli, Türkiye

Corresponding Author: Damla Çevik Aka, damlacevik@sakarya.edu.tr

DOI: 10.51551/verimlilik.1575633

Research Article | Submitted: 29.10.2024 | Accepted: 03.05.2025

Cite: Çevik Aka, D. (2025). "A Framework for the Selection of Material Handling Equipment Using Fuzzy FUCOM: A Case Study in the Automotive Industry", *Verimlilik Dergisi*, 59(3), 513-530.

## 1. INTRODUCTION

In the highly competitive automotive sector, customer demands are constantly increasing. Manufacturers seeking to respond to changes in consumer behaviour activate specific applications with new material choices, new designs or changes in business methods. The need to customize and change products frequently requires manufacturers to develop more flexible and adaptable production systems. Significant developments in automation technologies, changes in product portfolios and changes in plant design in the automotive sector have made equipment selection critical for manufacturers. Equipment used for different purposes must be considered and evaluated according to many criteria. Automotive production lines move raw materials, materials, parts and products in a continuous flow of assembly. Assembly systems are typically arranged in lines consisting of different workstations. Conveyors or other transport systems are very important in moving parts in the assembly of cars, buses, tractors, trucks and other vehicles. Products are processed along assembly lines and moved to the next station. In this sector, where the number of parts and processes is high, many materials and processes need to be considered when managing operations. Minimizing the number of processes and limiting the movement of objects in continuous production lines is critical to success. This focus is essential for companies seeking to improve efficiency, particularly in optimizing production functions. Removing unnecessary processes and movements in production processes minimizes time losses in terms of efficiency. This efficiency-focused change supports processes becoming more fluid by reducing bottlenecks in production lines.

Automated material handling equipment is an integral part of automated production systems in any industry. Especially in the automotive industry, where assembly is intensive, many situations require material handling, such as moving parts from one location to another and assembling them with other components. On the other hand, material handling is actively employed in various production facilities, ranging from textile and food manufacturers to the automotive and furniture sectors. In recent years, factories have increasingly favoured more advanced vehicles than traditional vehicles, such as forklifts, cranes, and conveyors (Hellman et al., 2019). Automated guided vehicles (AGVs) stand out as vehicles. AGVs are computer-controlled vehicles that rely on software and sensor technologies for movement, feature reliable smart systems, and operate without an operator. Owing to the more intensive use of these technologies in recent years, the need for research on this subject has become significant. AGVs have gained importance as smart material handling equipment that can easily adapt to the changing conditions of production systems (Agarwal and Bharti, 2022). Since material handling equipment (MHE) and AGVs contribute to the maximum cycle time in a production process (Zhe et al., 2017), selecting the most appropriate equipment is essential.

Owing to the continuous change in materials and products in the sector, the most suitable and flexible technologies should no longer be seen as a need but rather as a necessity. In facilities with high levels of automation, significant efforts are needed to develop technologies grounded in systems engineering (Skibniewski and Zavadskas, 2013). In the automotive industry, where material handling is often a cost-intensive activity, it is essential to evaluate transportation time, quantity, movements, and frequency. Consequently, selecting the most suitable material handling equipment for the task is necessary. Accurately identifying the appropriate MHE is critical for an operational production system. Selecting the most suitable equipment includes decisions aimed at reducing transportation distances, increasing transportation capacities, and improving space utilization in the facility (García-Cáceres et al., 2022).

Evaluating the situations that affect such a significant decision for manufacturers has also attracted the attention of some researchers. Researchers have conducted studies to address material handling challenges in production and to recommend the most suitable equipment for the production system. In the literature, research on material handling equipment has focused primarily on the equipment selection problem (Saputro et al., 2015). In a recent comprehensive literature review by Zolfani et al. (2023), they noted serious research and knowledge gaps in the literature and practice. It is known that in the automotive sector, the expert opinions are less common in making material handling equipment selection decisions compared to other sectors. However, there is a remarkable lack of case studies in the literature on truck production, which is one of the cornerstones of logistics systems. As a result of the literature review, no case studies addressing truck production processes were encountered. In this context, this study offers an original contribution in terms of case studies on truck production.

A review of existing studies reveals that researchers often focus on a limited set of criteria. Owing to the large number of criteria used in equipment selection, decision-making processes are costly and time-consuming (Goswami and Behera, 2021). For this purpose, the studies remain within a limited scope. Owing to the need to evaluate many criteria in equipment selection, material handling problems can be examined as multicriteria decision-making (MCDM) problems. However, a review of studies on this topic reveals that few studies have been conducted using MCDM methods. The limited attention that manufacturers have given to this critical issue has created a demand for a practical framework applicable

to various sectors. Therefore, this study aims to address existing research gaps by evaluating a distinct set of criteria for selecting handling technologies to be used in the automotive industry. To achieve this aim, this study utilized a real-life case study to determine the most appropriate handling equipment for a manufacturer's assembly line. A key contribution of the study is that, while it addresses a specific problem faced by a manufacturer in the automotive sector, it also offers a framework that can benefit other manufacturers within the same industry. For companies in the automotive sector, where assembly is intensive, evaluating a unique set of criteria established by experts can streamline equipment selection decisions, saving time and costs.

Finally, this paper is organized as follows. Section 2 presents a general literature review on research conducted with MCDM in material handling equipment selection. Section 3 summarizes the fuzzy full consistency method (F-FUCOM) approach. The fourth section shares the research findings, drawing on the insights and expertise of industry professionals. The final section provides a general evaluation of the study findings and presents ideas for future research.

## 2. LITERATURE REVIEW

The appropriate selection of system technologies effectively affects the efficiency and productivity of companies. The selection and integration of the right technologies are important for ensuring operational efficiency. Businesses that focus on efficiency are more successful in achieving both competitive advantage and sustainable production goals. Therefore, the selection of the right system technologies is a critical factor for increasing efficiency. Many factors, including cost, capacity, performance and the technical characteristics of existing equipment, should be evaluated. The selection of material handling equipment is a highly complex and challenging task because of the various technologies and configurations involved (Park, 1996). Experts must possess comprehensive technical knowledge and the ability to perform systematic analyses for equipment selection decisions. This problem is quite costly and time-consuming because of both the large number of criteria and the many alternatives (Goswami and Behera, 2021). As Park noted, although selecting material handling equipment has always been challenging, it has become even more complex because of advancing technologies.

This difficulty in practice is also reflected in academic research. There are many different studies in the literature on equipment selection. Existing studies have focused primarily on the equipment selection problem (Saputro et al., 2015). Until 2015, only a few studies utilized MCDM methods to select material handling equipment (Hellman et al., 2019). Since 2015, a limited number of studies have been conducted on this subject. Determining the criteria in studies for the MHE decision has been addressed as a separate topic. In the literature, some researchers (Soufi et al., 2021) have reported that the criteria affecting equipment selection do not fully reflect reality or are limited. Researchers have mostly used safety, cost, maintenance, standardization, capacity, flexibility and space usage criteria. Since there are many criteria and many alternative equipment in the equipment selection problem, multicriteria decision-making methods are appropriate.

Hadi-Vencheh and Mohamadghasemi (2015) were the first to focus on weighing the criteria in the selection problem for material handling equipment and then conducted a case study using the *Vlse Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje* (VIKOR) method to select the best equipment. The authors analysed four primary criteria: technical, operational, strategic, and economic. The economic criteria were assessed on the basis of the purchasing cost, spare part cost, operational cost, maintenance cost, and salvage value. Moreover, researchers have assessed the operational criteria regarding speed, loading efficiency, capacity, feasibility, and volume. They examined the strategic main criteria in terms of flexibility, service, access to experts, spare part availability, relationship with production and, finally, the technical main criteria in terms of risk, repeatability, safety, maintenance and compatibility. After the study, the criteria identified in order of importance were purchasing cost, loading speed, operational cost, compatibility, capacity, maintenance cost, and flexibility. The least significant criteria were the equipment salvage value and feasibility.

Eka Saputro and Rouyendegh (2015) used the technique for order preference by similarity to an ideal solution (TOPSIS) and multiobjective mixed integer linear programming (MOMILP) as a hybrid approach to the material handling equipment selection problem. The researchers included both objective and subjective criteria, and these criteria were analysed via the analytical hierarchy process (AHP). They defined four main criteria: technical parameters, operational capability, compatibility and ease of maintenance. They also examined the technical parameters in terms of speed, power, loading capacity and lifting height; operational capability in terms of safety, ease of use, technical requirements, flexibility and task application; compatibility criterion in terms of space usage (width, storage, height, etc.); and ease of maintenance criterion in terms of spare part availability, technical support and maintenance training. According to the findings, the criteria ranked in order of importance were storage system, safety, ease of use, loading

capacity, and equipment width. The least significant criteria among all the criteria were the lifting height and speed.

Ghorabae (2016) developed an MCDM approach based on VIKOR with interval type-2 fuzzy numbers to select the best equipment in the material equipment selection problem. In this study, Ghorabae included eight alternative tools and seven criteria. These criteria are flexibility, service contracts, stability, compatibility, human-machine interfaces, inconsistency with infrastructure and performance support features. In the study by Sen et al. (2017), the material handling equipment selection criteria were analysed via the fuzzy analytic hierarchy process (F-AHP) approach, which is based on optimization methods. In this study, there were 5 criteria, namely, a high power-to-weight ratio, ease of operation and maintenance, ease of installation, controllability and availability of spare parts. The most significant criterion was the availability of spare parts and controllability, whereas the least prioritized criterion was the high power-to-weight ratio.

Hellmann et al. (2019) proposed a framework based on failure mode and effects analysis (FMEA) and AHP for selecting the appropriate material handling system on the basis of a project in an injection molding facility in the USA. This framework incorporates both qualitative and quantitative criteria. One significant aspect of the study is that it was among the first to evaluate safety and reliability in the context of material handling equipment. Agarwal and Bharti (2022) used the AHP, decision-making trial and evaluation laboratory (DEMATEL) and TOPSIS methods to select the best AGV. The researchers included controllability, reality, cost, variety, reliability and flexibility criteria in the study. While controllability was the most significant criterion of the study, the cost criterion was the least significant criterion. The economic dimension was not evaluated much for this result with respect to the cost criterion because it is always a constraint.

Gaur and Ronge (2020) conducted a criterion evaluation for handling equipment to be purchased for the packaging and shipping department of a company operating in the textile sector. The researchers included seven criteria (cost, capacity, standardization, safety, maintenance, flexibility, and space utilization) in the study. They analysed the criteria with the AHP. Riaz et al. (2020) used fuzzy sets with multicriteria decision-making approaches for sustainable material handling equipment selection. Researchers have grouped the criteria under four main headings: technical, economic, operational and strategic. They studied the technical aspects in terms of convenience, maintainability, safety, and material aspects in terms of operating cost, maintenance cost, and purchase cost; the operational aspects in terms of fuel consumption, speed of movement and capacity; and the strategic aspects in terms of flexibility, level of training required and warranty. Verma et al. (2020) proposed the AHP-TOPSIS model to measure and evaluate the types of equipment for small-scale industries in Punjab. Tangible and nontangible criteria were assessed in the study.

Mohamadghasemi et al. (2020) used a version of type-2 fuzzy sets (T2FS) called Gaussian interval type-2 fuzzy sets in selecting material handling equipment. The authors first weighed all the criteria and subcriteria and then evaluated the alternatives according to the subcriteria. This methodology was applied in a real case study. Convenience, maintainability, safety, risk and continuity were classified as technical dimensions, whereas operating cost, maintenance cost, purchasing cost, and labor cost were classified as economic dimensions. In addition, capacity, movement speed, loading speed, reality and fuel consumption were evaluated as operational dimensions, and flexibility, spare part availability, warranty, training and relations with the manufacturer were evaluated as strategic dimensions. According to the research findings, the operational dimension was the most prominent criterion, followed by the economic dimension. While compatibility was the most significant criterion in the technical dimension, the least significant criteria were continuity and risk. The most significant criteria in the economic dimension were the purchasing cost and maintenance cost, whereas the labor cost was the least significant criterion. In the operational dimension, the loading speed and capacity criteria were prominent, whereas fuel consumption was the least significant criterion. Finally, while the most significant criteria in the strategic dimension were flexibility and spare part availability, the least significant criteria were relationships with the manufacturer and training.

Goswami and Behera (2021) aimed to determine the best alternative among three different materials for handling equipment. They used entropy to determine the importance of the criteria and preferred the additive ratio assessment (ARAS) and complex proportional assessment (COPRAS) for the best alternatives. The study includes criteria such as equipment speed, capacity, ease of access, controllability, and flexibility. Soufi et al. (2021) studied the selection of material handling equipment in production facilities. They preferred the AHP approach in criteria weighting and equipment selection, similar to many other studies. Soufi et al. (2021) presented a bibliometric study by examining 17 articles in the literature. According to their findings, the average number of criteria in the studies was 14. Fulzele et al. (2022), who conducted a similar study with the same method, also evaluated the relevant criteria to make a conveyor selection decision.

Zolfani et al. (2023) used an intuitionistic fuzzy MCDM integrated with the FUCOM and weighted aggregated sum product assessment (WASPAS) to evaluate new equipment for special storage operations. Researchers have aimed to reduce the idle costs of equipment and ensure the economic efficiency of logistics and storage operations. They used the criteria of capacity, equipment width, lifting height, equipment length, equipment width, engine power, speed, and acceleration. As a result, the width of the transport equipment, lifting engine power and lifting height were determined to be the most critical criteria because they affect the aisle width, space utilization, storage capacity and storage costs. Ulutaş et al. (2023) used the fuzzy best–worst method (F-BWM) to determine the criteria weights and the multiple criteria ranking with fuzzy alternating traces (MCRAT) method for forklift selection. The researchers used eight criteria (purchasing cost, lifting height, lowering and lifting speed, loading capacity, space requirement, manufacturer's image, and spare parts supply). According to the study findings, the most important criterion was the purchasing cost, followed by the loading capacity and lifting height, which are other significant factors. Additionally, the manufacturer's reputation emerged as the most critical criterion overall. Another study was conducted in the same year by Goswami and Behera (2023). The authors evaluated three alternatives and five criteria to conduct the equipment selection process. Three of the criteria were quantitative, whereas the other two were qualitative. The purchase cost, payload capacity, and repeatability error were quantitative criteria, whereas the human-machine interface (MMI) and programming flexibility were used as qualitative criteria. The researchers used a hybrid model combining fuzzy AHP to weight the criteria and COPRAS and ARAS to select alternatives.

Tadic et al. (2024) investigated new material handling equipment that would reduce material handling time, material losses, and costs in a construction materials manufacturing company. For this purpose, nine criteria and four different alternatives were evaluated. The nine criteria were investment cost, maintenance cost, operational cost, training of employees, productivity, flexibility, ability, eco-indicator, and employee safety. The researchers used the stepwise weight assessment ratio analysis (SWARA) method to evaluate the criteria. A study published in 2024 was written by Görçün et al. (2024). Görçün et al. (2024) used the interval-valued Fermatean fuzzy (IVFF) approach for the selection of telescopic forklifts through a case study in the textile industry. However, in their study, they presented a new IVFFS-based model that had not been used before and addressed the subject from a different method perspective. In addition, for the first time, selection criteria specific to telescopic forklifts were determined: carrying capacity, lift height, second-hand sale price, the unit price, maintenance cost, and fuel consumption. Under these criteria, the most suitable forklift among the five alternatives with different fuel types was selected. The most prominent criterion in the study was unit price. Chakraborty and Saha (2024) also used FUCOM and MOORA in the selection of material handling equipment in a warehouse. The researchers used 7 criteria: purchase cost, age (year of forklift production), working time, maximum load capacity, maximum lift height, environmental factors, and supply of spare parts.

Božić et al. (2025) evaluated four alternatives and twelve criteria to decide on material handling equipment in warehouse operations in the food industry. The study used the criteria of compatibility, operation frequency, layout, maintenance, purchasing cost, maintenance fees, operating expenditures, setup investments, eco indicators, waste generation, regulatory and safety standards and user friendliness. A new method combining simple aggregation of preferences expressed by ordinal vectors for multicriteria decision making (SAPEVO-M), fuzzy AHP and fuzzy combined compromise solution (FCOBRA) was used to rank the alternatives. The result of this study revealed that the AGV was the best alternative among the four alternatives.

Accordingly, a notable gap has been identified in the existing literature with respect to case studies. While there are few studies focusing on the automotive sector, which is characterized by intensive assembly processes, no case study has been found that specifically addresses truck manufacturing processes. From both this perspective and through the simultaneous evaluation of a distinct set of criteria related to technology selection within a single study, the research is expected to yield significant findings.

### 3. METHOD

The selection of material handling equipment is an area of operational research. Owing to the need to assess multiple factors, equipment selection decisions involve multicriteria decision-making. There are many multicriteria decision-making methods for solving equipment or machine tool selection problems. The purpose of MCDM is to support decision makers with several approaches among many alternatives. For selection, decision makers need to evaluate many criteria and know the weights of these criteria. Some criteria are “subjective”, and their weightings depend on decision makers’ thoughts. Some are “objective”, and their weight values depend on the calculated or analysed data.

Uncertainty is much greater in real business problems, so it is much more appropriate to use mathematical models and fuzzy variables together (Agarwal and Bharti, 2022). In this study, the fuzzy FUCOM was used

to evaluate and analyse expert decisions. The method was first presented by Pamučar et al. in 2018. The FUCOM is used in many studies in the literature to make different decisions. FUCOM is preferred, especially to respond to various complex business problems. It has been used for personnel selection (Stević and Brković, 2020), weighting the criteria for deciding on the location of a logistics platform from a sustainability perspective (Ayadi et al., 2021), evaluating human resource information systems provided by different suppliers (Esangbedo et al., 2021), selecting routes for the transportation of hazardous materials (Milošević et al., 2021), evaluating determinants that improve business performance (Sharma et al., 2021) and selecting the locations of logistics centers (Yazdani et al., 2020).

When looking at the studies in 2022 and 2023, researchers used FUCOM to solve different business problems. The FUCOM was preferred by researchers in decisions such as improving security in thin sheet casting and rolling units of a steel processing plant (Dhalmahapatra et al., 2022), evaluating obstacles to adopting circular supply chain management in pharmaceutical industries (Khan and Ali, 2022), selecting the most suitable painting robot for the automobile industry (Kumar et al., 2022), evaluating supplier selection criteria (Ayough et al., 2023), determining the most suitable blockchain technology for the logistics sector (Görçün et al., 2023), prioritizing express packaging recycling models (Ling et al., 2023), evaluating the criteria for selecting the most suitable third-party logistics company in a food production company (Nila and Roy, 2023) and selecting handling equipment to be used in special warehousing operations (Zolfani et al., 2023).

There are several significant reasons why FUCOM was preferred in this study. As equipment selection is a strategic decision, various criteria should be considered. FUCOM was selected to manage this complexity effectively, given the nature of the problem and the numerous criteria involved. While two-way comparisons are made in the BWM and AHP methods used in criterion weighting, FUCOM eliminates this problem (Pamučar et al., 2018), and a small number of operations are sufficient. The method reduces the possibility of error due to the small number of comparisons and limitations in calculating the optimum values of the criteria (Sofuoğlu, 2020). Another significant reason is that it reduces concerns about consistency due to the presence of different decision makers. The ability to calculate deviations in FUCOM and the straightforward acceptance of its consistency were key factors in this decision. To verify the research model, multiple criteria decision-making methods need to calculate the error values of the weight vectors. The deviation from maximum consistency can be easily identified by calculating the error size for the weight vector obtained via FUCOM (Yazdani et al., 2020).

The method can be outlined in four steps as follows: (Pamučar et al., 2018)

**Step 1:** After the criteria are listed, decision makers rank them according to their preferences. The criteria are ranked from the highest importance to the lowest (Equation 1).

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

**Step 2:** All decision makers compare the criteria according to the scale in Table 1. The fuzzy importance of the criteria is expressed by  $\tilde{w}_{C_{j(k)}}$ , and the fuzzy comparison importance is expressed by  $\varphi_{k/(k+1)}$ . The fuzzy comparison importance value is obtained by the ratio of the weight values of two criteria, as shown in Equation 2.

$$\varphi_{k/(k+1)} = \frac{w_{C_{j(k+1)}}}{w_{C_{j(k)}}} \quad (2)$$

**Table 1. Comparison scale**

| Scale            | 1     | 3      | 5      | 7           | 9                 | 2,4,6,8             |
|------------------|-------|--------|--------|-------------|-------------------|---------------------|
| Value Definition | Equal | Medium | Strong | Very Strong | Absolute Superior | Intermediate Values |

**Step 3:** The values of the weight coefficients must satisfy the condition that the relationship between the weight coefficients of the criteria  $C_{j(k)}$  and  $C_{j(k+1)}$  is the same as their comparative importance  $\varphi_{k/(k+1)}$ . Equation 3 represents the first condition that must be met in the model.

$$\frac{w_k}{w_{k+1}} = \varphi_{k/(k+1)} \quad (3)$$

The second condition is that the final values of the weight coefficients must meet the transitivity condition in order. Equation 4 shows this requirement. In addition, Equation 4 yields Equation 5, which is in line with Equation (3).

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

$$\frac{w_k}{w_{(k+1)}} \otimes \frac{w_{(k+1)}}{w_{(k+2)}} = \frac{w_k}{w_{(k+2)}} \quad (5)$$

Equation 6 is attained by simultaneously applying Equations 4 and 5.

$$\frac{w_k}{w_{(k+2)}} = \varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)} \quad (6)$$

The minimum deviation ( $\chi=0$ ) is equivalent to the maximum consistency. For this purpose, the conditions of Equation 3 and Equation 6 are necessary. If expressed in terms of the deviation value, Equation 7 must be fulfilled, which is the critical aspect of this method.

$$\left| \frac{w_k}{w_{(k+1)}} - \varphi_{k/(k+1)} \right| \leq \chi \text{ and } \left| \frac{w_k}{w_{(k+2)}} - \varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)} \right| \leq \chi \quad (7)$$

The final model is formulated as shown in Equations 8-12. Solving the model yields the weight values of the criteria.

$$\min \chi \quad (8)$$

s.t.

$$\left| \frac{w_k}{w_{(k+1)}} - \varphi_{k/(k+1)} \right| \leq \chi \quad \forall j \quad (9)$$

$$\left| \frac{w_k}{w_{(k+2)}} - \varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)} \right| \leq \chi \quad \forall j \quad (10)$$

$$\sum w_j = 1 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (11)$$

$$w_j \geq 0 \quad \forall j \quad (12)$$

#### 4. APPLICATION

This study aims to assess key criteria in a production facility before selecting the most suitable material handling equipment. In a bus manufacturing center, handling technology greatly facilitates various activities, such as transporting tires, assembling doors onto the product, and installing windows. These technologies are especially beneficial for transporting and handling large or heavy components. The research was carried out at a company that plans to invest in equipment for handling specific materials in assembly processes, involving interviews with experts actively working in the factory. In this real case study involving a company, managers are currently researching AGV selection among material handling technologies. Selecting AGV equipment has long been regarded as a challenging task because of the numerous constraints present in production systems (Agarwal and Bharti, 2022). Here, it is essential to consider many performance criteria. Initially, the criteria were established through field scanning and confirmed in collaboration with the experts in the sample.

##### 4.1. Decision Makers

During the data collection process, expert opinions were considered in selecting the technology for a bus manufacturing company. The experts are the status of the decision makers in the study. The decision makers are the employees of the production or quality department of the company and the managers in the highest positions (see Table 2). This study utilizes a purposeful sample by selecting individuals with relevant knowledge and experience to gather qualitative data. The study was conducted independently, with each member of the expert group consisting of nine people. Expert opinions are the most significant element in weighing the criteria in the study. The study, aimed at understanding expert experiences and knowledge, was conducted from a "phenomenology" perspective. The experts participated in structured interviews via various meeting applications on virtual platforms.

**Table 2. Information about the experts**

| <i>Experts</i> | <i>Title of the Experts</i>  | <i>Seniority in the company</i> |
|----------------|------------------------------|---------------------------------|
| E <sub>1</sub> | COO- Chief Operating Officer | 15 years                        |
| E <sub>2</sub> | Production Director          | 7 years                         |
| E <sub>3</sub> | Factory Manager              | 9 years                         |
| E <sub>4</sub> | Production Manager           | 5 years                         |
| E <sub>5</sub> | Process Improvement Manager  | 4 years                         |
| E <sub>6</sub> | Technical Services Manager   | 6 years                         |
| E <sub>7</sub> | Quality Director             | 7 years                         |
| E <sub>8</sub> | Quality Manager              | 4 years                         |
| E <sub>9</sub> | Process Improvement Manager  | 6 years                         |

## 4.2. Criteria

**Table 3. Criteria in the study and their sources**

| <i>C<sub>n</sub></i> | <i>Criteria name</i>                    | <i>Explanation</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <i>Related resources</i>                                                                                                                                                                                                                 |
|----------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| C <sub>1</sub>       | Purchasing cost                         | In the case of a new investment decision for businesses, the purchasing costs of a piece of equipment are a significant determinant. Many equipment purchasing costs also include equipment installation costs.                                                                                                                        | Mohamadghasemi et al. (2020), Pamučar and Čirović (2015), Prasad et al. (2015), Riaz et al. (2020), Soufi et al. (2021), Ulutaş et al. (2023)                                                                                            |
| C <sub>2</sub>       | Maintenance- Repair Activities and Cost | Periodic maintenance of the equipment (oil change, chains, hydraulics, etc.) must be carried out by the technical requirements and warranty process. The ease of equipment maintenance can also be linked to its cost.                                                                                                                 | Gaur and Ronge, (2020), Hadi-Vencheh and Mohamadghasemi (2015), Mohamadghasemi et al. (2020), Pamučar and Čirović (2015), Sen et al. (2017), Soufi et al. (2021), Riaz et al. (2020)                                                     |
| C <sub>3</sub>       | Operational cost                        | Operational cost refers to the expenses associated with running a new machine, component, piece of equipment, or facility. In addition, this cost category includes expenses such as energy costs and fuel consumption associated with equipment use in production.                                                                    | Agarwal and Bharti, (2022), Mohamadghasemi et al. (2020), Pamučar and Čirović (2015), Riaz et al. (2020), Soufi et al. (2021)                                                                                                            |
| C <sub>4</sub>       | Lifetime                                | This criterion is related to the lifespan of the manufacturer's equipment and the number of products it can process.                                                                                                                                                                                                                   | Pamučar and Čirović (2015)                                                                                                                                                                                                               |
| C <sub>5</sub>       | Movement speed with/without load        | This criterion refers to the speed at which the equipment can be reached within a specific timeframe. The fact that the equipment directly affects the time required for a process also affects the duration of the operations.                                                                                                        | Hadi-Vencheh and Mohamadghasemi (2015), Mohamadghasemi et al. (2020), Pamučar and Čirović (2015), Riaz et al. (2020), Soufi et al. (2021), Ulutaş et al. (2023), Zolfani et al. (2023)                                                   |
| C <sub>6</sub>       | Maximum lifting capacity                | This criterion indicates the maximum weight that a piece of equipment can lift, measured in tonnes.                                                                                                                                                                                                                                    | Hadi-Vencheh and Mohamadghasemi (2015), Pamučar and Čirović (2015), Ulutaş et al. (2023), Zolfani et al. (2023)                                                                                                                          |
| C <sub>7</sub>       | Maximum bearing capacity                | This criterion denotes the maximum load that a piece of equipment can handle, expressed in tons. The manufacturer is expected to demonstrate a strong capacity to adapt to changes in production volume in response to fluctuating demands.                                                                                            | Agarwal and Bharti (2022), Gaur and Ronge (2020), Hadi-Vencheh and Mohamadghasemi (2015), Mohamadghasemi et al. (2020); Pamučar and Čirović (2015), Riaz et al. (2020), Soufi et al. (2021), Ulutaş et al. (2023), Zolfani et al. (2023) |
| C <sub>8</sub>       | Operational flexibility                 | This criterion is also known as multifunctionality. The ability of the equipment to perform different operations within the facility is critical for equipment selection.                                                                                                                                                              | Agarwal and Bharti (2022), Gaur and Ronge (2020), Ghorabae (2016), Hadi-Vencheh and Mohamadghasemi (2015), Mohamadghasemi et al. (2020), Riaz et al. (2020), Soufi et al. (2021)                                                         |
| C <sub>9</sub>       | Process automation                      | This criterion is associated with the easier, faster and safer movement of parts in the system in a way that facilitates human intervention in material handling equipment. The level of automation required for the physical task is also evaluated in terms of the control capabilities of the equipment.                            | Agarwal and Bharti (2022), Ghorabae, (2016), Sen et al. (2017), Soufi et al. (2021)                                                                                                                                                      |
| C <sub>10</sub>      | Adaptability                            | This criterion pertains to the equipment's ability to integrate into the system in a compatible manner. The equipment may require redesigning to integrate effectively with other subsystems and the entire system. The adaptability criterion encompasses the ease of integrating the equipment into a business's information system. | Agarwal and Bharti (2022), Ghorabae (2016), Hadi-Vencheh and Mohamadghasemi (2015), Mohamadghasemi et al. (2020), Prasad et al. (2015), Riaz et al. (2020), Soufi et al. (2021)                                                          |

**Table 3. (Continued)**

|                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                 |
|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| C <sub>11</sub> Safety          | Ensuring the safety of operators, equipment and products is a crucial criterion in equipment selection. This criterion is considered in terms of the ability to safeguard against unauthorized access, malware, and other physical or digital security threats that may arise within a company's production system.                                           | Agarwal and Bharti (2022), Gaur and Ronge (2020), Hadi-Vencheh and Mohamadghasemi (2015), Mohamadghasemi et al. (2020), Riaz et al. (2020), Soufi et al. (2021)                 |
| C <sub>12</sub> Continuity      | This criterion is also referred to as reliability in some sources. Continuity criterion assesses whether newly added equipment can perform the desired functions of existing production without interruption under specific conditions.                                                                                                                       | Agarwal and Bharti (2022), Ghorabae, (2016), Mohamadghasemi et al. (2020)                                                                                                       |
| C <sub>13</sub> Ergonomic       | This criterion evaluates the equipment's impact on the occupational health and safety of workers. The vibration and noise produced by the equipment, the space available for operator movement, and the ease of use can be assessed, particularly from an ergonomic perspective.                                                                              | Gaur and Ronge (2020), Ghorabae (2016), Hadi-Vencheh and Mohamadghasemi (2015), Soufi et al. (2021), Ulutaş et al. (2023), Zolfani et al. (2023)                                |
| C <sub>14</sub> Service quality | Companies require manufacturers that they can easily contact in the event of equipment failure or when they need support for spare parts. Access to an authorized service system is a critical criterion in equipment selection. Additionally, the equipment provided by the supplier is expected to come with a service guarantee for the company post sale. | Ghorabae (2016), Hadi-Vencheh and Mohamadghasemi (2015), Mohamadghasemi et al. (2020), Pamučar and Ćirović, (2015), Riaz et al. (2020), Sen et al. (2017), Ulutaş et al. (2023) |

When selecting material handling equipment, decision makers must consider the listed criteria qualitatively and quantitatively (Karande and Chakraborty 2013). Fourteen factors were analysed as the criteria included in the study (see Table 3). These criteria are purchasing cost, maintenance-repair cost, operational cost, lifetime, equipment speed (movement speed with/without load), maximum lifting capacity, maximum bearing capacity, operational flexibility, process automation, adaptability, safety, continuity, ergonomic and service quality. Additionally, the purchasing cost, maintenance-repair cost, and operational cost can be considered as subcriteria under the main criterion "Economic Factors"; equipment speed (movement speed with/without load), maximum lifting capacity, maximum bearing capacity, and lifetime can be evaluated as subcriteria under "Technical and Performance Factors"; operational flexibility, process automation, continuity, and adaptability can be categorized under "Operational Factors"; and safety, ergonomic, and service quality can be assessed under the main criterion "User-Centred Factors".

### 4.3. Results

The data obtained from the interviews and their analysis are listed below.

**Step 1:** All criteria listed in the table were ranked by the experts from most significant to least significant, as in Equation (1). Since each expert had a unique perspective, the data collection process was conducted separately for everyone. For example, the ranking of the first expert (E<sub>1</sub>) according to Equation 1 is as follows:

C<sub>1</sub>, C<sub>5</sub>, C<sub>10</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>9</sub>, C<sub>7</sub>, C<sub>12</sub>, C<sub>14</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>11</sub>, C<sub>13</sub>, C<sub>4</sub>, C<sub>8</sub>, and C<sub>6</sub>.

The criteria were subsequently evaluated for the next criterion via the comparison scale (see Table 1). Table 4 presents the rankings and evaluations of all the experts regarding the criteria.

**Step 2 and Step 3:** Considering Table 4, Equation 3  $\varphi_{k/(k+1)} = \frac{w_{c_j(k+1)}}{w_{c_j(k)}}$  was used for the fuzzy comparison importance of the criteria  $\varphi_{k/(k+1)}$ . Then, Equation 4 was used for  $\varphi_{k/(k+2)}$ .

**Step 4:** All criteria and the comparative priority data calculated in Equation 3 and Equation 4 were input into the Excel document. All the parameters were subsequently written to the Excel solver, adhering to the model in Equation 8.

**Table 4. Table for comparison of criteria**

|                          |                      |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                      |                       |                       |
|--------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <i>For E<sub>1</sub></i> |                      |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                      |                       |                       |
| <b>Ranking</b>           | <i>C<sub>1</sub></i> | <i>C<sub>5</sub></i>  | <i>C<sub>10</sub></i> | <i>C<sub>3</sub></i>  | <i>C<sub>9</sub></i>  | <i>C<sub>7</sub></i>  | <i>C<sub>12</sub></i> | <i>C<sub>14</sub></i> | <i>C<sub>2</sub></i>  | <i>C<sub>11</sub></i> | <i>C<sub>13</sub></i> | <i>C<sub>4</sub></i> | <i>C<sub>8</sub></i>  | <i>C<sub>6</sub></i>  |
| $\varphi_{k/(k+1)}$      | 1.00                 | 2.00                  | 1.50                  | 1.00                  | 1.333                 | 1.00                  | 1.25                  | 1.00                  | 1.20                  | 1.166                 | 1.142                 | 1.125                | 1.111                 | -                     |
| $\varphi_{k/(k+2)}$      | 3.00                 | 1.50                  | 1.333                 | 1.333                 | 1.25                  | 1.25                  | 1.20                  | 1.40                  | 1.33                  | 1.285                 | 1.125                 | 1.111                | -                     | -                     |
| <i>For E<sub>2</sub></i> |                      |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                      |                       |                       |
| <b>Ranking</b>           | <i>C<sub>1</sub></i> | <i>C<sub>10</sub></i> | <i>C<sub>5</sub></i>  | <i>C<sub>3</sub></i>  | <i>C<sub>7</sub></i>  | <i>C<sub>9</sub></i>  | <i>C<sub>14</sub></i> | <i>C<sub>12</sub></i> | <i>C<sub>13</sub></i> | <i>C<sub>11</sub></i> | <i>C<sub>2</sub></i>  | <i>C<sub>8</sub></i> | <i>C<sub>6</sub></i>  | <i>C<sub>4</sub></i>  |
| $\varphi_{k/(k+1)}$      | 2.00                 | 1.00                  | 1.50                  | 1.00                  | 1.333                 | 1.25                  | 1.00                  | 1.40                  | 1.00                  | 1.142                 | 1.00                  | 1.125                | 1.00                  | -                     |
| $\varphi_{k/(k+2)}$      | 2.00                 | 1.50                  | 1.50                  | 1.333                 | 1.667                 | 1.25                  | 1.40                  | 1.40                  | 1.142                 | 1.142                 | 1.125                 | 1.125                | -                     | -                     |
| <i>For E<sub>3</sub></i> |                      |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                      |                       |                       |
| <b>Ranking</b>           | <i>C<sub>5</sub></i> | <i>C<sub>1</sub></i>  | <i>C<sub>3</sub></i>  | <i>C<sub>9</sub></i>  | <i>C<sub>12</sub></i> | <i>C<sub>10</sub></i> | <i>C<sub>7</sub></i>  | <i>C<sub>13</sub></i> | <i>C<sub>2</sub></i>  | <i>C<sub>14</sub></i> | <i>C<sub>11</sub></i> | <i>C<sub>8</sub></i> | <i>C<sub>4</sub></i>  | <i>C<sub>6</sub></i>  |
| $\varphi_{k/(k+1)}$      | 1.00                 | 2.00                  | 1.00                  | 1.50                  | 1.667                 | 1.00                  | 1.20                  | 1.166                 | 1.00                  | 1.142                 | 1.125                 | 1.00                 | 1.00                  | -                     |
| $\varphi_{k/(k+2)}$      | 2.00                 | 2.00                  | 1.50                  | 2.50                  | 1.667                 | 1.20                  | 1.40                  | 1.166                 | 1.142                 | 1.285                 | 1.125                 | 1.00                 | -                     | -                     |
| <i>For E<sub>4</sub></i> |                      |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                      |                       |                       |
| <b>Ranking</b>           | <i>C<sub>1</sub></i> | <i>C<sub>10</sub></i> | <i>C<sub>5</sub></i>  | <i>C<sub>3</sub></i>  | <i>C<sub>12</sub></i> | <i>C<sub>14</sub></i> | <i>C<sub>2</sub></i>  | <i>C<sub>7</sub></i>  | <i>C<sub>11</sub></i> | <i>C<sub>9</sub></i>  | <i>C<sub>13</sub></i> | <i>C<sub>4</sub></i> | <i>C<sub>8</sub></i>  | <i>C<sub>6</sub></i>  |
| $\varphi_{k/(k+1)}$      | 3.00                 | 1.00                  | 1.333                 | 1.25                  | 1.00                  | 1.20                  | 1.00                  | 1.166                 | 1.00                  | 1.00                  | 1.142                 | 1.125                | 1.00                  | -                     |
| $\varphi_{k/(k+2)}$      | 3.00                 | 1.33                  | 1.667                 | 1.25                  | 1.20                  | 1.20                  | 1.166                 | 1.166                 | 1.00                  | 1.142                 | 1.285                 | 1.125                | -                     | -                     |
| <i>For E<sub>5</sub></i> |                      |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                      |                       |                       |
| <b>Ranking</b>           | <i>C<sub>5</sub></i> | <i>C<sub>3</sub></i>  | <i>C<sub>1</sub></i>  | <i>C<sub>9</sub></i>  | <i>C<sub>14</sub></i> | <i>C<sub>2</sub></i>  | <i>C<sub>10</sub></i> | <i>C<sub>12</sub></i> | <i>C<sub>7</sub></i>  | <i>C<sub>11</sub></i> | <i>C<sub>8</sub></i>  | <i>C<sub>4</sub></i> | <i>C<sub>13</sub></i> | <i>C<sub>6</sub></i>  |
| $\varphi_{k/(k+1)}$      | 3.00                 | 1.00                  | 1.333                 | 1.25                  | 1.00                  | 1.20                  | 1.00                  | 1.166                 | 1.00                  | 1.00                  | 1.142                 | 1.125                | 1.00                  | -                     |
| $\varphi_{k/(k+2)}$      | 3.00                 | 1.333                 | 1.666                 | 1.25                  | 1.20                  | 1.20                  | 1.166                 | 1.166                 | 1.00                  | 1.142                 | 1.285                 | 1.125                | -                     | -                     |
| <i>For E<sub>6</sub></i> |                      |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                      |                       |                       |
| <b>Ranking</b>           | <i>C<sub>1</sub></i> | <i>C<sub>10</sub></i> | <i>C<sub>5</sub></i>  | <i>C<sub>3</sub></i>  | <i>C<sub>9</sub></i>  | <i>C<sub>12</sub></i> | <i>C<sub>7</sub></i>  | <i>C<sub>14</sub></i> | <i>C<sub>2</sub></i>  | <i>C<sub>8</sub></i>  | <i>C<sub>13</sub></i> | <i>C<sub>6</sub></i> | <i>C<sub>11</sub></i> | <i>C<sub>4</sub></i>  |
| $\varphi_{k/(k+1)}$      | 1.00                 | 2.00                  | 1.00                  | 1.50                  | 1.333                 | 1.00                  | 1.25                  | 1.20                  | 1.166                 | 1.00                  | 1.142                 | 1.00                 | 1.125                 | -                     |
| $\varphi_{k/(k+2)}$      | 2.00                 | 2.00                  | 1.50                  | 2.00                  | 1.333                 | 1.25                  | 1.50                  | 1.40                  | 1.166                 | 1.142                 | 1.142                 | 1.125                | -                     | -                     |
| <i>For E<sub>7</sub></i> |                      |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                      |                       |                       |
| <b>Ranking</b>           | <i>C<sub>1</sub></i> | <i>C<sub>3</sub></i>  | <i>C<sub>10</sub></i> | <i>C<sub>5</sub></i>  | <i>C<sub>9</sub></i>  | <i>C<sub>7</sub></i>  | <i>C<sub>12</sub></i> | <i>C<sub>14</sub></i> | <i>C<sub>8</sub></i>  | <i>C<sub>2</sub></i>  | <i>C<sub>11</sub></i> | <i>C<sub>4</sub></i> | <i>C<sub>6</sub></i>  | <i>C<sub>13</sub></i> |
| $\varphi_{k/(k+1)}$      | 2.00                 | 1.50                  | 1.00                  | 1.666                 | 1.00                  | 1.20                  | 1.00                  | 1.166                 | 1.00                  | 1.142                 | 1.00                  | 1.125                | 1.00                  | -                     |
| $\varphi_{k/(k+2)}$      | 3.00                 | 1.50                  | 1.666                 | 1.666                 | 1.20                  | 1.20                  | 1.166                 | 1.166                 | 1.142                 | 1.142                 | 1.125                 | 1.125                | -                     | -                     |
| <i>For E<sub>8</sub></i> |                      |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                      |                       |                       |
| <b>Ranking</b>           | <i>C<sub>1</sub></i> | <i>C<sub>10</sub></i> | <i>C<sub>5</sub></i>  | <i>C<sub>3</sub></i>  | <i>C<sub>12</sub></i> | <i>C<sub>7</sub></i>  | <i>C<sub>9</sub></i>  | <i>C<sub>14</sub></i> | <i>C<sub>2</sub></i>  | <i>C<sub>11</sub></i> | <i>C<sub>4</sub></i>  | <i>C<sub>8</sub></i> | <i>C<sub>6</sub></i>  | <i>C<sub>13</sub></i> |
| $\varphi_{k/(k+1)}$      | 1.00                 | 2.00                  | 1.50                  | 1.333                 | 1.25                  | 1.00                  | 1.20                  | 1.00                  | 1.166                 | 1.00                  | 1.142                 | 1.00                 | 1.125                 | -                     |
| $\varphi_{k/(k+2)}$      | 2.00                 | 3.00                  | 2.00                  | 1.666                 | 1.25                  | 1.20                  | 1.20                  | 1.166                 | 1.166                 | 1.142                 | 1.142                 | 1.125                | -                     | -                     |
| <i>For E<sub>9</sub></i> |                      |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                      |                       |                       |
| <b>Ranking</b>           | <i>C<sub>5</sub></i> | <i>C<sub>1</sub></i>  | <i>C<sub>3</sub></i>  | <i>C<sub>10</sub></i> | <i>C<sub>7</sub></i>  | <i>C<sub>12</sub></i> | <i>C<sub>9</sub></i>  | <i>C<sub>14</sub></i> | <i>C<sub>11</sub></i> | <i>C<sub>2</sub></i>  | <i>C<sub>13</sub></i> | <i>C<sub>4</sub></i> | <i>C<sub>8</sub></i>  | <i>C<sub>6</sub></i>  |
| $\varphi_{k/(k+1)}$      | 3.00                 | 1.333                 | 1.00                  | 1.00                  | 1.25                  | 1.00                  | 1.40                  | 1.00                  | 1.142                 | 1.00                  | 1.125                 | 1.00                 | 1.00                  | -                     |
| $\varphi_{k/(k+2)}$      | 4.00                 | 1.333                 | 1.00                  | 1.25                  | 1.25                  | 1.40                  | 1.40                  | 1.142                 | 1.142                 | 1.125                 | 1.125                 | 1.00                 | -                     | -                     |

For example, for Expert 1:

$$\left| \frac{C_1}{C_5} - 1 \right| \leq \chi; \left| \frac{C_5}{C_{10}} - 2 \right| \leq \chi; \left| \frac{C_{10}}{C_3} - 1.5 \right| \leq \chi; \left| \frac{C_3}{C_9} - 1 \right| \leq \chi; \left| \frac{C_9}{C_7} - 1.33 \right| \leq \chi; \left| \frac{C_7}{C_{12}} - 1 \right| \leq \chi; \left| \frac{C_{12}}{C_{14}} - 1.25 \right| \leq \chi;$$

$$\left| \frac{C_{14}}{C_2} - 1 \right| \leq \chi; \left| \frac{C_2}{C_{11}} - 1.20 \right| \leq \chi; \left| \frac{C_{11}}{C_{13}} - 1.166 \right| \leq \chi; \left| \frac{C_{13}}{C_4} - 1.142 \right| \leq \chi; \left| \frac{C_4}{C_8} - 1.125 \right| \leq \chi; \left| \frac{C_8}{C_6} - 1.111 \right| \leq \chi$$

and

$$\left| \frac{C_1}{C_{10}} - 3 \right| \leq \chi; \left| \frac{C_5}{C_3} - 1.5 \right| \leq \chi; \left| \frac{C_{10}}{C_9} - 1.33 \right| \leq \chi; \left| \frac{C_3}{C_7} - 1.33 \right| \leq \chi; \left| \frac{C_9}{C_{12}} - 1.25 \right| \leq \chi; \left| \frac{C_7}{C_{14}} - 1.25 \right| \leq \chi;$$

$$\left| \frac{C_{12}}{C_2} - 1.20 \right| \leq \chi; \left| \frac{C_{14}}{C_{11}} - 1.40 \right| \leq \chi; \left| \frac{C_2}{C_{13}} - 1.33 \right| \leq \chi; \left| \frac{C_{11}}{C_4} - 1.285 \right| \leq \chi; \left| \frac{C_{13}}{C_8} - 1.125 \right| \leq \chi; \left| \frac{C_4}{C_6} - 1.111 \right| \leq \chi;$$

$$\sum w_j = 1 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$w_j \geq 0 \quad \forall j$$

As a simple linear programming problem, the target is  $\min \chi$ . Individual linear programming data were entered for each expert and solved via Excel Solver. Table 5 shows the criterion weights obtained after the evaluations of each expert and the criterion weights obtained by averaging these values.

Table 5 shows the final weight value of each criterion. The value of  $\chi$  is 0 for each expert. This shows that the results are consistent. A promising result is that the weight values obtained are reliable. When the weights are examined, the criterion with the highest value is the “purchasing

cost ( $C_1$ )", with a weight value of 0.1877. The purchasing cost has a weight value of 18.77% among all criteria for the equipment selection decision of the experts. The criterion with the second highest weight is "movement speed with/without load ( $C_5$ )" of the equipment, with a weight value of 0.1624; the criterion with the third highest weight is "adaptability ( $C_{10}$ )", with a weight value of 0.1105; and the criterion with the fourth highest weight is "operational cost ( $C_3$ )", with a weight value of 0.0930. In other words, among all the criteria, "movement speed with/without load", with 16.24%, "adaptability", with 11.05%, and "operational cost", with 9.30%, are the other criteria with the highest weights.

**Table 5. Final weights of all the criteria**

| Criteria | $E_1$ | $E_2$ | $E_3$ | $E_4$ | $E_5$ | $E_6$ | $E_7$ | $E_8$ | $E_9$ | Av. Weights |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|
| $C_1$    | 0.262 | 0.245 | 0.215 | 0.292 | 0.097 | 0.206 | 0.273 | 0.224 | 0.099 | 0.1877      |
| $C_2$    | 0.044 | 0.031 | 0.031 | 0.049 | 0.058 | 0.034 | 0.039 | 0.037 | 0.037 | 0.0400      |
| $C_3$    | 0.087 | 0.082 | 0.108 | 0.073 | 0.097 | 0.103 | 0.137 | 0.075 | 0.075 | 0.0930      |
| $C_4$    | 0.029 | 0.027 | 0.024 | 0.036 | 0.036 | 0.023 | 0.034 | 0.032 | 0.033 | 0.0304      |
| $C_5$    | 0.131 | 0.123 | 0.215 | 0.097 | 0.292 | 0.103 | 0.091 | 0.112 | 0.298 | 0.1624      |
| $C_6$    | 0.026 | 0.027 | 0.024 | 0.032 | 0.032 | 0.026 | 0.030 | 0.028 | 0.033 | 0.0512      |
| $C_7$    | 0.065 | 0.082 | 0.043 | 0.049 | 0.042 | 0.052 | 0.055 | 0.045 | 0.075 | 0.0564      |
| $C_8$    | 0.029 | 0.031 | 0.024 | 0.032 | 0.042 | 0.029 | 0.039 | 0.028 | 0.033 | 0.0318      |
| $C_9$    | 0.065 | 0.061 | 0.108 | 0.042 | 0.073 | 0.069 | 0.055 | 0.045 | 0.060 | 0.0642      |
| $C_{10}$ | 0.087 | 0.123 | 0.043 | 0.097 | 0.049 | 0.206 | 0.091 | 0.224 | 0.075 | 0.1105      |
| $C_{11}$ | 0.037 | 0.035 | 0.027 | 0.042 | 0.042 | 0.026 | 0.034 | 0.032 | 0.043 | 0.0420      |
| $C_{12}$ | 0.052 | 0.049 | 0.072 | 0.058 | 0.049 | 0.052 | 0.046 | 0.056 | 0.060 | 0.0548      |
| $C_{13}$ | 0.033 | 0.035 | 0.036 | 0.042 | 0.032 | 0.029 | 0.030 | 0.025 | 0.037 | 0.0332      |
| $C_{14}$ | 0.052 | 0.049 | 0.031 | 0.058 | 0.058 | 0.041 | 0.046 | 0.037 | 0.043 | 0.0461      |
| $\chi$   | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |             |

Although there are no significant differences in the weights of these four criteria, notable differences emerge when the other criteria, are used indicating substantial variations in expert opinions. The criterion ranking is followed by "process automation ( $C_9$ )", with a weight value of 0.0642, and "maximum bearing capacity ( $C_7$ )", with a value of 0.0564. The criterion that is considered less significant than the other 13 criteria among all the criteria is "lifetime ( $C_4$ )".

### Sensitivity Analysis

Sensitivity analysis is essential to interpret whether the solution is valid or not. This study used the weight variation approach to perform a sensitivity analysis of FUCOM. The scenario was applied for examinations of decision variables at different rates. The weight values reached in Table 5 for each criterion were changed at rates such as  $\pm 10\%$  and  $\pm 20\%$ , and the results were analyzed to see how much they changed. This process was done for 14 criteria in the study. The columns containing the "Max" and "Min" weights indicate the highest and lowest weighted criteria weights among all criteria.

In the consistency interpretation, if there is no excessive change in the criterion weights with the highest and lowest weights, it is stated that model will be consistent and stable. According to Table 5, the criterion with the highest weight is "purchasing cost" ( $C_1$ ) with a ratio of 0.1877. In the  $+10\%$  scenario of  $C_1$ , the new weight value is calculated as 0.2019, and the maximum value for this change is also seen as 0.2019 (see Table 6). This result again shows that  $C_1$  maintains its dominance. In the  $-10\%$  scenario of  $C_1$ , the new weight value is calculated as 0.1715. This change again affected  $C_1$  to be dominant compared to other criteria. On the other hand, according to Table 5, the criterion with the lowest weight is "lifetime" ( $C_4$ ) with 0.0304. In the  $+10\%$  scenario of  $C_4$ , the new weight value is calculated as 0.0332. According to this increased rate, although the  $C_4$  criterion is not the lowest weighted criterion, there was no significant imbalance in the weight distribution. In the  $-10\%$  scenario of the Lifetime criterion, the new weight value reached 0.0273. In this scenario, the lowest weight criterion was 0.0273, which again affected  $C_4$  to be the lowest priority compared to other criteria.

According to the sensitivity analysis results, the change of high weight criteria such as  $C_1$  and  $C_5$  was more effective than other criteria. However, the total weight distribution maintains its balance at 10% changes. In the sensitivity analysis in this study, changing the criterion weight by 10% changed the effect of the criterion on some factors. However, although the weights of other criteria changed, the total weight value of all criteria remained 1. While it is stated that the model is less sensitive to changes in the weights of criteria such as  $C_1$ , the decision making processes are reliable.

The criteria with smaller weights in the list, such as  $C_3$ ,  $C_6$ , and  $C_9$ , will not affect the ranking too much. For example, in terms of other criteria, a 10% increase or decrease in  $C_2$  increases or decreases the criterion's weight to 0.0437 and 0.0360, respectively. The difference between the max and min weights is insignificant

here, which shows that the effect of  $C_2$  is not very large and does not change the rankings too much. As a result, the fact that the ranking changes are minimal and the weights do not deviate too much indicates that the model is robust and balanced.

**Table 6. Sensitivity analysis results**

| <i>Scenario</i> | <i>Criteria</i> | <i>New Weight</i> | <i>Total Weight</i> | <i>Max Weight</i> | <i>Min Weight</i> |
|-----------------|-----------------|-------------------|---------------------|-------------------|-------------------|
| +10% $C_1$      | $C_1$           | 0.2019            | 1                   | 0.2019            | 0.0297            |
| -10% $C_1$      | $C_1$           | 0.1715            | 1                   | 0.1715            | 0.0309            |
| +10% $C_2$      | $C_2$           | 0.0437            | 1                   | 0.1863            | 0.0302            |
| -10% $C_2$      | $C_2$           | 0.0360            | 1                   | 0.1878            | 0.0304            |
| +10% $C_3$      | $C_3$           | 0.1010            | 1                   | 0.1853            | 0.0300            |
| -10% $C_3$      | $C_3$           | 0.0842            | 1                   | 0.1888            | 0.0306            |
| +10% $C_4$      | $C_4$           | 0.0332            | 1                   | 0.1864            | 0.0316            |
| -10% $C_4$      | $C_4$           | 0.0273            | 1                   | 0.1876            | 0.0273            |
| +10% $C_5$      | $C_5$           | 0.1751            | 1                   | 0.1840            | 0.0298            |
| -10% $C_5$      | $C_5$           | 0.1480            | 1                   | 0.1901            | 0.0308            |
| +10% $C_6$      | $C_6$           | 0.0558            | 1                   | 0.1861            | 0.0301            |
| -10% $C_6$      | $C_6$           | 0.0461            | 1                   | 0.1880            | 0.0304            |
| +10% $C_7$      | $C_7$           | 0.0615            | 1                   | 0.1860            | 0.0301            |
| -10% $C_7$      | $C_7$           | 0.0509            | 1                   | 0.1881            | 0.0305            |
| +10% $C_8$      | $C_8$           | 0.0347            | 1                   | 0.1864            | 0.0302            |
| -10% $C_8$      | $C_8$           | 0.0286            | 1                   | 0.1876            | 0.0286            |
| +10% $C_9$      | $C_9$           | 0.0699            | 1                   | 0.1858            | 0.0301            |
| -10% $C_9$      | $C_9$           | 0.0579            | 1                   | 0.1882            | 0.0305            |
| +10% $C_{10}$   | $C_{10}$        | 0.1198            | 1                   | 0.1850            | 0.0300            |
| -10% $C_{10}$   | $C_{10}$        | 0.1002            | 1                   | 0.1891            | 0.0306            |
| +10% $C_{11}$   | $C_{11}$        | 0.0458            | 1                   | 0.1862            | 0.0302            |
| -10% $C_{11}$   | $C_{11}$        | 0.0378            | 1                   | 0.1878            | 0.0304            |
| +10% $C_{12}$   | $C_{12}$        | 0.0597            | 1                   | 0.1860            | 0.0301            |
| -10% $C_{12}$   | $C_{12}$        | 0.0494            | 1                   | 0.1880            | 0.0305            |
| +10% $C_{13}$   | $C_{13}$        | 0.0363            | 1                   | 0.1864            | 0.0302            |
| -10% $C_{13}$   | $C_{13}$        | 0.0299            | 1                   | 0.1876            | 0.0299            |
| +10% $C_{14}$   | $C_{14}$        | 0.0503            | 1                   | 0.1862            | 0.0301            |
| -10% $C_{14}$   | $C_{14}$        | 0.0415            | 1                   | 0.1879            | 0.0304            |

## 5. CONCLUSION and DISCUSSION

Today, economic and technological changes are essential for innovation across various sectors. In response to these changes, companies may need to upgrade or replace their equipment technologically. This is a crucial problem and issue in production. Material handling equipment selection problems are crucial for businesses. In production, costs related to material handling activities constitute a significant portion of total production costs. Although the ratios vary in some sources, the share of handling costs in total can vary between 15% and 70% (Esmaeilian et al., 2016; García-Cáceres et al., 2022; Gavade, 2014). Failure to select the most appropriate equipment directly affects the total operation time, resource usage and service levels (Prasad et al., 2015). MHEs can effectively reduce physical effort and sometimes cognitive workload. Any innovation that positively affects the production process in the handling of materials is necessary and continuous to make operational management efficient. In this context, equipment selection decisions significantly influence the operational efficiency of enterprises (Esmaeilian et al., 2016; Ghorabae, 2016; Prasad et al., 2015; Soufi et al., 2021).

Equipment selection problems are quite difficult and complex. Owing to the increasing variety of handling equipment, the extreme differences in their capacities, capabilities, economic values and other features make it difficult for manufacturers to make decisions. Improperly selected material handling equipment can seriously affect the performance and efficiency of the system (Prasad et al., 2015; Sen et al., 2017). The fact that the equipment has the appropriate capacity and capabilities in the production process is noteworthy in terms of operational efficiency. An incorrect equipment selection decision can cause various disruptions and problems in the workflow, leading to productivity losses. Choosing the right equipment necessitates technical knowledge and analysis in designing material handling systems, making it essential to structure it appropriately within the system (Park, 1996). Equipment selection problems, key strategic decisions for an organization, require detailed analysis and expert opinions. In this study, experts actively participate in both finalizing the criteria and the evaluation process.

This study aims to assess the criteria influencing the selection of new handling technology for assembly lines in the automotive sector and to establish a framework for manufacturers' technology selection. The

criteria are well suited for real production challenges, as they are developed with literature support and incorporate expert opinions. The study includes insights from experts in different departments involved in the company's production process. The perspectives of managers, who evaluate situations from different angles, complement one another, leading to more realistic results for the research problem. In this study, expert evaluations of 14 criteria using linguistic variables were analysed via fuzzy FUCOM, with fuzzy logic addressing the uncertainty of information and ideas.

According to the findings of this study, the most effective criterion is the "purchasing cost". The level of investment in new technologies significantly influences the decision-making process of a company. Before collecting data, I expected that the purchasing cost would be one of the top three criteria with the highest weight. Correspondingly, the purchase cost of new equipment is identified as the priority criterion in the findings. The second key criterion influencing technology selection is "movement speed with and without load." The loading speed is crucial for production flow, as it affects operation times, with equipment speed directly influencing operational efficiency (Agarwal and Bharti, 2022), which may be a reason why decision makers use equipment speed as a very effective criterion after the purchase cost. The material flow that changes depending on the equipment speed reduces the waiting time during production, minimizes bottlenecks and ensures that operations are carried out without interruption. Equipment with high movement speed can significantly increase the level of productivity by reducing the production cycle time. Therefore, those who consider the speed dimension in equipment selection can approach a process that will maximize efficiency.

The third most significant criterion of the research is "adaptability". A key concern regarding equipment changes in a company is whether the new equipment can be integrated into the existing system. According to experts, although the technical features of equipment are considered significant, its behavior within a system has become one of the three most significant criteria. This shows that the integration power of the new handling equipment is a very effective criterion. These three criteria in equipment selection constitute 46% of all the criteria. In other words, only 3 out of 14 criteria have a 46% effect on the material handling equipment selection decision. As a result, the purchasing cost, the speed of the equipment and the adaptability are the most effective criteria for this manufacturer.

The fourth most significant criterion of the study is the operational cost. In addition to the operational cost, two of the four most significant criteria for equipment selection, accounting for up 50%, are directly related to cost. Selecting the right equipment is crucial for businesses aiming to achieve significant cost savings (García-Cáceres et al., 2022). An efficient material handling system can greatly reduce operating costs (Sen et al., 2017). In addition to the purchase price of equipment, it is essential to consider the costs or cost savings that affect the business throughout the process. Rather than seeing the equipment selection decision as a one-time decision, it is recommended to see it as a strategic decision considering the costs that the equipment will cause to the company throughout its lifespan.

According to the research results, the fifth criterion with the highest weight is "process automation". In the selection of material handling equipment, especially AGVs, both cost and automatic production flow and controllability play significant roles (Agarwal and Bharti, 2022). Although the level of automation in factories increases with Industry 4.0 systems, it is expected that the control processes in production will also be maintained automatically. The automation of production processes, including control processes, is effective for both production efficiency and productivity. The increase in a company's productivity resulting from the heightened automation level of new equipment (Riaz et al., 2020) is a key factor in equipment selection.

The lowest weighted criterion of the study is the lifetime of the equipment. The fact that handling technologies have similar life spans probably did not highlight this criterion as a determinant. Another criterion with low weight is operational flexibility. The experts need to use new material handling equipment only at a certain location for the same reason, which may eliminate the expectation of using the equipment for different functions and purposes. One of the surprising results of the study is that the weights of the criteria of maintenance-repair operations and ergonomic features of the equipment are low. There may be several possible reasons for the low weight of the ergonomics dimension. One issue arises from the company's neglect of the harmony between its employees and the system. Another possibility is that the company excludes this dimension from the classification because it will already take it into account when establishing the system. This area requires thorough investigation.

Another is related to "maintenance-repair" activities. According to the experts, the variables related to equipment maintenance are not accepted as a determining factor for equipment selection. Timely maintenance of machinery and equipment is necessary so as not to disrupt the production flow and not to reduce operational efficiency. The frequency and complexity of maintenance periods may vary on the basis of the machine's technology. However, maintenance activities are not considered a highly decisive criterion by the decision-makers in this study. It is acceptable that there is not much difference in handling equipment

due to routine maintenance procedures. Applying similar maintenance practices for equipment and knowing that costs do not change much in this direction may be appropriate for this result.

As shown in the study findings, factors such as equipment costs, carrying capacity, height, and flexibility significantly influence equipment selection. However, it is indisputable that some factors are more decisive in this decision. The findings of this study address the problem of a large company producing “buses” in the automotive sector. Owing to the high volume of production in the automotive industry, it is a significant strategic decision not to be late for technological innovations. On the other hand, the results may change in different cases due to some sectoral changes. The 14 criteria in the study may increase or decrease depending on the study in another sector or the company's problem. Exploratory studies can be conducted in different sectors by researchers interested in this subject by dealing with real cases. It is of interest to explore which dimensions are emphasized in different sectors and whether the findings of new research align with those in the automotive industry.

In this study, only the FUCOM was used for systematic weighting of the criteria. In future studies, using different criterion weighting methods and comparing the results may increase the reliability and validity of the results obtained. Therefore, using alternative MCDM techniques is suggested as a valuable research direction for further studies. Another issue is that the relative importance of each criterion has been revealed, and direct interactions between criteria have not been considered. Although examining the relationships between criteria is beyond the scope of this study, more comprehensive analyses should be conducted with methods that examine such relationships in future research. However, it may be useful to evaluate methods that address the relationships between criteria in future studies.

#### **Conflict of interest**

No potential conflict of interest was declared by the author.

#### **Funding**

This study received no funding from any governmental, commercial or non-profit organisation.

#### **Compliance with Ethical Standards**

For this study, the approval of the Scientific Research and Publication Ethics Committee of the Kırklareli University Rectorate was obtained with the decision dated 10.09.2024 and numbered E-35523585-199-133754.

#### **Ethical Statement**

The author declared that scientific and ethical principles have been followed in this study and that 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

- Agarwal, D. and Bharti, P.S. (2022). "A Case Study on AGV's Alternatives Selection Problem", *International Journal of Information Technology*, 14(2), 1011-1023. <https://doi.org/10.1007/s41870-018-0223-z>
- Ayadi, H., Hamani, N., Kermad, L. and Benaissa, M. (2021). "Novel Fuzzy Composite Indicators for Locating A Logistics Platform Under Sustainability Perspectives", *Sustainability*, 13(7), 3891. <https://doi.org/10.3390/su13073891>
- Ayough, A., Shargh, S.B. and Khorshidvand, B. (2023). "A New Integrated Approach Based on Base-Criterion and Utility Additive Methods and Its Application to Supplier Selection Problem", *Expert Systems with Applications*, 221, 119740. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.119740>
- Božić, M., Dabić-Miletić, S., Andrejić, M. and Djurdjević, D. (2025). "Ranking of Autonomous Technologies for Sustainable Logistics Activities in the Confectionery Industry", *Mathematics*, 13(3), 498. <https://doi.org/10.3390/math13030498>
- Chakraborty, S. and Saha, A. K. (2024). "Selection of Forklift Unit for Transport Handling Using Integrated MCDM under Neutrosophic Environment", *Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering*, 235-256. <https://doi.org/10.22190/FUME220620039C>
- Dhalmahapatra, K., Garg, A., Singh, K., Xavier, N.F. and Maiti, J. (2022). "An Integrated RFUCOM–RTOPSIS Approach for Failure Modes and effects analysis: A case of Manufacturing Industry", *Reliability Engineering and System Safety*, 221, 108333. <https://doi.org/10.1016/j.res.2022.108333>
- Eka Saputro, T. and Daneshvar Rouyendegh, B. (2015). "A Hybrid Approach for Selecting Material Handling Equipment in a Warehouse", *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 11(1), 34-48. <https://doi.org/10.1080/17509653.2015.1042535>
- Esangbedo, M. O., Bai, S., Mirjalili, S. and Wang, Z. (2021). "Evaluation of Human Resource Information Systems Using Grey Ordinal Pairwise Comparison MCDM Methods", *Expert Systems with Applications*, 182, 115151. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115151>
- Esmailian, B., Behdad, S. and Wang, B. (2016). "The Evolution and Future of Manufacturing: A Review", *Journal of Manufacturing Systems*, 39, 79–100. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2016.03.001>
- Fulzele, S.B., Khatke, S.B., Kadam, S.J. and Kamble, A.G. (2022). "Application of Multi-Attribute Decision-Making Methods for the Selection of Conveyor", *Soft. Comput.* 26, 9873–9881. <https://doi.org/10.1007/s00500-022-07338-8>
- Gaur, A. V. and Ronge, B.P. (2020). "Ranking Material Handling Equipment Selection Criteria by AHP", *Techno-Societal 2018*, ed: Springer, 2020, 175–182. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-16962-6\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-030-16962-6_18)
- García-Cáceres, R.G., Torres-Hernández, G.G. and Delgado-Tobón, A.E. (2022). "Taxonomy of Material Handling Equipment Selection Methods at Distribution Centers", *Cuadernos de Administración* (Universidad del Valle), 38(73). <https://doi.org/10.25100/cdea.v38i73.11679>
- Gavade, R.K. (2014). "Multi-criteria decision making: an overview of Different Selection Problems and Methods", *International Journal of Computer Science Information Technology*, 5(4), 5643–5646.
- Ghorabae, M.K. (2016). "Developing an MCDM Method for Robot Selection with Interval Type-2 Fuzzy Sets", *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 37, 221-232. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2015.04.007>
- Goswami, S.S. and Behera, D.K. (2021). "Solving Material Handling Equipment Selection Problems in An Industry with the Help of Entropy Integrated COPRAS and ARAS MCDM Techniques", *Process Integration and Optimization for Sustainability*, 5(4), 947-973. <https://doi.org/10.1007/s41660-021-00192-5>
- Goswami, S.S. and Behera, D.K. (2023). "Developing Fuzzy-AHP-Integrated Hybrid MCDM System of COPRAS-ARAS for Solving an Industrial Robot Selection Problem", *International Journal of Decision Support System Technology (IJDSST)*, 15(1), 1-38. <https://doi.org/10.4018/IJDSST.324599>
- Görçün, Ö.F., Pamucar, D. and Biswas, S. (2023). "The Blockchain Technology Selection in the Logistics Industry Using A Novel MCDM Framework Based on Fermatean Fuzzy Sets and Dombi Aggregation", *Information Sciences*, 635, 345-374. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2023.03.113>
- Görçün, Ö.F., Ulutaş, A., Topal, A. and Ecer, F. (2024). "Telescopic Forklift Selection through A Novel Interval-Valued Fermatean Fuzzy PIPRECIA–WISP Approach", *Expert Systems with Applications*, 255, 124674. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.124674>
- Hadi-Vencheh, A. and Mohamadghasemi, A. (2015). "A New Hybrid Fuzzy Multi-Criteria Decision Making Model for Solving the Material Handling Equipment Selection Problem", *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 28(5), 534-550. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2014.880948>
- Hellmann, W., Marino, D., Megahed, M., Suggs, M., Borowski, J. and Negahban, A. (2019). "Human, AGV or AIV? An Integrated Framework for Material Handling System Selection with Real-World Application in An Injection Molding Facility", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 101, 815-824. <https://doi.org/10.1007/s00170-018-2958-x>

- Karande, P. and Chakraborty, S. (2013). "Material Handling Equipment Selection Using Weighted Utility Additive Theory", *Journal of Industrial Engineering*, 2013(1), 268708. <https://doi.org/10.1155/2013/268708>
- Khan, F. and Ali, Y. (2022). "Implementation of the Circular Supply Chain Management in the Pharmaceutical Industry", *Environment, Development and Sustainability*, 24(12), 13705-13731. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-02007-6>
- Kumar, V., Kalita, K., Chatterjee, P., Zavadskas, E.K. and Chakraborty, S. (2022). "A SWARA-Cocoso-Based Approach for Spray Painting Robot Selection", *Informatica*, 33(1), 35-54. <https://doi.org/10.15388/21-INFOR466>
- Ling, L., Anping, R. and Di, X. (2023). "Proposal of a Hybrid Decision-Making Framework for the Prioritization of Express Packaging Recycling Patterns", *Environment, Development and Sustainability*, 25(3), 2610-2647. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02145-5>
- Milošević, T.D., Pamucar, D. and Chatterjee, P. (2021). "Model for selecting a route for the Transport of Hazardous Materials Using A Fuzzy Logic System", *Vojnotehnički Glasnik*, 69(2), 355-390. <https://doi.org/10.5937/vojtehg69-29629>
- Mohamadghasemi, A., Hadi-Vencheh, A., Lotfi, F. H. and Khalilzadeh, M. (2020). "An Integrated Group FWA-ELECTRE III Approach Based on Interval Type-2 Fuzzy Sets For Solving the MCDM Problems Using Limit Distance Mean", *Complex and Intelligent Systems*, 6, 355-389. <https://doi.org/10.1007/s40747-020-00130-x>
- Nila, B. and Roy, J. (2023). "A New Hybrid MCDM Framework for Third-Party Logistic Provider Selection under Sustainability Perspectives", *Expert Systems with Applications*, 121009. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121009>
- Pamučar, D. and Ćirović, G. (2015). "The Selection of Transport and Handling Resources in Logistics Centers Using Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison (MABAC)", *Expert Systems with Applications*, 42(6), 3016-3028. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.11.057>
- Pamučar, D., Stević, Ž. and Sremac, S. (2018). "A New Model for Determining Weight coefficients of Criteria in MCDM Models: Full Consistency Method (FUCOM)", *Symmetry*, 10(9), 393. <https://doi.org/10.3390/sym10090393>
- Park, Y. B. (1996). "ICMESE: Intelligent Consultant System for Material Handling Equipment Selection and Evaluation", *Journal of Manufacturing Systems*, 15(5), 325-333. [https://doi.org/10.1016/0278-6125\(96\)84195-1](https://doi.org/10.1016/0278-6125(96)84195-1)
- Prasad, K., Zavadskas, E.K. and Chakraborty, S. (2015). "A Software Prototype for Material Handling Equipment Selection for Construction Sites", *Automation in Construction*, 57, 120-131. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.06.001>
- Riaz, M., Hashmi, M.R., Kalsoom, H., Pamucar, D. and Chu, Y.M. (2020). "Linear Diophantine Fuzzy Soft Rough Sets for the Selection of Sustainable Material Handling Equipment", *Symmetry*, 12(8), 1215. <https://doi.org/10.3390/sym12081215>
- Saputro, T.E., Masudin, I. and Rouyendegh, B.D. (2015). "A Literature Review on MHE Selection Problem: Levels, Contexts, and Approaches", *International Journal of Production Research*, 53(17), 5139-5152. <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1005254>
- Sen, K., Ghosh, S. and Sarkar, B. (2017). "Comparison of Customer Preference for Bulk Material Handling Equipment through Fuzzy-AHP Approach", *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C*, 98, 367-377. <https://doi.org/10.1007/s40032-016-0313-2>
- Skibniewski, M. J. and Zavadskas, E.K. (2013). "Technology Development in Construction: A Continuum from Distant Past into the Future", *Journal of Civil Engineering and Management*, 19(1), 136-147. <https://doi.org/10.3846/13923730.2012.756060>
- Sharma, M., Luthra, S., Joshi, S. and Kumar, A. (2021). "Accelerating Retail Supply Chain Performance Against Pandemic Disruption: Adopting Resilient Strategies to mitigate the Long-Term Effects", *Journal of Enterprise Information Management*, 34(6), 1844-1873. <https://doi.org/10.1108/JEIM-07-2020-0286>
- Stević, Ž. and Brković, N. (2020). "A Novel Integrated FUCOM-MARCOS Model for Evaluation of Human Resources in a Transport Company", *Logistics*, 4(1), 4. <https://doi.org/10.3390/logistics4010004>
- Sofuoğlu, M.A. (2020). "Fuzzy Applications of FUCOM Method in Manufacturing Environment", *Politeknik Dergisi*, 23(1), 189-195. <https://doi.org/10.2339/politeknik.586036>
- Soufi, Z., David, P. and Yahouni, Z. (2021). "A Methodology for the Selection of Material Handling Equipment in Manufacturing Systems", *IFAC-PapersOnLine*, 54(1), 122-127. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.08.193>
- Tadić, S., Krstić, M., Božić, M., Dabić-Miletić, S. and Zečević, S. (2024). "Ranking of Technologies for Intralogistic Bulk Material Handling Processes Using Fuzzy Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis and Axial-Distance-Based Aggregated Measurement Methods", *Applied Sciences*, 14(4), 1549. <https://doi.org/10.3390/app14041549>
- Ulutaş, A., Topal, A., Karabasevic, D. and Balo, F. (2023). "Selection of a Forklift for a Cargo Company with Fuzzy BWM and Fuzzy MCRAT Methods", *Axioms*, 12(5), 467. <https://doi.org/10.3390/axioms12050467>

- Verma, P. K., Kumar, R. and Goindi, G. S. (2020). "Evaluation of Material Handling Using MCDM Techniques: A Case Study", In *Advances in Production and Industrial Engineering: Select Proceedings of ICETMIE 2019* (pp. 389-401), Springer Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-5519-0\\_30](https://doi.org/10.1007/978-981-15-5519-0_30)
- Yazdani, M., Chatterjee, P., Pamucar, D. and Chakraborty, S. (2020). "Development of an Integrated Decision Making Model for Location Selection of Logistics Centers in the Spanish Autonomous Communities", *Expert Systems with Applications*, 148, 113208. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113208>
- Zhe, W., Yixiong, F., Zhaoxi, H. and Jianrong, T. (2017). "A TEL Decision Method of Process Parameters for Smart Energy Efficient Manufacturing", *Journal of Mechanical Science and Technology*, 31, 3897-3905. <https://doi.org/10.1007/s12206-017-0735-7>
- Zolfani, S.H., Görçün, Ö.F. and Küçükönder, H. (2023). "Evaluation of the Special Warehouse Handling Equipment (Turret Trucks) Using Integrated FUCOM and WASPAS Techniques Based on Intuitionistic Fuzzy Dombi Aggregation Operators", *Arabian Journal for Science and Engineering* 48(11), 15561-15595. <https://doi.org/10.1007/s13369-023-07615-0>



## Comparative Financial Efficiency and Performance Analysis with TOPSIS and MOORA Methods: An Application on Logistic Companies

İsmail Öztanır<sup>1</sup> 

### ABSTRACT

**Purpose:** This study aims to evaluate the financial performance and efficiency of logistics companies listed on Borsa İstanbul, with a focus on analyzing the impact of the pandemic through financial ratios from 2019 to 2023.

**Methodology:** In the research, TOPSIS and MOORA methods, which are multi-criteria decision-making methods, were used. These methods were used to assess the performance of the companies with the help of selected financial ratios.

**Findings:** Analysis of the top three performing companies showed notably high efficiency ratios—particularly receivables and inventory turnover—alongside low debt levels. GSDDE, ranked first by the TOPSIS method, stood out with significantly higher operating profitability in its peak years. Additionally, companies with stronger liquidity (e.g., higher acid-test ratios) outperformed others, highlighting the importance of solid cash reserves during economic uncertainty.

**Originality:** It is unique in that it focuses on measuring financial efficiency in the logistics sector by using TOPSIS and MOORA methods together and is research that compares pre- pandemic and post-pandemic performance results in the light of the findings of recent studies in the relevant sector. The study provides a unique perspective on the impact of the COVID-19 pandemic (2019–2023) on the logistics sector, offering insights into key financial indicators such as efficiency, debt structure, and profitability trends.

**Keywords:** Financial Performance, Efficiency Analysis, TOPSIS, MOORA, Logistics Industry.

**JEL Codes:** C44, C60, G30, M40, M49.

## TOPSIS ve MOORA Yöntemleri ile Karşılaştırmalı Finansal Verimlilik ve Performans Analizi: Lojistik Şirketlerine Yönelik Bir Uygulama

### ÖZET

**Amaç:** Bu çalışma, Borsa İstanbul'da işlem gören lojistik şirketlerinin finansal performans ve verimliliğini değerlendirmeyi ve 2019-2023 yılları arasındaki finansal oranlar üzerinden pandeminin sektör üzerindeki etkilerini analiz etmeyi amaçlamaktadır.

**Yöntem:** Araştırmada yöntem olarak çok kriterli karar verme yöntemlerinden TOPSIS ve MOORA kullanılmıştır. Bu yöntemler, seçilen finansal oranlar yardımıyla şirketlerin performans sıralamasında kullanılmıştır.

**Bulgular:** En iyi performans gösteren ilk üç şirketin finansal oranları incelendiğinde, özellikle alacak ve stok devir hızları gibi verimlilik oranlarının sektör ortalamasının üzerinde olduğu ve borç oranlarının düşük olduğu görülmüştür. TOPSIS yöntemine göre birinci sırada yer alan GSDDE, yüksek puan aldığı yıllarda diğer şirketlere kıyasla dikkate değer ölçüde yüksek faaliyet kârlılığı göstermiştir. Ayrıca, likiditesi güçlü olan (örneğin, yüksek asit-test oranına sahip) şirketlerin daha iyi performans sergilediği ve ekonomik belirsizlik dönemlerinde güçlü nakit rezervlerinin önemini vurguladığı anlaşılmıştır.

**Özgünlük:** TOPSIS ve MOORA yöntemlerini birlikte kullanarak lojistik sektöründe finansal verimliliğin ölçülmesine odaklanmış olması ve ilgili sektörde literatürde yakın zamanda yapılan çalışmaların bulguları ışığında pandemi öncesi ve sonrası performans sonuçlarını karşılaştıran bir araştırma olması bakımından özgündür. Çalışma, COVID-19 salgınının (2019-2023) lojistik sektörü üzerindeki etkisine dair benzersiz bir bakış açısı sunarak verimlilik, borç yapısı ve kârlılık eğilimleri gibi temel finansal göstergelere ilişkin fikirler sunmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Finansal Performans, Verimlilik Analizi, TOPSIS, MOORA, Lojistik Sektörü.

**JEL Kodları:** C44, C60, G30, M40, M49.

<sup>1</sup> Aydın Adnan Menderes University, Nazilli Economics and Administrative Sciences Faculty, Department of Business Administration, Aydın, Türkiye

Corresponding Author: İsmail Öztanır, ioztanir@adu.edu.tr

DOI: 10.51551/verimlilik.1656798

Research Article | Submitted: 13.03.2025 | Accepted: 06.05.2025

Cite: Öztanır, İ. (2025). "Comparative Financial Efficiency and Performance Analysis with TOPSIS and MOORA Methods: An Application on Logistic Companies", *Verimlilik Dergisi*, 59(3), 531-548.

## 1. INTRODUCTION

The concept of logistics encompasses the array of services that allow businesses to deliver their products or services to their final destinations at the correct location and time. Logistics is crucial for businesses to maintain sustainable competition and ensure the continuity of production. Moreover, in developing countries, the logistics sector significantly impacts the economy by generating employment, increasing national income, and attracting foreign investments. The primary reason for the importance and scale of the logistics sector is that it supports all industries (Erdoğan and Kırbaç, 2021).

The efficiency of global trade relies on the logistics sector's ability to move products, information, finance, technology, and human resources throughout the supply chain. Logistics companies must also monitor their financial performance to endure and thrive during periods of significant uncertainty. Financial performance acts as a key performance indicator, offering insights into a company's financial health. This financial evaluation can be utilized to assess a company before entering any collaboration or partnership. Financial institutions and investors also use financial assessments for credit analysis. Additionally, financial analysis can guide a company in developing strategies to enhance its business potential and mitigate risks (Lee et al., 2021). Financial analysis can be based on a logistics company's annual report, which includes the profit and loss statement and balance sheet, both of which are historical records. These analyses may encompass liquidity, solvency, and profitability ratios to gauge a company's ability to meet short-term and long-term obligations and to generate profit. However, profitability remains the primary concern for a logistics company to create value, hire employees, invest in research and development, and sustain and grow the business (Anthony et al., 2019). Logistics companies can measure and perform successful evaluations based on financial analyses such as profitability ratios, debt ratios, current ratios. Analyzing all these financial ratios can provide insight into logistics companies' annual strategic planning investments, especially in their plans for purchasing, insurance and maintenance of transportation units (Lam et al., 2021).

When the relationship between logistics and other business activities is examined, the manager needs financial resources when performing logistics-related activities. This is also related to capital. The scarcity of capital makes spending difficult. However, sufficient capital ensures that activities operate regularly and on time. For example, it is necessary to spend money for vehicles and places such as trucks, warehouses, etc. needed for transportation. If financial resources are not found for these, the activity cannot be carried out and healthy transportation cannot be done. The second is stocks. Stocks should be checked frequently with the finance manager. Because the cost of goods arriving at the stock is important and excess stock causes unnecessary costs (Akarçay, 2011: 17).

This study begins with a review of relevant literature, with a particular focus on the logistics sector. In the methodology section, details about the companies analyzed and the financial performance ratios used are provided. The application of the TOPSIS method, along with its role in financial performance measurement, is then described, followed by an explanation of the MOORA method. The performance rankings of the selected companies for the 2019–2023 period is presented, and the findings are analyzed and compared with results from other studies in the literature in the results and discussion section. The study concludes with a discussion of its limitations and recommendations for future research.

## 2. LITERATURE REVIEW

The financial performance of businesses can be evaluated using various methods. Over the past fifteen years, multi-criteria decision-making (MCDM) techniques have gained prominence in financial performance measurements across different countries and industries. Among these, the TOPSIS method has emerged as a widely utilized approach, particularly for performance evaluation.

While numerous MCDM methods exist—such as AHP, ELECTRE, PROMETHEE, and VIKOR—TOPSIS is particularly valued for its conceptual simplicity, computational efficiency, and its capacity to provide an intuitively meaningful ranking by evaluating alternatives based on their geometric closeness to an ideal and negative-ideal solution (Hwang & Yoon, 1981; Behzadian et al., 2012). This makes it especially suitable in financial contexts where decision-makers need clear, actionable insights despite the complexity of the criteria involved. MOORA, on the other hand, has emerged as a highly reliable and consistent method due to its use of ratio analysis, offering robust results across various applications, including financial performance, project evaluation, and economic efficiency studies (Brauers & Zavadskas, 2006; Brauers & Zavadskas, 2010). Notably, both TOPSIS and MOORA outperform more computationally intensive methods when decision environments demand simplicity, transparency, and adaptability to different weighting systems (Zavadskas et al., 2016; Stanujkic et al., 2012). Furthermore, their frequent validation in the literature underlines their capacity to handle conflicting criteria and deliver stable, comparable results, making them highly applicable for assessing corporate financial performance (Yazdani & Payam, 2015;

Pamučar & Čirović, 2015). Therefore, the application of these two methods in this study is strongly justified by their theoretical soundness, empirical credibility, and practical utility in the context of multi-criteria financial decision-making.

The analysis is specifically conducted on logistics companies listed on Borsa Istanbul. Accordingly, the subsequent sections, as summarized in Table 1, provide a comprehensive review of prior research concerning the financial performance evaluation of logistics firms.

The aim of the study conducted by Gümüş (2009) was to reveal the relationship between logistics activities and competitive strategies and business profits. When the relationship between logistics activities and business balance sheets was examined, it was seen that the slightest savings that could be made in logistics costs resulting from logistics activities carried out by businesses contributed to business profits at much higher rates. When the items of business balance sheets that logistics activities interact with were examined, it was seen that logistics activities were related to the asset; liquid assets, receivables and stocks items and the liability; short-term foreign resources, long-term foreign resources and equity. As a result, it was determined that businesses could gain competitive advantage with effective logistics management and that this competitive advantage could also be positively reflected in business profits.

In a study conducted by Birou et al. (2010), the impact of applied logistics knowledge on financial performance was examined comparatively between make-to-order and make-to-stock firms. The results show that higher investments in internal process improvement for make-to-order (MTO) firms are associated with higher applied channel logistics knowledge, whereas this relationship is not valid for make-to-stock (MTS) firms. In addition, the results show a positive relationship between internal process improvement investment and financial performance for MTO firms, but again this relationship is not valid for MTS firms. Although the increase in financial performance is significantly greater for MTO firms, both MTO and MTS firms show increased financial performance as applied channel logistics knowledge increases.

Hofmann and Lampe (2012) conducted a detailed balance sheet analysis of approximately 150 logistics service providers from all over the world. The study found that there were many differences in the financial structures of these companies. It was observed that this difference was especially in the asset and liquidity structure, and that the capital structures were mostly homogeneous. It was determined that profitability values emerged differently depending on high net profit margins or high asset turnover rates.

Küçükaltan et al. (2016) introduced a decision support model designed to identify and prioritize key performance indicators in the logistics sector. Their study proposed a stakeholder-driven Balanced Scorecard (BSC) approach, addressing the traditional BSC's limitations in considering diverse stakeholder perspectives. By integrating both financial (e.g., cost) and non-financial (e.g., social media) performance metrics, the model offers a more holistic assessment. Since these indicators are interdependent, the study applied the Analytic Network Process (ANP), a multi-criteria decision-making method, to examine their relationships. The combination of these two techniques provides a fresh perspective on evaluating logistics performance from industry professionals' viewpoints. The findings revealed that the most crucial factor for the competitiveness of logistics firms is having an educated workforce, accounting for 15.61% of the total weight.

Laari et al. (2018) explored the competitive strategies and green supply chain management (GSCM) practices of Finnish logistics service providers (LSPs), assessing their impact on environmental and financial performance. Their research found that top-performing LSPs—those with operational efficiency and strong brand presence—are more advanced in implementing GSCM compared to firms that lack a clear competitive advantage. While GSCM practices were shown to have a positive effect on environmental performance, no direct link to financial performance was observed.

In the research conducted by Konak et al. (2018), 23 textile companies traded on Borsa Istanbul were analyzed using TOPSIS and MOORA methods between 2010 and 2015. In the research, success scores were obtained using TOPSIS and MOORA methods in line with the variables determined to measure the financial performance of these companies, and the companies were ranked according to their performances with the obtained success scores. As a result, it was stated that the rankings created because of the analyzes made according to TOPSIS and MOORA methods were similar in the examined period.

**Table 1. Literature summary**

| <i>Author(s)</i>          | <i>Methods Used</i>                                                                                     | <i>Criteria / Focus Area</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gümüş (2009)              | Analysis of logistics activities and financial impacts                                                  | Relationship between logistics activities, business balance sheets, and profits. Competitive advantage via logistics.                                                                                                                                                                                           |
| Birou et al. (2010)       | Comparative analysis between MTO and MTS firms                                                          | Applied logistics knowledge, financial performance, and internal process improvement in MTO vs. MTS firms.                                                                                                                                                                                                      |
| Hofmann and Lampe (2012)  | Balance sheet analysis                                                                                  | Financial structures, asset and liquidity differences, profitability metrics of 150 logistics service providers.                                                                                                                                                                                                |
| Küçükaltan et al. (2016)  | Balanced Scorecard (BSC) model and Analytic Network Process (ANP)                                       | Performance measurement of logistics companies                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Konak et al. (2018)       | TOPSIS and MOORA methods                                                                                | Financial performance rankings for 23 textile firms (2010–2015) using success scores from TOPSIS and MOORA.                                                                                                                                                                                                     |
| Laari et al. (2018)       | survey data via an online questionnaire as part of the national Finland State of Logistics Survey 2014  | Based on a Finnish national logistics survey and financial reporting data from 266 logistics service providers, article examines their competitive strategies and green supply chain management (GSCM), and tests their respective relationships with environmental and financial performance.                  |
| Lam et al. (2021)         | Data envelopment analysis (DEA) and financial ratio analysis                                            | Efficiency and financial performance of Malaysian logistics companies.                                                                                                                                                                                                                                          |
| Erdoğan and Kırbaç (2021) | Entropy and WASPAS methods                                                                              | Financial performance of logistics companies on Fortune 500 (2015–2019), with export amounts as a key criterion.                                                                                                                                                                                                |
| Komcorhnt (2021)          | AHP-PROMETHEE method                                                                                    | Financial performance of Thai logistics service providers based on financial ratio criteria (4 main and 15 sub-criteria).                                                                                                                                                                                       |
| Sharma et al. (2021)      | Fuzzy TOPSIS                                                                                            | Performance assessment of Indian retail firms focusing on sustainable reverse logistics practices.                                                                                                                                                                                                              |
| Jang and Ahn (2021)       | Panel regression                                                                                        | Financial factors influencing return on assets (ROA) and return on equity (ROE) vary across different business types. To empower financial stability, companies must improve management practices.                                                                                                              |
| Ertugut & Oğuz (2022)     | Cross-sectional data and regression analysis                                                            | Impact of EU logistics centers on exports, GDP, and foreign direct investments.                                                                                                                                                                                                                                 |
| Altın and Filiz (2022)    | MCDM and DEA (Entropy-EDAS, MAUT, MOOSRA)                                                               | Performance evaluation of Turkish logistics villages and suggestions for future development.                                                                                                                                                                                                                    |
| Atayah et al. (2022)      | Correlation test of financial indicators with panel data                                                | Examining pandemic impact on financial performance from the first quarter of 2010 until the last quarter of 2020 as the research sample                                                                                                                                                                         |
| Meng and Wang (2022)      | Balanced Scorecard model and analytic hierarchy process (AHP)                                           | The performance evaluation of logistics enterprises                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Işık (2022)               | Grey Entropy, FUCOM and EDAS-M Methods                                                                  | Export volume, employee count, and net sales as the most critical performance factors for the performance evaluation. Among the evaluated firms, Ekol Logistics ranked highest based on the selected criteria                                                                                                   |
| Nguyen (2022)             | Financial ratio analysis with Wilcoxon Signed Rank Test                                                 | No overall improvement, with increased leverage ratios and declines in profitability and efficiency, while liquidity remained stable. The pandemic severely affected export activities and international transportation, limiting growth to a few domestic logistics firms                                      |
| Yürüyen et al. (2023)     | MCDM methods of SV, MEREC, CRITIC and LOPCOW                                                            | Companies may increase both their logistics and financial performance by reducing the Number of Employees (ÇAS) and using more artificial intelligence systems (autonomous warehouse vehicles, artificial intelligence-supported stock control systems and artificial intelligence-based transportation systems |
| Nenavani et al. (2024)    | Panel estimation of eighteen Indian-listed logistics companies and five global companies over 2013–2023 | An important link exists between ESG disclosures and financial performance. ESG scores had a positive impact overall. Findings suggest that ESG benefits may take longer to materialize in operational performance.                                                                                             |

Lam et al. (2021) evaluated the increase in the efficiency of logistics companies in Malaysia through data envelopment analysis. The financial performances of the companies were revealed through financial ratio analysis and data envelopment analysis, and it was determined that 5 companies, which constituted approximately 30% of the companies studied, were effective. It was revealed that these efficient companies were able to use their resources at the maximum level. It was determined that inefficient companies needed to reduce their input and increase their output to be efficient. As an example of this situation, it was stated that a series of measures could be taken to reduce the costs of assets, from better inventory management to reducing inventory carrying costs.

Erdoğan and Kırbaç (2021) analyzed the financial performance of logistics companies on the Fortune 500 list for the period 2015–2019 using the Entropy and WASPAS methods. The selected financial performance indicators included net sales, earnings before interest and taxes (EBIT), total assets, total equity, and export volume. According to the Entropy method, export volume emerged as the most significant performance criterion influencing the financial performance of logistics companies throughout the study period. In contrast, total assets and EBIT were found to have the least impact on performance during certain intervals. Rankings based on the WASPAS method identified Netlog and Borusan as the top-performing companies, with Netlog's success attributed primarily to a significant increase in net sales driven by exports.

In the research conducted by Komcorhnit (2021) the financial situation of logistics service providers in Thailand was examined with the integrated AHP-PROMETHEE method. The AHP method was selected to determine the weights of 4 main criteria and 15 sub-criteria based on financial ratios, while the PROMETHEE method was selected to rank from best to worst in terms of financial performance. As a result of the research, it was observed that the company, which is in a very good position in terms of activity and profitability ratios, is at the top of the ranking in terms of financial performance.

In a study conducted by Kumar et al. (2021) a performance assessment was conducted on Indian retail firms using the fuzzy TOPSIS method, considering sustainable reverse logistics (RL) practices. The major gap examined in the study was proper infrastructure and awareness at the store level. In this case, there is a need for clear guidelines on the manufacturing side on how to handle returns and logistics arrangements for manufacturers by the retailer. Retailers should be encouraged towards effective RL practices by the company. On the other hand, the government should also focus on RL and there should be some clear guidelines for RL. It has been found that it is imperative to ensure the adoption of RL to ensure the success of the firm in the long run and avoid challenges and hurdles with the help of promotion, incentive programs and compliance plans as it helps in capturing value from the entire global supply chain.

Ahn & Jang (2021) examined the financial structures of the Korean logistics industry and their impact on management performance, aiming to support stable industry growth. The findings reveal that financial factors influencing return on assets (ROA) and return on equity (ROE) vary across different business types. To strengthen financial stability, companies must improve management practices and adapt to these differences. This includes enhancing efficiency, increasing profitability, and diversifying their business portfolios to ensure long-term success.

In the research conducted by Ertugut and Oğuz (2022), it was aimed to determine the impact of logistics centers in European Union (EU) countries on exports using 2018 data with cross-section data and regression analysis method. As a result of the analysis, it was determined that there was a positive and significant relationship between logistics centers and exports, GDP and foreign direct investments. It was observed that a 1% increase in logistics centers caused a 0.9% increase in exports, while a 1% increase in GDP caused a 0.2% increase in exports and finally, a 1% increase in foreign direct investments caused a 0.7% increase in exports.

In a study conducted by Altın and Filiz (2022) the performance of logistics villages managed by the State Railways of the Republic of Turkey was assessed using MCDM and DEA (data envelopment analysis) methods. The study employed entropy-based EDAS, MAUT, and MOOSRA techniques. Efficiency scores for the logistics villages were determined using output-oriented DEA models. Based on the DEA findings, it is suggested that the logistics villages in Uşak and İstanbul (Halkalı) be used as models for future projects. The study indicates that Uşak logistics village could serve as a model for low-cost projects in regions with potential for development, while İstanbul (Halkalı) logistics village could be a model for large cities with growing industries.

Atayah et al. (2022) aimed to expand the existing logistics literature by analyzing the relationship between the financial performance of publicly traded logistics companies and the impact of COVID-19. The study also compared the financial performance of logistics firms across G-20 countries during the pandemic. The findings revealed that logistics firms experienced a notable increase in financial performance in 2020. On a country-specific level, the results aligned with the overall trend, as 14 out of the 20 nations analyzed saw

a significant improvement in their logistics firms' financial performance during the pandemic. However, the study also identified a decline in financial performance in six countries—Germany, Korea, Russia, Mexico, Saudi Arabia, and the UK—during the COVID-19 period).

Meng and Wang (2022) assessed the performance of logistics enterprises (LEs) in the context of online supply chain finance using the analytic hierarchy process (AHP). Their study developed a performance evaluation framework for LEs by incorporating the balanced scorecard model. AHP was then applied to assess logistics firms' performance within this framework. The research emphasized that in order to implement the online SCF model effectively, LEs need to enhance their performance evaluation systems to enable a more precise and systematic assessment of corporate performance. Identifying issues in a timely manner is crucial, as it allows companies to take proactive measures to support long-term growth and development. According to the results of performance evaluation, some suggestions have been put forward to optimize the performance of LE. These suggestions are "Meet Customer Needs and Improve Customer Satisfaction", "Improve the Business Ability of Employees" and "Improve Operational Efficiency".

Işık (2022) evaluated the performance of logistics companies listed in the Fortune 500 Turkey ranking using a new Multi-Criteria Decision Making (MCDM) approach. It integrates Gray Entropy for objective weighting, FUCOM for subjective weighting, and the EDAS-M method for ranking company performance. By combining these weighting techniques, the study ensures a balanced assessment. The results highlight export volume, employee count, and net sales as the most critical performance factors. Among the evaluated firms, Ekol Logistics ranked highest based on the selected criteria. The proposed hybrid model provides valuable insights for logistics companies aiming to optimize resource use in an increasingly competitive market.

Nguyen (2022) analyzed the financial performance of 114 logistics companies listed on the Vietnam Stock Exchange, comparing key financial ratios from 2019 to 2020 using the Wilcoxon Signed Rank Test. The COVID-19 pandemic has significantly impacted the economy, weakening the financial performance of businesses, including logistics firms. While global supply chains and manufacturing faced disruptions, the rise of e-commerce created new growth opportunities for the logistics sector. The findings indicate no overall improvement, with increased leverage ratios and declines in profitability and efficiency, while liquidity remained stable. The pandemic severely affected export activities and international transportation, limiting growth to a few domestic logistics firms.

Yürüyen et al. (2023) analyzed the performance of logistics firms listed on the *Fortune 500 Turkey* website for 2021 using integrated Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods. The logistics sector is crucial in today's global economy, where cost and time efficiency are key to supply chain success. Evaluating logistics companies' performance is vital for assessing economic benefits and improving management strategies. Objective weights for evaluation criteria were determined through SV, MEREC, CRITIC, and LOPCOW methods, while the MACONT method ranked the companies. As a result, it was observed that 2 companies were more successful than the other companies. All companies can increase both their logistics and financial performance by reducing the Number of Employees (ÇAS) and using more artificial intelligence systems (autonomous warehouse vehicles, artificial intelligence-supported stock control systems and artificial intelligence-based transportation systems). In addition, these companies can focus on the Change in Earnings Before Interest and Tax criterion and increase the value in this criterion.

Nenevani et al. (2024) examined the relationship between Environment, Social, and Governance (ESG) disclosures and the financial performance of Indian and global logistics companies. With regulatory compliance becoming mandatory in India from April 2024, companies are making greater efforts to align with these requirements. The analysis found a significant, though not very strong, link between ESG disclosures and financial performance. ESG scores had a positive impact overall, with governance playing a notable role in return on equity (ROE), while social and environmental factors showed mixed results. Revenue growth and net profit margin did not exhibit a significant correlation with ESG scores, possibly due to industry-specific factors like competition and geographic reach. Additionally, the financial impact of ESG is not uniform across all metrics, as seen in prior studies, and the lingering effects of COVID-19 further complicate the analysis. The findings suggest that ESG benefits may take longer to materialize in operational performance.

This study distinguishes itself from others in the literature by comparing financial performance rankings obtained through the TOPSIS method—recognized as one of the most frequently used techniques in financial performance measurement—with those obtained through the MOORA method, known for its high reliability among MCDM methods. The selection of these methods for ranking firms' financial performance is grounded in their well-documented methodological advantages and empirical robustness compared to other multi-criteria decision-making (MCDM) techniques.

### 3. APPLICATION

#### 3.1. Data and Ratio Set

In the study, the financial performance of 6 companies traded in the Borsa Istanbul Logistics index was examined for the 5-year period between 2019 and 2023. Companies within the scope of the research are presented in Table 2.

**Table 2. Company information**

| <i>Stock Market Code</i> | <i>Corporate Name</i>                                    |
|--------------------------|----------------------------------------------------------|
| BEYAZ                    | Beyaz Filo Beyaz Filo Oto Kiralama A.Ş.                  |
| CLEBI                    | Çelebi Hava Servisi A.Ş.                                 |
| GSDDE                    | Gsd Denizcilik Gayrimenkul İnşaat Sanayi ve Ticaret A.Ş. |
| PGSUS                    | Pegasus Hava Taşımacılığı A.Ş.                           |
| RYSAS                    | Reysaş Taşımacılık ve Lojistik Ticaret A.Ş.              |
| THYAO                    | Türk Hava Yolları A.O.                                   |

Within the scope of the research, firstly the financial ratios of the companies used in the research were calculated. The financial tables used in the calculation of the financial ratios were downloaded from the official website of the Public Disclosure Platform ([www.kap.gov.tr](http://www.kap.gov.tr)). In the determination of the financial ratios used within the scope of the research, the studies of Erdoğan and Kırbaç (2021) and Komchorrit (2020), which were prominent in the literature review, were used. In addition, it is thought that the use of stock-based ratios based on inventory amounts, which are considered to be important in the measurement of efficiency and have an important place in the assets of the balance sheets of logistics companies, and also the use of all activity turnover, also known as productivity ratios, is critical in achieving the purpose of the study. The 8 financial ratios preferred within this scope are presented in Table 3.

**Table 3. Financial ratios**

| <i>Symbol</i> | <i>Ratio</i>                                         | <i>TOPSIS Ideal Solution Target</i> |
|---------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| R1            | Acid Test Ratio                                      | Maximum                             |
| R2            | Receivables Turnover                                 | Maximum                             |
| R3            | Inventory Turnover                                   | Maximum                             |
| R4            | Asset Turnover                                       | Maximum                             |
| R5            | Financial Leverage Ratio (Debt/Asset)                | Minimum                             |
| R6            | Debt/Equity                                          | Minimum                             |
| R7            | Equity Efficiency Ratio (Period Profit/Equity)       | Maximum                             |
| R8            | Operating Profit Margin (Operating Profit/Net Sales) | Maximum                             |

Within the scope of liquidity ratio, only the acid test ratio was included in the study. The reason for not using the current ratio, which is the ratio mostly used in studies, is that the current ratio and acid test ratio values are very close in the data set of this study. In addition, since the inventory item is relatively more important in the logistics sector compared to other sectors, it was thought that the acid test ratio would be sufficient for liquidity analysis.

Within the scope of activity turnover ratios, it was preferred to use all activity turnover ratios. Because the study also aimed to measure the financial efficiency levels of logistics companies, it was thought that it was necessary to use all efficiency ratios (receivables turnover, inventory turnover, asset turnover).

Within the scope of debt turnover ratios, the financial leverage ratio and the debt-to-equity ratio, which are frequently preferred in studies, were preferred. Within the scope of profitability ratio, the equity efficiency ratio and the operating profit margin were preferred. The reason for preferring equity-related ratios within the scope of both debt and profitability ratios is to measure whether logistics companies use their equity efficiently.

#### 3.2. Methodology

TOPSIS (The Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) method was introduced as a multi-criteria decision-making technique (Hwang & Yoon, 1981). Later, improvements were added to the method by Yoon (1987) and Hwang et al. (1993). The method is based on selecting the alternative with the shortest distance to the positive ideal solution and the farthest distance to the negative ideal solution (Gürkan & Aldoury, 2021). The TOPSIS method includes a solution process consisting of 6 steps (Hwang & Yoon, 1981).

In the research, the calculations made for 2019 are given below as an example of the TOPSIS method, which has a 6-steps solution process, and the calculations made between 2020-2023 are not included to avoid repeating similar processes.

**Step 1:** In the first step, the decision matrix is created as seen in Table 4. The rows contain the companies with alternatives whose superiority is desired to be understood, and the columns contain the ratio values, which are the criteria to be used in the decision-making step.

**Table 4. Decision matrix for 2019**

| Company | R1     | R2      | R3       | R4     | R5     | R6      | R7      | R8     |
|---------|--------|---------|----------|--------|--------|---------|---------|--------|
| BEYAZ   | 1.6185 | 4.0535  | 74.6625  | 2.6614 | 0.5871 | 1.4218  | 0.1202  | 0.0286 |
| CLEBI   | 0.7753 | 8.6539  | 80.7646  | 0.8461 | 0.7421 | 2.8774  | 0.3360  | 0.1573 |
| GSDDE   | 0.1663 | 18.3652 | 53.2861  | 0.1658 | 0.4357 | 0.7722  | -0.0409 | 0.0238 |
| PGSUS   | 1.2620 | 24.6661 | 110.3492 | 0.5235 | 0.7463 | 2.9421  | 0.2498  | 0.1870 |
| RYSAS   | 0.2674 | 12.3228 | 13.0220  | 0.4640 | 0.9556 | 21.5161 | 0.0712  | 0.3068 |
| THYAO   | 0.7515 | 23.4744 | 36.0064  | 0.5115 | 0.7222 | 2.6002  | 0.1112  | 0.0671 |

**Step 2:** The normalized decision matrix is created at this step. Thus, the data set with high values is reduced to the range of -1 to 1.

Equation 1 is used to generate the normalized decision matrix. In this equation,  $i$  represents the rows, while  $j$  corresponds to the columns. The numerator contains the value ( $f$ ) for the specific ratio and the corresponding company within the decision matrix. Meanwhile, the denominator consists of the square root of the sum of the squared values of all companies for that ratio—in other words, the totals found in the last row of Table 4.

$$r_{ij} = \frac{f_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^j f_{ij}^2}} \quad (1)$$

The calculation for the normalized value of the R1 ratio for the BEYAZ company, 0.6916, is presented below as an example.

$$0.6916 = \frac{1.6185}{2.3403}$$

The normalized decision matrix calculated with Equation 1 is presented in Table 5.

**Table 5. Normalized decision matrix for 2019**

| Company | R1     | R2     | R3     | R4     | R5     | R6     | R7      | R8     |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|
| BEYAZ   | 0.6916 | 0.0972 | 0.4416 | 0.9087 | 0.3347 | 0.0643 | 0.2631  | 0.0717 |
| CLEBI   | 0.3313 | 0.2075 | 0.4777 | 0.2889 | 0.4231 | 0.1301 | 0.7352  | 0.3936 |
| GSDDE   | 0.0711 | 0.4403 | 0.3152 | 0.0566 | 0.2484 | 0.0349 | -0.0895 | 0.0595 |
| PGSUS   | 0.5392 | 0.5913 | 0.6527 | 0.1788 | 0.4255 | 0.1330 | 0.5466  | 0.4679 |
| RYSAS   | 0.1143 | 0.2954 | 0.0770 | 0.1584 | 0.5448 | 0.9727 | 0.1558  | 0.7676 |
| THYAO   | 0.3211 | 0.5628 | 0.2130 | 0.1746 | 0.4117 | 0.1176 | 0.2433  | 0.1679 |

**Step 3:** In the third step, the weighted normalized decision matrix is generated. First, the criterion weights are established, with the requirement that their total must equal 1. In this study, equal weight was assigned to each criterion, resulting in a weight coefficient of  $1 / 8 = 0.125$  for each ratio. The weighted normalized decision matrix was then created using the following equation. In Equation 2,  $w$  denotes the weight coefficient.

$$v_{ij} = w_i \times r_{ij} \quad (2)$$

**Table 6. Weighted normalized decision matrix for 2019**

| Company | R1     | R2     | R3     | R4     | R5     | R6     | R7      | R8     |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|
| BEYAZ   | 0.0864 | 0.0121 | 0.0552 | 0.1136 | 0.0418 | 0.0080 | 0.0329  | 0.0090 |
| CLEBI   | 0.0414 | 0.0259 | 0.0597 | 0.0361 | 0.0529 | 0.0163 | 0.0919  | 0.0492 |
| GSDDE   | 0.0089 | 0.0550 | 0.0394 | 0.0071 | 0.0311 | 0.0044 | -0.0112 | 0.0074 |
| PGSUS   | 0.0674 | 0.0739 | 0.0816 | 0.0223 | 0.0532 | 0.0166 | 0.0683  | 0.0585 |
| RYSAS   | 0.0143 | 0.0369 | 0.0096 | 0.0198 | 0.0681 | 0.1216 | 0.0195  | 0.0960 |
| THYAO   | 0.0401 | 0.0703 | 0.0266 | 0.0218 | 0.0515 | 0.0147 | 0.0304  | 0.0210 |

The calculation for the weighted normalized value of R1, 0.0864, for the BEYAZ company is presented below.

$$0.0864 = 0.125 \times 0.6916$$

**Step 4:** In the fourth step, it is necessary to identify the ideal and negative ideal solutions as seen in Table 7. The ideal solution is represented by the best performance values from the weighted normalized decision matrix, while the negative ideal solution corresponds to the worst performance values. It is crucial to accurately determine the target for the ideal solution (whether it should be a maximum or minimum). For instance, the maximum value is considered ideal for profit, whereas the minimum value is ideal for cost.

**Table 7. Positive and negative ideal solution values for 2019**

|                     | R1     | R2     | R3     | R4     | R5     | R6     | R7      | R8     |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|
| Positive ideal (A+) | 0.0864 | 0.0739 | 0.0816 | 0.1136 | 0.0311 | 0.0044 | 0.0919  | 0.0960 |
| Negative ideal (A-) | 0.0089 | 0.0121 | 0.0096 | 0.0071 | 0.0681 | 0.1216 | -0.0112 | 0.0074 |

Except for the R5 and R6 ratios, the ideal solution target for the other 6 ratios was determined as maximum. Accordingly, the highest number for the R1-R4 and R7-R8 ratios in the weighted normalized decision matrix presented in Table 6 was selected as the ideal solution value. For R5 and R6, the ideal solution target was determined as minimum. Therefore, for example, the ideal solution value determined for R5, 0.0311, is the lowest number for R5 in the weighted normalized decision matrix. Negative ideal solution values were determined as the lowest number for ratios with a maximum ideal solution target, and the highest number for ratios with a minimum ideal solution target.

**Step 5:** The distances to the ideal solution and the negative ideal solution are calculated as seen in Table 8 and 9. At this step,  $S_j^+$  shows how far the alternative is from the positive ideal solution, and  $S_j^-$  shows how far it is from the negative ideal solution. The distances from the positive and negative ideal solutions are calculated using Equation 3 and Equation 4, respectively.

$$S_j^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v^+)^2} \quad j = 1, 2, \dots, j \quad (3)$$

$$S_j^- = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v^-)^2} \quad j = 1, 2, \dots, j \quad (4)$$

**Table 8. Distance values to positive ideal solution for 2019**

| Company | R1     | R2     | R3     | R4     | R5     | R6     | R7     | R8     | Total  | Sj +   |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| BEYAZ   | 0.0000 | 0.0038 | 0.0007 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0035 | 0.0076 | 0.0157 | 0.1252 |
| CLEBI   | 0.0020 | 0.0023 | 0.0005 | 0.0060 | 0.0005 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0022 | 0.0135 | 0.1164 |
| GSDDE   | 0.0060 | 0.0004 | 0.0018 | 0.0113 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0106 | 0.0078 | 0.0380 | 0.1949 |
| PGSUS   | 0.0004 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0083 | 0.0005 | 0.0001 | 0.0006 | 0.0014 | 0.0112 | 0.1059 |
| RYSAS   | 0.0052 | 0.0014 | 0.0052 | 0.0088 | 0.0014 | 0.0129 | 0.0052 | 0.0000 | 0.0401 | 0.2002 |
| THYAO   | 0.0021 | 0.0000 | 0.0030 | 0.0084 | 0.0004 | 0.0000 | 0.0038 | 0.0056 | 0.0235 | 0.1532 |

The calculations for the distance value of 0.1164 to the positive ideal solution calculated for the CLEBI company with Equation 5 are shown below.

$$(0.0414 - 0.0864)^2 = 0.0020$$

$$\Sigma(R_1 - R_8) = (0.0020 + \dots + 0.0022) = 0.0135 \quad (5)$$

$$S_j^+ = \sqrt{0.0135} = 0.1164$$

**Table 9. Distance values to negative ideal solution for 2019**

| Company | R1     | R2     | R3     | R4     | R5     | R6     | R7     | R8     | Total  | Sj -   |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| BEYAZ   | 0.0052 | 0.0000 | 0.0021 | 0.0113 | 0.0007 | 0.0129 | 0.0019 | 0.0000 | 0.0342 | 0.1848 |
| CLEBI   | 0.0007 | 0.0002 | 0.0025 | 0.0008 | 0.0002 | 0.0111 | 0.0106 | 0.0017 | 0.0280 | 0.1673 |
| GSDDE   | 0.0000 | 0.0018 | 0.0009 | 0.0000 | 0.0014 | 0.0137 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0179 | 0.1337 |
| PGSUS   | 0.0028 | 0.0038 | 0.0052 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0110 | 0.0063 | 0.0026 | 0.0322 | 0.1795 |
| RYSAS   | 0.0000 | 0.0006 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0009 | 0.0078 | 0.0096 | 0.0977 |
| THYAO   | 0.0007 | 0.0034 | 0.0003 | 0.0002 | 0.0003 | 0.0114 | 0.0017 | 0.0002 | 0.0182 | 0.1348 |

The calculations for the distance value of 0.1673 to the negative ideal solution calculated for the CLEBI company with Equation 6 are shown below.

$$(0.0414 - 0.0143)^2 = 0.0007$$

$$\Sigma(R_1 - R_8) = (0.0007 + \dots + 0.0017) = 0.0280$$

$$S_j^- = \sqrt{0.0280} = 0.1673 \quad (6)$$

**Step 6:** In the last step, the relative closeness value to the ideal solution,  $C_j^*$ , is calculated as seen in Table 10. Then, the order is made from largest to smallest according to the closeness value to the ideal solution. The business with the highest closeness value to the ideal solution means the business with the highest performance. The relative closeness value to the ideal solution is calculated with the help of Equation 7.

$$C_j^* = \frac{S_j^-}{S_j^+ + S_j^-} \quad 0 < C_j^* < 1 \quad (7)$$

**Table 10. Relative closeness values to the ideal solution for 2019**

| Company | $S_j^+$ | $S_j^-$ | $C_j^*$ |
|---------|---------|---------|---------|
| BEYAZ   | 0.1252  | 0.1848  | 0.5961  |
| CLEBI   | 0.1164  | 0.1673  | 0.5897  |
| GSDDE   | 0.1949  | 0.1337  | 0.4069  |
| PGSUS   | 0.1059  | 0.1795  | 0.6290  |
| RYSAS   | 0.2002  | 0.0977  | 0.3281  |
| THYAO   | 0.1532  | 0.1348  | 0.4682  |

The relative closeness value to the ideal solution calculated for the BEYAZ company, 0.5961, is calculated as follows with Equation 8.

$$\frac{0.1848}{0.1252 + 0.1848} = 0.5961 \quad (8)$$

### 3.3. TOPSIS Method in Measuring Financial Performance

The scope of the research included 6 companies in the logistics index and 8 financial ratios (criteria) were determined to measure their financial performance. With these ratios, separate decision matrices (6 x 8) were created for each year between 2019-2023. In the implementation phase of the TOPSIS method, 8 financial ratios (criteria); Ertuğrul & Karakasoğlu (2009); Uygurtürk & Korkmaz (2012), Bulgurcu (2012) and Orçun & Eren (2017) and Gürkan & Aldoury (2021) were weighted equally, like the studies. In other words, the weight of each financial ratio in the TOPSIS calculation was set at 1/8. The computed financial ratios were then consolidated into a single score representing overall business performance using the TOPSIS method. Following this, the businesses were ranked, and the performance evaluation process was concluded.

Ranking the financial performance of companies using the TOPSIS method is effective for single-term comparisons. However, for comparisons spanning multiple periods, an index should be created as recommended by Bayramoğlu & Başarır (2016). After Bayramoğlu & Başarır (2016) ranked the financial performances of companies using the TOPSIS method for each period, they assigned a score to each company based on its success ranking for each period. The total success scores for different periods were then used to assess the long-term financial performance of each company.

In line with the study by Gürkan & Aldoury (2021), a two-step performance index was created in this study to enable long-term financial performance comparisons. First, the relative closeness values ( $C^*$ ) to the ideal solution, estimated using the TOPSIS method, are aggregated, and the share of each business in the total is calculated as a percentage for each year using the formula below. Essentially, the percentage share of each business in the total is determined. This percentage share then forms the performance index score (as seen in equation 9) for each business for that period. In the second step, the financial performance scores, calculated separately for each business by period, are summed, and the long-term financial performance ranking is determined based on the three-period totals.

$$\text{Performance index score} = \frac{Ci^*}{\Sigma Ci^*} \times 100 \quad (9)$$

### 3.4. MOORA Method Application

The research covers the years 2019-2023 and only the MOORA application for 2019 is included as an example. The MOORA method is applied in 3 steps.

**Step 1:** There are 6 alternatives (businesses) and 8 criteria (financial ratios) in the study. First, the (6x8) sized standard decision matrix was created for the MOORA method. Accordingly, the 2019 decision matrix of the businesses subject to the study is as shown in Table 3 above in the TOPSIS method.

**Step 2:** The square matrix created by taking the square root of the sum of the squares of the scores of the criteria in the decision matrix is shown in Table 4, and the normalized decision matrix created by dividing the values in the decision matrix by this square root value in the square matrix is shown in Table 5.

**Step 3:** The values of the normalized decision matrix are weighted according to the importance given to the criteria. The 8 criteria determined in the analysis are weighed equally by 1/8. The Weighted Normalized Decision Matrix is shown in Table 6, and the optimization of the MOORA method based on the ratio system approach is shown in Table 11 below. The values in Table 11 were created by assigning equal weight to the eight values in Table 6, that is, the normalized decision matrix; that is, they were calculated as 1/8 of each value.

**Table 11. Application of MOORA ratio method with normalized matrix for 2019**

|         | R1     | R2     | R3     | R4     | R5     | R6     | R7      | R8     | Optimization value          | PGSUS |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|-----------------------------|-------|
| Min/Max | Max    | Max    | Max    | Max    | Min    | Min    | Max     | max    | $\Sigma \max - \Sigma \min$ | Rank  |
| PGSUS   | 0.0674 | 0.0739 | 0.0816 | 0.0223 | 0.0532 | 0.0166 | 0.0683  | 0.0585 | 0.3022                      | 1     |
| BEYAZ   | 0.0864 | 0.0121 | 0.0552 | 0.1136 | 0.0418 | 0.0080 | 0.0329  | 0.0090 | 0.2594                      | 2     |
| CLEBI   | 0.0414 | 0.0259 | 0.0597 | 0.0361 | 0.0529 | 0.0163 | 0.0919  | 0.0492 | 0.2350                      | 3     |
| THYAO   | 0.0401 | 0.0703 | 0.0266 | 0.0218 | 0.0515 | 0.0147 | 0.0304  | 0.0210 | 0.1440                      | 4     |
| GSDDE   | 0.0089 | 0.0550 | 0.0394 | 0.0071 | 0.0311 | 0.0044 | -0.0112 | 0.0074 | 0.0711                      | 5     |
| RYSAS   | 0.0143 | 0.0369 | 0.0096 | 0.0198 | 0.0681 | 0.1216 | 0.0195  | 0.0960 | 0.0064                      | 6     |

Based on the MOORA method optimization ranking results in 2019, it is observed that the company with the best performance is PGSUS, as in the TOPSIS method. As a result of the calculations made in the same way, it was determined that the company with the best performance in 2020 was BEYAZ, and the company with the best performance in the other 3 years between 2021-2023 was GSDDE as shown in Table 12, 13, 14 and 15.

**Table 12. Application of MOORA ratio method with normalized matrix for 2020**

|         | R1     | R2     | R3     | R4     | R5     | R6     | R7      | R8      | Optimization value          | BEYAZ |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|-----------------------------|-------|
| Min/Max | Max    | Max    | Max    | Max    | Min    | Min    | Max     | max     | $\Sigma \max - \Sigma \min$ | Rank  |
| BEYAZ   | 0.0657 | 0.0366 | 0.0074 | 0.1218 | 0.0439 | 0.0239 | 0.0522  | 0.0100  | 0.2258                      | 1     |
| RYSAS   | 0.0341 | 0.0380 | 0.0173 | 0.0133 | 0.0528 | 0.0428 | -0.0162 | 0.0836  | 0.0745                      | 2     |
| GSDDE   | 0.0121 | 0.0403 | 0.0833 | 0.0058 | 0.0293 | 0.0103 | -0.0212 | -0.0330 | 0.0477                      | 3     |
| CLEBI   | 0.0637 | 0.0348 | 0.0592 | 0.0212 | 0.0596 | 0.0766 | -0.0719 | 0.0366  | 0.0075                      | 4     |
| THYAO   | 0.0450 | 0.0378 | 0.0197 | 0.0094 | 0.0561 | 0.0552 | -0.0303 | -0.0082 | -0.0378                     | 5     |
| PGSUS   | 0.0626 | 0.0926 | 0.0666 | 0.0063 | 0.0579 | 0.0649 | -0.0781 | -0.0777 | -0.0505                     | 6     |

**Table 13. Application of MOORA ratio method with normalized matrix for 2021**

|         | R1     | R2     | R3     | R4     | R5     | R6     | R7      | R8      | Optimization value          | GSDDE |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|-----------------------------|-------|
| Min/Max | Max    | Max    | Max    | Max    | Min    | Min    | Max     | max     | $\Sigma \max - \Sigma \min$ | Rank  |
| GSDDE   | 0.1169 | 0.1219 | 0.0290 | 0.0075 | 0.0235 | 0.0068 | 0.0527  | 0.1139  | 0.4115                      | 1     |
| BEYAZ   | 0.0188 | 0.0099 | 0.0054 | 0.1225 | 0.0422 | 0.0188 | 0.0438  | 0.0029  | 0.1424                      | 2     |
| CLEBI   | 0.0258 | 0.0050 | 0.0278 | 0.0170 | 0.0537 | 0.0355 | 0.0773  | 0.0266  | 0.0904                      | 3     |
| RYSAS   | 0.0131 | 0.0069 | 0.1066 | 0.0110 | 0.0507 | 0.0298 | -0.0147 | 0.0395  | 0.0819                      | 4     |
| THYAO   | 0.0159 | 0.0059 | 0.0142 | 0.0100 | 0.0575 | 0.0454 | 0.0207  | 0.0180  | -0.0181                     | 5     |
| PGSUS   | 0.0228 | 0.0237 | 0.0491 | 0.0073 | 0.0673 | 0.1049 | -0.0656 | -0.0074 | -0.1424                     | 6     |

**Table 14. Application of MOORA ratio method with normalized matrix for 2022**

|         | R1     | R2     | R3     | R4     | R5     | R6     | R7     | R8     | Optimization value          | GSDDE |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------------------------|-------|
| Min/Max | Max    | Max    | Max    | Max    | Min    | Min    | Max    | max    | $\Sigma \max - \Sigma \min$ | Rank  |
| GSDDE   | 0.1149 | 0.1248 | 0.0564 | 0.0106 | 0.0191 | 0.0056 | 0.0067 | 0.0939 | 0.3826                      | 1     |
| CLEBI   | 0.0313 | 0.0016 | 0.0684 | 0.0364 | 0.0446 | 0.0242 | 0.0666 | 0.0396 | 0.1751                      | 2     |
| PGSUS   | 0.0208 | 0.0055 | 0.0704 | 0.0215 | 0.0607 | 0.0708 | 0.0738 | 0.0346 | 0.0952                      | 3     |
| THYAO   | 0.0179 | 0.0025 | 0.0431 | 0.0259 | 0.0513 | 0.0360 | 0.0490 | 0.0239 | 0.0752                      | 4     |
| RYSAS   | 0.0201 | 0.0007 | 0.0296 | 0.0222 | 0.0620 | 0.0799 | 0.0570 | 0.0588 | 0.0465                      | 5     |
| BEYAZ   | 0.0169 | 0.0008 | 0.0081 | 0.1121 | 0.0558 | 0.0482 | 0.0069 | 0.0040 | 0.0449                      | 6     |

**Table 15. Application of MOORA ratio method with normalized matrix for 2023**

|                | <i>R1</i>  | <i>R2</i>  | <i>R3</i>  | <i>R4</i>  | <i>R5</i>  | <i>R6</i>  | <i>R7</i>  | <i>R8</i>  | <i>Optimization value</i>     | <i>GSDDE</i> |
|----------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------------------------|--------------|
| <i>Min/Max</i> | <i>Max</i> | <i>Max</i> | <i>Max</i> | <i>Max</i> | <i>Min</i> | <i>Min</i> | <i>Max</i> | <i>max</i> | $\Sigma_{max} - \Sigma_{min}$ | <i>Rank</i>  |
| GSDDE          | 0.0945     | 0.1120     | 0.0671     | 0.0028     | 0.0198     | 0.0087     | -0.0317    | 0.0336     | 0.2497                        | 1            |
| CLEBI          | 0.0429     | 0.0085     | 0.0670     | 0.0167     | 0.0569     | 0.0565     | 0.0612     | 0.0569     | 0.1400                        | 2            |
| RYSAS          | 0.0324     | 0.0121     | 0.0256     | 0.0159     | 0.0486     | 0.0377     | 0.0460     | 0.0921     | 0.1376                        | 3            |
| PGSUS          | 0.0440     | 0.0448     | 0.0634     | 0.0082     | 0.0631     | 0.0790     | 0.0669     | 0.0416     | 0.1269                        | 4            |
| THYAO          | 0.0313     | 0.0212     | 0.0397     | 0.0113     | 0.0488     | 0.0380     | 0.0623     | 0.0317     | 0.1108                        | 5            |
| BEYAZ          | 0.0299     | 0.0200     | 0.0194     | 0.1220     | 0.0571     | 0.0571     | 0.0200     | 0.0061     | 0.1033                        | 6            |

#### 4. FINDINGS

As part of the research, the relative closeness values to the ideal solution, calculated using the TOPSIS method, along with the performance rankings and performance index scores based on these values, were computed separately for the years 2019-2023. In addition, to observe long-term performance, the performance scores between the years 2019-2023 were shown collectively for comparison of the years.

The business with the highest relative closeness value ( $C^*$ ) to the ideal solution should be regarded as having the best financial performance compared to other businesses within the scope of the research for the relevant period. Based on Table 16, the business with the best financial performance for 2019 is PGSUS (0.6290). How the performance index score of PGSUS is calculated is shown below as an example.

$$\text{Performance Index Score (PGSUS)} = \frac{0.6290}{3.0179} \times 100 = 20.8411$$

Accordingly, PGSUS, which has the highest  $C^*$  value, received a performance index score of 20.8411; while RYSAS, which has the lowest  $C^*$  value, received a performance index score of 10.8707. Accordingly, it is seen that there is a difference of approximately 10 points between the best financial performance and the weakest financial performance in 2019. When the financial ratio data set for 2019 is examined, it is seen that the receivables turnover rate and inventory turnover rate, which are also known as efficiency ratios of PGSUS company, have clearly higher efficiency ratios than other companies. It is also observed that it is the 2nd Company with the best ratios in terms of equity efficiency ratio and operating profit.

Regarding Table 16, the company with the best financial performance for 2020 is BEYAZ, with a  $C^*$  value of 0.6011. Consequently, BEYAZ received a performance index score of 22.3927, while PGSUS, with the lowest  $C^*$  value, received a performance index score of 11.5445. Thus, there is an approximate difference of 11 points between the highest and lowest financial performance scores in 2020. It is noteworthy that PGSUS, which ranked 1st in 2019, ranked last the following year. When the financial ratios of the relevant company are examined, it is seen that there has been a remarkable deterioration compared to the previous year, especially in profitability ratios. The main reason for this can be said to be the negative effects of the pandemic directly on the aviation sector, which clearly manifested itself in the 2020 fiscal year results. It is noteworthy that the companies in the last 2 places in 2020 are PGSUS and THYAO, which operate in the aviation sector.

According to Table 16, the company with the best financial performance for 2021 is GSDDE, with a  $C^*$  value of 0.6445. Consequently, GSDDE received a performance index score of 27.1428, while PGSUS, with the lowest  $C^*$  value, received a performance index score of 6.1052. This indicates an approximate difference of 21 points between the highest and lowest financial performance scores in 2021. The striking increase in the difference between the best and worst financial performance scores from 2019 to 2021 suggests that the effects of the pandemic were deeply felt in some selected logistics companies, and this was reflected in the financial performance results.

Considering Table 16, the company with the best financial performance for 2022 is GSDDE (0.6281), as in the previous year, 2021. Accordingly, GSDDE, with the highest  $C^*$  value, received a performance index score of 28.2266; while THYAO, with the lowest  $C^*$  value received a performance index score of 12.3148. Accordingly, it is seen that there is a difference of approximately 16 points between the best financial performance and the weakest financial performance in 2022.

In accordance with Table 16, the company with the best financial performance for 2023 is GSDDE (0.4873), as in previous years. Accordingly, GSDDE, with the highest  $C^*$  value, received a performance index score of 19.0287; while THYAO, with the lowest  $C^*$  value received a performance index score of 15.0500. Accordingly, it is seen that there is a difference of approximately 4 points between the best and the weakest financial performance in 2023, that is, the least difference compared to previous years, in other words, the financial performance imbalances between the companies have decreased to a minimum. In line with the purpose of the study, to make a long-term financial performance evaluation, the performance index scores

of the companies for the 5 periods within the scope of the research are combined and presented collectively in Table 17.

**Table 16. Combined performance index scores of companies (2019 – 2023)**

| Rank | Company | 2019    | C*     | 2020    | C*     | 2021    | C*     | 2022    | C*     | 2023    | C*     | Total                 |
|------|---------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|-----------------------|
| 1    | GSDDE   | 13.4823 | 0.4069 | 15.4289 | 0.4142 | 27.1428 | 0.6445 | 28.2266 | 0.6281 | 19.0287 | 0.4873 | 103,3093              |
| 2    | BEYAZ   | 19.7528 | 0.5961 | 22.3927 | 0.6011 | 19.3510 | 0.4595 | 15.0674 | 0.3353 | 17.2141 | 0.4408 | 93,7780               |
| 3    | CLEBI   | 19.5402 | 0.5897 | 17.3406 | 0.4655 | 18.0488 | 0.4285 | 17.412  | 0.3875 | 16.0821 | 0.4118 | 88,4237               |
| 4    | RYSAS   | 10.8707 | 0.3281 | 20.383  | 0.5471 | 16.3896 | 0.3891 | 12.3185 | 0.2741 | 16.5249 | 0.4232 | 76,4867               |
| 5    | PGSUS   | 20.8411 | 0.6290 | 11.5445 | 0.3099 | 6.1052  | 0.1450 | 14.6606 | 0.3262 | 16.1003 | 0.4123 | 69,2517               |
| 6    | THYAO   | 15.5129 | 0.4682 | 12.9102 | 0.3466 | 12.9626 | 0.3078 | 12.3148 | 0.2740 | 15.0500 | 0.3854 | 68,7505               |
|      | Total   | 100     | 3.0179 | 100     | 2.6843 | 100     | 2.3743 | 100     | 2.2253 | 100     | 2.5607 | Avg. Std. Value<br>83 |

As can be seen from Table 16 above, it is observed that the companies with the most successful financial performance between 2019 and 2023 are GSDDE, BEYAZ and CLEBI, which have a performance index score above the standard average value of 83 points.

In addition to the TOPSIS method, it was observed that the companies with the best performance in the examined period because of the MOORA method were similar companies as it can be seen in Table 17. For example, it was determined that GSDDE, which was the most successful company in the TOPSIS method, also had the best score in the MOORA method for 3 years. Therefore, it can be stated that the results found in the TOPSIS method are like the MOORA method and are confirmed, as in the study of Konak et al. (2018).

**Table 17. Summarized comparative ranking results (2019 – 2023)**

| Years                                       | 2019  | 2020  | 2021  | 2022  | 2023  |
|---------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Ranking with TOPSIS Performance Index Score | PGSUS | BEYAZ | GSDDE | GSDDE | GSDDE |
| Ranking with MOORA Optimization value       | PGSUS | BEYAZ | GSDDE | GSDDE | GSDDE |

This research highlights several key effects of the pandemic on the logistics sector based on the financial performance of six companies listed on Borsa Istanbul between 2019 and 2023. The two aviation-based logistics companies that had strong financial performances in 2019 suffered significantly in 2020 and 2021, ranking last in performance during these years. Their profitability turned negative, indicating severe financial strain due to the pandemic-related downturn in air transport and global mobility restrictions. Although there were improvements in 2022 and 2023, the financial impact of the pandemic still existed. Companies like GSDDE, BEYAZ, and CLEBI demonstrated strong financial performance throughout the period. High efficiency ratios, particularly in receivables and inventory turnover, contributed to their success, suggesting effective adaptation to pandemic-induced supply chain disruptions. GSDDE consistently ranked at the top in financial performance, with its operating profitability significantly outpacing competitors, especially in the post-pandemic years. This indicates that companies with efficient operations and strong financial management were better positioned to recover from the crisis.

#### 4.1. Sensitivity Analysis

To test the robustness of the performance rankings derived from the TOPSIS and MOORA methods, a sensitivity analysis was conducted focusing on key financial input variables and their influence on the final rankings over the 2019-2023 period. The sensitivity analysis followed these steps:

- Selection of Critical Financial Ratios: Based on the performance patterns observed in the 2019–2023 data, the following key ratios were identified as major drivers of company rankings as seen in Table 18: Operating Profitability Ratio, Receivables Turnover Ratio, Inventory Turnover Ratio
- Definition of Variation Scenarios: For each company, we applied both positive (+10%, +20%) and negative (-10%, -20%) adjustments to these ratios. This generated hypothetical scenarios representing both improvement (e.g., operational enhancements) and deterioration (e.g., renewed crisis effects or inefficiencies).
- Recalculation of Performance Metrics: For each variation scenario, the recalculated financial ratios were input into the TOPSIS and MOORA models, generating updated relative closeness ( $C^*$ ) values and revised performance index scores.
- Analysis of Ranking Shifts: It is tracked changes in company rankings under each scenario to identify (i- which companies' rankings are most sensitive to improvements or deteriorations, ii-whether the gap

between top and bottom performers narrows or widens under shocks, iii-whether the alignment between TOPSIS and MOORA outcomes remains consistent under perturbed inputs).

**Table 18. Summarized sensitivity analysis design**

| <i>Scenario No.</i> | <i>Variation Type</i> | <i>Applied Change</i> | <i>Target Ratios</i>             |
|---------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------------|
| S1                  | Positive Shock        | +10%                  | Operating Profitability          |
| S2                  | Positive Shock        | +20%                  | Operating Profitability          |
| S3                  | Negative Shock        | -10%                  | Operating Profitability          |
| S4                  | Negative Shock        | -20%                  | Operating Profitability          |
| S5                  | Positive Shock        | +10%                  | Receivables & Inventory Turnover |
| S6                  | Positive Shock        | +20%                  | Receivables & Inventory Turnover |
| S7                  | Negative Shock        | -10%                  | Receivables & Inventory Turnover |
| S8                  | Negative Shock        | -20%                  | Receivables & Inventory Turnover |

Given the findings that companies such as GSDDE, BEYAZ, and CLEBI consistently outperformed competitors due to superior efficiency ratios (e.g., receivables turnover, inventory turnover) and operating profitability, the sensitivity analysis examines how changes in these critical ratios affect the relative closeness values ( $C^*$ ) and overall performance index scores.

Specifically, the sensitivity tests apply controlled variations of  $\pm 10\%$  and  $\pm 20\%$  to key financial ratios for each company to simulate alternative performance scenarios. For example, scenarios are created where the aviation-based companies (PGSUS, THYAO) improve their profitability or efficiency ratios by 10–20%, to assess whether such improvements would significantly shift their rankings compared to the consistently strong performers like GSDDE. Additionally, it is simulated negative shocks (e.g., declining efficiency or profitability) to top-ranked companies to evaluate how sensitive their top positions are to adverse changes. Furthermore, a year-by-year sensitivity analysis is applied to assess how pandemic-related external shocks—such as a prolonged downturn in aviation (2020–2021) or recovery phases (2022–2023)—influence the relative gaps between the best- and worst-performing firms. For instance, the narrowing performance gap in 2023 (approximately 4 points) compared to the 21-point gap in 2021 suggests that sector-wide recovery reduced disparities; sensitivity tests can help determine whether this convergence is stable under varied assumptions. Finally, cross-method validation is incorporated by comparing the stability of the TOPSIS rankings against the MOORA rankings under the same sensitivity scenarios. This step ensures that the observed alignment between the two methods (as highlighted in Table 17) holds even when key input data are perturbed, confirming the consistency and reliability of the study's methodological approach.

When the sensitivity analysis results are examined in general, for Scenario S1 (+10% profitability), aviation firms like PGSUS slightly improve their ranking, suggesting they are highly sensitive to profitability recovery. For Scenario S3 (-10% profitability), top-ranked companies like GSDDE and CLEBI experience minor shifts, but they generally maintain their top positions, reflecting greater resilience to negative profitability shocks. The overall gap between the best and worst performers narrows slightly under positive shocks but widens again under negative shocks, indicating uneven sensitivity across firms. Considering all the scenario outcomes in the sensitivity analysis regarding profitability shocks, CLEBI shows the largest positive jump under negative shocks (rising to rank 1), suggesting stability when competitors weaken. PGSUS and THYAO are highly sensitive: they improve under positive shocks but drop further under negative shocks. GSDDE maintains its lead under most conditions but slightly drops under strong negative profitability scenarios. In terms of efficiency shocks, GSDDE remains dominant, indicating it already benefits from strong efficiency. CLEBI climbs to top position under negative efficiency shocks, signaling robustness even when efficiency ratios weaken. BEYAZ and RYSAS show mid-level sensitivity, occasionally shifting one or two ranks depending on the direction of the shock.

## 5. DISCUSSION and CONCLUSION

Today, the dimensions of commercial competition are too high to be ignored. Increasing logistics and supply chain performance also has an important share in this commercial competition environment. Financial ratios are one of the important measurement indicators that can be used in determining the logistics performance of these companies.

In this study, the 5-year performance of 6 companies registered in the Borsa Istanbul logistics sector between 2019-2023 was analyzed with TOPSIS and MOORA multi-criteria decision-making methods. To be used in these methods, the calculations of financial ratios from the publicly available financial data of the companies were made by the author himself. The 8 ratios selected for analysis from the calculated financial ratios were chosen considering that they would measure the financial performance and efficiency

of the companies. It is thought that the selection of efficiency/productivity ratios such as receivables turnover and inventory turnover, also called activity ratios, contributes to the purpose of the study.

In the study, first, the TOPSIS method was applied with financial ratios frequently used in financial performance measurement. After the steps of the TOPSIS method were applied, the proximity value was calculated according to the ideal solution for each company, and then the performance index scores were ranked to reveal the long-term performance. According to the ranking of the performance index scores examined for 5 years, it was observed that the companies with the most successful financial performance were GSDDE, BEYAZ and CLEBI companies. Similarly, the performance ranking was made using the same financial ratios with the MOORA method. When the MOORA optimization scores were examined, it was seen that the same companies were in similar rankings in the same years. Therefore, it is observed that there is harmony and similarity between the TOPSIS and MOORA method scores and rankings.

When the financial ratios of the companies ranked in the top 3 in terms of performance in the relevant years are examined, it is observed that especially the efficiency ratios, especially the receivables and inventory turnover rates, are at a very high level compared to the sector average, as in the Komchornit (2021) study. In addition, it is observed that the acid test ratio, which is one of the liquidity ratios included in the data set, has been significantly above the sector average in the last 3 years when GSDDE company was successful. In addition, it is seen that the companies that showed successful performance have a lower level of debt ratio compared to other companies in terms of both total debt and equity debt. Therefore, it can be stated that the increasing importance of liquidity after the pandemic contributes to the financial performance and sustainability of companies with low debt levels. Another striking point is that the operating profitability of GSDDE company, which has high scores in the relevant years, for example, which is ranked first according to the TOPSIS method, is strikingly superior to the operating profit of other companies in the years it has high scores.

When examining the characteristics of the top-performing firms, several patterns emerge that align with the broader literature. First, high efficiency ratios, particularly receivables turnover and inventory turnover—stand out, echoing findings in Komchornit (2021) that operational agility is critical to financial success in logistics. Moreover, the acid-test ratio, reflecting short-term liquidity, was significantly above the sector average for GSDDE, particularly in the post-pandemic years (2021–2023). This supports the argument by Almeida and Philippon (2007), who stress that liquidity becomes increasingly critical during periods of financial stress, as firms with greater liquidity are better positioned to sustain operations during downturns.

In terms of capital structure, the study found that the top performers consistently maintained lower debt ratios—both in total debt and debt-to-equity terms—compared to weaker-performing peers. This aligns with the literature emphasizing that firms with lower leverage and stronger balance sheets tend to exhibit higher resilience during external shocks (e.g. Campello et al., 2010). GSDDE's strikingly superior operating profitability compared to its competitors during the best-performing years further underscores the role of robust internal management practices and cost control, consistent with prior work highlighting the significance of operational profitability as a driver of firm-level success (Baños-Caballero et al., 2014).

One of the striking results of the study is that, while the two aviation companies with high balance sheet sizes among the 6 companies showed very good financial performance in 2019, when the effects of the pandemic were not yet felt, they were observed to be in the last 2 places in 2020 and 2021, when the effects of the pandemic had the greatest impact on the annual balance sheets. When the financial ratios of these companies are examined, the negative profitability rates in the relevant years are particularly striking. It is observed that this situation, that is, the negative effects of the pandemic, are also reflected in the financials of 2022 and 2023, but the level of the negative impact has decreased. Overall, the pandemic created a stark contrast between companies that were able to adapt (through efficient operations and strong liquidity) and those that suffered major setbacks, particularly in the aviation sector. This pattern mirrors global observations reported by Sobieralski (2020), who documents the aviation industry's disproportionate vulnerability to pandemic-related restrictions. Although some recovery was observed in 2022–2023, the residual effects of the crisis persisted, underscoring how sectoral exposure and adaptability determined firms' ability to navigate the shock. The study suggests that financial resilience, operational efficiency, and debt management were key factors influencing how logistics companies navigated the crisis.

This study may also provide guidance on policy recommendations for relevant stakeholders. Based on promoting operational efficiency, the study encourages companies to improve receivables turnover and inventory turnover ratios, as higher efficiency in managing assets leads to stronger financial performance. The study also helps to implement industry benchmarks and best practice sharing to enhance overall productivity in the logistics sector. Based on liquidity empowering for sustainable productivity, the study promotes policies that encourage maintaining a high acid test ratio, ensuring companies can operate efficiently even in economic downturns. In accordance with maintaining productivity to provide resilience

during crisis like pandemic period, company managements should develop industry-specific resilience strategies to mitigate productivity losses during crises, especially for vulnerable sectors like aviation. In addition, governments should introduce government-backed financial support programs to sustain business operations during economic shocks.

As a result, it can be said that the results obtained using the relevant methods in the study overlap with each other. Although this study is a financial performance comparison of logistics companies traded in BIST between 2019 and 2023, it can be evaluated as a situation analysis. The limitations of the study can be expressed as the limited number of companies examined depending on the data set and the selection of a limited period. To eliminate these limitations, it is recommended to take a larger number of companies as a sample and use a wider period. In addition, it is thought that comparative analyses to be made by including different financial ratios and different multi-criteria decision-making methods in the application will make a significant contribution to the literature. Although there are limitations, it is believed that this study will be useful for decision makers and relevant stakeholders for the financial performance analysis of companies operating in different sectors and will contribute as a reference for further studies in the finance literature.

#### **Conflict of Interest**

No potential conflict of interest was declared by the author(s).

#### **Funding**

No specific grant has not been received from funding agencies in the public, commercial, or non-profit sectors.

#### **Compliance with Ethical Standards**

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.

#### **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

- Akarçay, B. (2011). "Denizcilik İşletmelerinde Lojistik Yönetimi ve Türkiye Uygulaması", Published Master Thesis, Beykent University Graduate of Social Sciences, İstanbul.
- Almeida, H. and Philippon, T. (2007). "The Risk-Adjusted Cost of Financial Distress", *The Journal of Finance*, 62(6), 2557-2586. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.2007.01286.x>
- Altın, F.G. and Filiz, T. (2022). "Assessment of the Performance of Logistics Villages Operated by the Turkish State Railways Using MCDM and DEA Methods". *Ege Academic Review*, 22(2), 169-182. [Doi: 10.21121/eab.983220](https://doi.org/10.21121/eab.983220)
- Anthony, P., Behnoee, B., Hassanpour, M. and Pamucar, D. (2019). "Financial Performance Evaluation of Seven Indian Chemical Companies", *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 2(2), 81-99. <https://doi.org/10.31181/dmame1902021a>
- Atayah, O.F., Dhiaf, M.M., Najaf, K. and Frederico, G.F. (2022). "Impact of COVID-19 on Financial Performance of Logistics Firms: Evidence from G-20 Countries", *Journal of Global Operations and Strategic Sourcing*, 15(2), 172-196. <https://doi.org/10.1108/JGOSS-03-2021-0028>
- Baños-Caballero, S., García-Teruel, P.J. and Martínez-Solano, P. (2014). "Working Capital Management, Corporate Performance, and Financial Constraints", *Journal of Business Research*, 67(3), 332-338. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2013.01.016>
- Bayramoğlu, M.F. and Başarır, Ç. (2016). "Borsa İstanbul'da İşlem Gören Sigorta Şirketlerinin Karşılaştırmalı Finansal Performans Analizi", *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi (Anadolu University Journal of Social Sciences)*, 16(4), 135- 144.
- Behzadian, M., Otaghsara, S.K., Yazdani, M. and Ignatius, J. (2012). "A State-of the-Art Survey of TOPSIS Applications", *Expert Systems with Applications*, 39(17), 13051-13069. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.05.056>
- Birou, L., Germain R.N. and Christensen W.J. (2011). "Applied Logistics Knowledge Impact on Financial Performance", *International Journal of Operations & Production Management*, 31(8), 816-834. <https://doi.org/10.1108/01443571111153058>
- Brauers, W.K. and Zavadskas, E.K. (2006). "The MOORA Method and Its Application to Privatization in A Transition Economy", *Control and Cybernetics*, 35(2), 445-469.
- Brauers, W. K. and Zavadskas, E. K. (2010). "Project Management by the MOORA Method", *Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research*, 44(1), 5-21.
- Bulgurcu, B. (2012). "Application of TOPSIS Technique for Financial Performance Evaluation of Technology Firms in Istanbul Stock Exchange Market". *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 62, 1033-1040. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.176>
- Campello, M., Graham, J.R. and Harvey, C.R. (2010). "The Real Effects of Financial Constraints: Evidence from A Financial Crisis", *Journal of Financial Economics*, 97(3), 470-487. <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2010.02.009>
- Erdoğan, H.H. and Kırbaç, G. (2021). "Financial Performance Measurement of Logistics Companies Based on Entropy and WASPAS Methods", *Journal of Business Research-Turk*, 13(2), 1093-1106.
- Ertuğrul, İ. and Karakasoğlu, N. (2009). "Performance Evaluation of Turkish Cement Firms with Fuzzy Analytic Hierarchy Process and TOPSIS Methods", *Expert Systems with Applications*, 36, 702-715.
- Ertugut, R. and Oğuz, S. (2022). "Lojistik Merkezlerin İhracata Etkisi: AB Ülkeleri Üzerine Yatay Kesit Veriler ile Regresyon Analizi", *Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 14(4), 423-430. <https://doi.org/10.52791/aksarayibd.1075080>
- Gümüş, Y. (2009). "Lojistik Faaliyetlerin Rekabet Stratejileri ve İşletme Kârı İle Olan İlişkisi", *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, 41, 97-114.
- Gürkan, S. and Aldoury, N. (2021). "TOPSIS Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi İle Karşılaştırmalı Finansal Performans Analizi: Teknoloji Şirketleri Üzerine Bir Araştırma", *Finans Ekonomi ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 6(2), 225-239. <https://doi.org/10.29106/fesa.868905>
- Hofmann, E. and Lampe, K. (2013). "Financial Statement Analysis of Logistics Service Providers: Ways of Enhancing Performance", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 43(4), 321-342. <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-08-2012-0229>
- Hwang, C.L. and Yoon, K. (1981). "Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications". Springer-Verlag, New York.
- Hwang, C., Young-Jou, L. and Ting-Yun, L. (1993). "A New Approach for Multiple Objective Decision Making", *Computers and Operational Research*, 20(8), 889-899. [https://doi.org/10.1016/0305-0548\(93\)90109-V](https://doi.org/10.1016/0305-0548(93)90109-V)
- Işık, Ö. (2022). "Gri Entropi, FUCOM ve EDAS-M Yöntemleriyle Türk Lojistik Firmalarının Çok Kriterli Performans Analizi", *Yaşar Üniversitesi E-Dergisi*, 17(66), 472-489. <https://doi.org/10.19168/jyasar.939276>

- Jang, S.W. and Ahn, W.C. (2021). "Financial Analysis Effect on Management Performance in the Korean Logistics Industry", *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 37(3), 245-252. <https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2021.06.003>
- Komchornrit, K. (2021). "Financial Evaluation by the Combined AHP-PROMETHEE Method: A Case Study of Integrated Logistics Service Providers in Thailand", *Journal of Community Development Research (Humanities and Social Sciences)*, 14(2), 77-89.
- Komchornrit, D. (2021). "An Evaluation of Financial Performance of Logistics Firms Using Financial Ratio Analysis", *Journal of Supply Chain and Operations Management*, 19(1), 45-60.
- Konak, T., Elbir, G., Yılmaz, S., Karataş, B., Durman, Y. and Düzakın, H. (2018). "Borsa İstanbul'da İşlem Gören Tekstil Firmalarının TOPSIS ve MOORA Yöntemi İle Analizi". *Çukurova Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 22(1), 11-44.
- Küçükaltan, B., Irani, Z. and Aktas, E. (2016). "A Decision Support Model for Identification and Prioritization of Key Performance Indicators in the Logistics Industry", *Computers in Human Behavior*, 65, 346-358. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.08.045>
- Laari, S., Töyli, J. and Ojala, L. (2018). "The Effect of A Competitive Strategy and Green Supply Chain Management on the Financial and Environmental Performance of Logistics Service Providers", *Business Strategy and the Environment*, 27(7), 872-883. <https://doi.org/10.1002/bse.2038>
- Lee, P.F., Lam, W.S. and Lam, W.H. (2021). "Evaluation and Improvement of the Efficiency of Logistics Companies with Data Envelopment Analysis Model", *Engineering Journal*, 25(6), 45-54. <https://doi.org/10.4186/ej.2021.25.6.45>
- Meng, J. and Wang, S. (2022). "The Performance Evaluation of Logistics Enterprises in Online Supply Chain Finance Based on Analytic Hierarchy Process", *Mathematical Problems in Engineering*, 2022(1), 8393223. <https://doi.org/10.1155/2022/8393223>
- Nenavani, J., Prasuna, A., Siva Kumar, S.N.V. and Kasturi, A. (2024). "ESG Measures and Financial Performance of Logistics Companies", *Letters in Spatial and Resource Sciences*, 17(1), 5. <https://doi.org/10.1007/s12076-023-00358-4>
- Nguyen, H.T.X. (2022). "The Effect of COVID-19 Pandemic on Financial Performance of Firms: Empirical Evidence from Vietnamese Logistics Enterprises", *The Journal of Asian Finance, Economics and Business*, 9(2), 177-183. <https://doi.org/10.13106/jafeb.2022.vol9.no2.0177>
- Orçun, Ç. and Eren, S. (2017). "TOPSIS Yöntemi ile Finansal Performans Değerlendirmesi: XUTEK Üzerinde Bir Uygulama", *Muhasebe ve Finansman Dergisi* 75, 139-154. <https://doi.org/10.25095/mufad.399899>
- Pamučar, D. and Ćirović, G. (2015). "The Selection of Transport and Handling Resources in Logistics Centers Using Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison (MABAC)", *Expert Systems with Applications*, 42(6), 3016-3028. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.11.057>
- Sharma, N.K., Kumar, V., Verma, P. and Luthra, S. (2021). "Sustainable Reverse Logistics Practices and Performance Evaluation with Fuzzy TOPSIS: A Study on Indian Retailers", *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 1, 100007. <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2021.100007>
- Sobieralski, J.B. (2020). "COVID-19 and Airline Employment: Insights from Historical Uncertainty Shocks to the Industry", *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 5, 100123. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100123>
- Stanujkic, D., Zavadskas, E.K., Brauers, W.K. and Karabasevic, D. (2012). "An Approach to Personnel Selection Based on the MOORA Method", *Business: Theory and Practice*, 13(2), 103-111.
- Uygurtürk, H. and Korkmaz, T. (2012). "Finansal Performansın TOPSIS Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi İle Belirlenmesi: Ana Metal Sanayi İşletmeleri Üzerine Bir Uygulama", *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi*, 7(2), 95-115.
- Yazdani, M. and Payam, A.F. (2015). "A Comparative Study on MCDM Methods for Material Selection: The Case of Automotive Industry", *Decision Science Letters*, 4(3), 345-358. <https://doi.org/10.5267/j.dsl.2015.2.004>
- Yoon, K. (1987). "A Reconciliation among Discrete Compromise Situations", *Journal of the Operational Research Society*, 38(3), 277-286.
- Yürüyen, A.A., Ulutaş, A. and Özdağoğlu, A. (2023). "Lojistik İşletmelerinin Performansının Bir Hibrit ÇKKV Modeli ile Değerlendirilmesi", *Business & Management Studies: An International Journal*, 11(3), 731-751. <https://doi.org/10.15295/bmij.v11i3.2245>
- Zavadskas, E.K., Turskis, Z. and Kildienė, S. (2016). "State of Art Surveys of Overviews on MCDM/MADM Methods", *Technological and Economic Development of Economy*, 22(2), 165-200. <https://doi.org/10.3846/20294913.2016.1164560>

**Türkiye’de Faaliyet Gösteren Mevduat ve Katılım Bankalarının Finansal Etkinlik ve Verimliliğinin Ölçülmesi: Malmquist Toplam Faktör Verimlilik Endeksi Uygulaması\***Barış Aksoy<sup>1</sup> **ÖZET**

**Amaç:** Bu çalışmada Türkiye’de faaliyet gösteren kamu sermayeli ve özel sermayeli bankalar ayrımı ile geleneksel bankacılık ve katılım bankacılığı ayrımı bağlamında 2016-2023 döneminde 28 bankanın finansal etkinlik ve verimliliklerinin Malmquist Toplam Faktör Verimlilik Endeksi kullanılarak ölçülmesi amaçlanmıştır.

**Yöntem:** Panel En Küçük Kareler Regresyon Analizi sonucunda anlamlı olmayan değişkenler veri setinden çıkarılmıştır. Bu çalışmada girdi ve çıktı değişkenlerinin seçiminde üretim ve aracılık yaklaşımını içeren karma yöntem kullanılmıştır.

**Bulgular:** 2016-2023 dönemi arasında toplam faktör verimliliğinde en fazla artışın olduğu dönem 2017-2018 dönemi olduğu görülmektedir. Bu dönemi 2021-2022, 2016-2017, 2020-2021 ve 2019-2020 dönemleri izlemektedir. Toplam Faktör Verimlilik değerlerinin en fazla azaldığı dönemler sırasıyla 2018-2019 ve 2022-2023 dönemleri olduğu görülmektedir. Toplam faktör verimlilik değişimi incelendiğinde Arap Türk Bankası hariç tüm bankaların 2016-2023 döneminde değişim değerlerinin 1’den yüksek olduğu ve tüm bankaların toplam faktör verimliliklerini arttırdıkları görülmektedir.

**Özgünlük:** Çalışmanın literatürde bulunan diğer çalışmalardan ayrılan yönü gelişmekte olan bir ülke olan Türkiye’deki kamu sermayeli ve özel sermayeli bankalar ayrımı ile geleneksel ve katılım bankacılığı ayrımı bağlamında bankaların performanslarının karşılaştırılmasına dayalı olmasıdır. Bu çalışmayı literatürdeki diğer çalışmalardan ayıran diğer bir yön girdi değişkenlerinin literatürde kullanılan değişkenlerle yürütülen regresyon analizi sonucunda anlamlı olan değişkenlerin çalışmaya dahil edilmesidir.

**Anahtar Kelimeler:** Malmquist Toplam Faktör Verimlilik Endeksi, Finansal Etkinlik, Finansal Verimlilik, Mevduat Bankası, Katılım Bankası.

**JEL Kodları:** C67, D24, D61, G21, G23.

**Measuring the Financial Efficiency and Productivity of Deposit and Participation Banks Operating in Türkiye: An Application of the Malmquist Total Factor Productivity Index****ABSTRACT**

**Purpose:** This study aims to measure the financial efficiency and productivity performances of 28 banks were assessed for the 2016–2023 period operating in Türkiye by distinguishing between publicly and privately owned banks as well as between conventional and participation banking.

**Methodology:** Variables that were found to be statistically insignificant were excluded from the dataset based on panel least squares regression analysis. This study adopts a hybrid approach that integrates the production approach and the intermediation approach for selecting input and output variables.

**Findings:** Between 2016 and 2023, the highest increase in total factor productivity occurred in 2017–2018, followed by 2021–2022, 2016–2017, 2020–2021, and 2019–2020. The periods with the largest decreases in total factor productivity were 2018–2019 and 2022–2023. Notably, Arap Türk Bank was the only bank with a decline in total factor productivity during the 2016–2023 period. Turkish Bank demonstrated the most significant improvements in efficiency, technical efficiency, and total factor productivity. All banks, except Arap Türk Bank, exhibited total factor productivity changes above 1 during the 2016–2023 period.

**Originality:** The distinctive aspect of this study compared to existing literature lies in its focus on comparing the performances of publicly and privately owned banks, as well as conventional and participation banks, within the context of a developing country like Türkiye. Another feature that differentiates this study from others in the literature is the inclusion of only those input variables found to be statistically significant through regression analysis using variables commonly employed in the literature.

**Keywords:** Malmquist Total Factor Productivity Index, Financial Efficiency, Financial Productivity, Deposit Bank, Participation Bank.

**JEL Classification:** C67, D24, D61, G21, G23.

\*Bu çalışma, 27. Finans Sempozyumunda sunulan “Malmquist Toplam Faktör Verimlilik Endeksi Kullanılarak Finansal Etkinlik ve Verimliliğin Ölçülmesi: Türk Banka Sektörü Uygulaması” başlıklı bildirinin genişletilmiş ve güncellenmiş halidir.

<sup>1</sup> Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Finans ve Bankacılık Bölümü, Sivas, Türkiye

Sorumlu Yazar-Corresponding Author: Barış Aksoy, baksoy@cumhuriyet.edu.tr

DOI: 10.51551/verimlilik.1579289

Araştırma Makalesi / Research Article | Geliş / Submitted: 04.11.2024 | Kabul / Accepted: 07.05.2025

Atıf/Cite: Aksoy, B. (2025). “Türkiye’de Faaliyet Gösteren Mevduat ve Katılım Bankalarının Finansal Etkinlik ve Verimliliğinin Ölçülmesi: Malmquist Toplam Faktör Verimlilik Endeksi Uygulaması”, *Verimlilik Dergisi*, 59(3), 549-574.

## EXTENDED ABSTRACT

This study aims to measure the financial efficiency and productivity performances of banks operating in Turkey by distinguishing between publicly and privately owned banks as well as between conventional and participation banking. The analysis employs the Malmquist Total Factor Productivity Index. For this purpose, the financial efficiency and productivity of 28 banks were assessed for the 2016–2023 period using six financial ratio variables as inputs and two financial ratio variables as outputs, based on the averages of the Malmquist Index. As with all efficiency analyses, the selection of input and output variables is crucial in the Malmquist Total Factor Productivity Index analysis. In the second stage, variables that were found to be statistically insignificant were excluded from the dataset based on panel least squares regression analysis. This study adopts a hybrid approach that integrates the production approach and the intermediation approach for selecting input and output variables. The identified input and output values were entered into the DEAP 2.1 program, and the Malmquist Total Factor Productivity Index values were calculated for each bank.

Considering the averages of the Malmquist Total Factor Productivity Index for the 2016–2023 period, the efficiency values of 28 banks, as presented in Table 10, reveal that the period with the highest efficiency change was 2021–2022. The periods with the lowest efficiency were 2018–2019, 2022–2023, and 2017–2018, respectively. The periods with the most significant increases in technical efficiency were 2017–2018, 2021–2022, 2020–2021, and 2016–2017. Conversely, the periods with the lowest levels of technical efficiency changes during the seven-year period were 2018–2019, 2019–2020, and 2022–2023, indicating that banks did not adequately or effectively utilize technological advancements during these times. Between 2016 and 2023, the highest increase in total factor productivity occurred in 2017–2018, followed by 2021–2022, 2016–2017, 2020–2021, and 2019–2020. The periods with the largest decreases in total factor productivity were 2018–2019 and 2022–2023. The top five banks with the highest efficiency changes between 2016 and 2023 were Turkish Bank, Alternatifbank, ICBC Turkey Bank, Vakıf Katılım Bank, and Şekerbank. Conversely, the five banks with the most significant decreases in efficiency, from largest to smallest decline, were Arap Türk Bank, ING Bank, Halk Bank, Vakıflar Bank, and Ziraat Bank. Examining technical efficiency changes, all 28 banks improved their efficiency (with values above 1) during the period. The top five banks with the highest technical efficiency changes were Turkish Bank, Citibank, Ziraat Katılım Bank, Kuveyt Türk Katılım Bank, and ICBC Turkey Bank. The five banks with the lowest technical efficiency changes were Ziraat Bank, Arap Türk Bank, TEB, Akbank, and Rabobank. Regarding total factor productivity change, the top five banks were Turkish Bank, ICBC Turkey Bank, Alternatifbank, Vakıf Katılım Bank, and Citibank, while the bottom five were Arap Türk Bank, Ziraat Bank, Vakıflar Bank, ING Bank, and Halk Bank. Notably, Arap Türk Bank was the only bank with a decline in total factor productivity during the 2016–2023 period. Turkish Bank demonstrated the most significant improvements in efficiency, technical efficiency, and total factor productivity. ICBC Turkey Bank and Alternatifbank ranked among the top three in both efficiency and total factor productivity changes. All banks, except Arap Türk Bank, exhibited total factor productivity changes above 1 during the 2016–2023 period. It is noteworthy that, except for Vakıf Katılım Bank (100% domestic ownership) and Turkish Bank (34.29% foreign ownership), the other banks in the top rankings—ICBC Turkey Bank (92.84% foreign ownership), Alternatifbank (100% foreign ownership), and Citibank (99.99% foreign ownership)—were predominantly foreign-owned, with over 90% foreign capital.

The distinctive aspect of this study compared to existing literature lies in its focus on comparing the performances of publicly and privately owned banks, as well as conventional and participation banks, within the context of a developing country like Türkiye. Another feature that differentiates this study from others in the literature is the inclusion of only those input variables found to be statistically significant through regression analysis using variables commonly employed in the literature. Through this variable selection process, six input variables consisting of financial ratios and two output variables representing profitability ratios, which are also financial ratio variables, were determined.

## 1. GİRİŞ

Teknolojideki gelişmeler bankaların küresel finasta öne çıkma konusundaki umutlarını artırmıştır. Makroekonomik açıdan bakıldığında her ulusal ekonominin temel amacı ekonomik verimliliği sağlamaktır. Verimlilik, mikro ekonomik açıdan da gözetilmesi gereken bir konu olup bu yönüyle modern bir işletmenin işleyişinin temel göstergelerinden birini temsil etmektedir. Verimlilik aynı zamanda teknolojik ilerlemenin bileşenini de içeren üretkenlik terimiyle de ilişkilidir. Üretkenlik artışı, ekonomik kalkınmanın temel faktörlerinden biridir. Çok sayıda banka verimliliği üzerine yapılan araştırma finansal hizmetler sektörünün yapısında hızlı değişiklikler olduğunu göstermektedir. Banka verimliliği artışının daha iyi banka performansına, daha düşük fiyatlara ve daha iyi hizmet kalitesine yol açmasının yanı sıra ekonomide kaynak tahsisinin ve üretkenliğin artmasına yol açması beklenmektedir (Maradin ve diğerleri, 2019).

Etkinlik ve verimlilikte azalma olması işletmeleri, sektörleri ve nihai olarak ülke ekonomisini olumsuz etkilemektedir. İşletmelerin ait oldukları sektörlerin ve dolayısıyla ülkelerin rekabet avantajı elde etmeleri verimlilik ve etkinlik ile mümkün olabilmektedir. Verimlilik ve etkinlik ile ilgili performans değerlendirme yöntemleri çeşitlilik göstermektedir. Etkinlik ölçümleri bu yöntemlerden birisidir. Etkinlik ölçümleri daha çok Veri Zarflama Analizi (VZA) ve Malmquist Toplam Faktör Verimlilik Endeksi’nden yararlanılarak yapılmaktadır (Tutkavul, 2019). Türk bankacılık sektöründe artan rekabet sürdürülebilir büyüme amacıyla bankaları verimlilik faktörüne daha fazla önem vermeye zorlamaktadır. Bu bağlamda Malmquist toplam faktör verimliliği endeksi, toplam faktör verimliliğinde yıllar itibarıyla meydana gelen değişiklikleri açık bir şekilde görme fırsatı vermektedir (Benli ve Degirmen, 2013).

Son yıllarda bankacılık sektörü maliyet yapısını analiz ederek, yönetim uygulamalarını yeniden düzenleyerek ve kaynak kullanımını en üst düzeye çıkararak bankanın maliyetlerini azaltmanın ve idari verimliliği artırmanın yollarını aramaktadır. Bankacılık sektörünün rekabet gücünü artırmak için banka verimliliğini ve üretkenliğini analiz etmesi gerekmektedir. Banka verimlilik analizi, verimlilik artışını yalnızca kaynak planlamasının bir bileşeni olarak değerlendirmemekte aynı zamanda banka gelişiminin önemli bir kaynağı olarak da kullanılmaktadır. Verimlilik değişikliklerini etkileyen faktörlerin net bir şekilde anlaşılması, banka yöneticilerine faydalı yönetim bilgileri sağlayacaktır (Cho and Chen, 2021).

Bankaların zaman içinde üretkenliklerindeki değişimler ve bu değişimlerin kaynakları yalnızca söz konusu bankalar için değil, aynı zamanda diğer sektörler, müşteriler, ülkeler, politika yapıcılar ve araştırmacılar için de ilgi çekicidir. Bankaların üretken olup olmadıklarını bilmek ve bu bilgiyi yeni stratejiler aracılığıyla üretkenliklerini artırmak için kullanmak, bankaların üretkenliğini ve rekabet gücünü artıracaktır ve etkileşimde bulundukları sektörleri olumlu yönde etkileyecektir (Daştan ve Çalmaşur, 2015).

Türkiye’de bankacılık sektörü, 2001 krizinden sonra alınan önlemlerle yapısal olarak güçlendirilmiştir. Bu süreçten sonra verimlilik en önemli gündem maddelerinden biri haline gelmiştir. Özellikle karlılık ve verimlilik birincil konu olmuştur (Yılmaz, 2018). Yabancı bankaların bir ülkenin yerel bankacılık sektörüne girmesi, mevcut bankaların verimliliğini iyileştirmeye ve bankacılık sektörünün bir bütün olarak istikrarını artırmaya yardımcı olabilmektedir. Ancak, finansal piyasaların nispeten az gelişmiş olduğu gelişmekte olan ülkelerde, yabancı bankaların rekabeti ciddi zorluklar yaratabilmekte ve özellikle küçük oyuncular olmak üzere mevcut yerel bankalar üzerindeki etki ciddi ve kapsamlı olabilmektedir (Sufian and Kamarudin, 2015).

Kamu bankaları çok az operasyonel özerkliğe sahiptirler. Tasarım gereği ana odak noktaları hükümet planlarını uygulamak ve seçici kredi ve faiz oranı ile öncelikli sektör kredilendirmesini gerçekleştirmektir. Bu durum kamu bankalarının üretkenliği ve karlılığı üzerinde olumsuz etki yaratmakta ve ekonomideki finansal aracılığın etkinliğini engellemektedir (Thota and Subrahmanyam, 2020).

Bu çalışmada Türkiye’de faaliyet gösteren mevduat ve katılım bankalarının finansal etkinlik ve verimlilikleri Malmquist Toplam Faktör Verimlilik Endeksi kullanılarak ölçülmüştür. Malmquist Endeksi ortalamalarına göre 2016-2023 döneminde 28 bankanın seçilmiş altı girdiyi oluşturan finansal oran değişkeni ile iki çıktıyı oluşturan finansal oran değişkeni kullanılarak finansal etkinlik ve verimlilikleri ölçülmüştür. Çalışmanın literatürdeki diğer çalışmalardan ayrılan yönü gelişmekte olan bir ülke olan Türkiye’deki kamu sermayeli ve özel sermayeli bankacılık ayrımı ile konvansiyonel bankacılık ve katılım bankacılığı ayrımı bağlamında bankaların performanslarının karşılaştırılmasıdır. Bu çalışmayı literatürdeki diğer çalışmalardan ayıran bir diğer farklılık girdi değişkeni olarak literatürde kullanılan değişkenlerle yürütülen regresyon analizi sonucunda anlamlı olan değişkenlerin çalışmaya dahil edilmesidir. Literatürde kullanılan değişkenler alınarak korelasyon analizi ile yüksek korelasyona sahip değişkenlerin varlığı araştırılmış ve yüksek korelasyona sahip değişken bulunamamıştır. İkinci aşama olarak panel en küçük kareler regresyon analizi sonucunda anlamlı olmayan değişkenler veri setinden çıkarılmıştır. Değişken seçimi ile finansal orandan oluşan altı girdi değişkeni ve yine finansal oran değişkeni olan iki karlılık değişkeni çıktı olarak belirlenmiştir. Çalışmada elde edilen bulguların politika yapıcılar, düzenleyici ve denetleyici kurumlar, ekonomi uzmanları, banka yöneticileri ve araştırmacılara yararlı olacağı beklenmektedir.

Çalışmanın devamı şu şekilde kurgulanmıştır. İkinci bölümde Malmquist Toplam Faktör Verimlilik Endeksi ele alınmakta, üçüncü bölümde literatürde konu üzerine çalışmış yerli ve yurt dışı çalışmalara yer verilmiş, dördüncü bölümde Malmquist Toplam Faktör Verimlilik Endeksi ile finansal performans analizi: Türk banka sektörü uygulaması başlığı altında veri seti, araştırma yöntemi ve bulguları ele alınmakta, nihai olarak sonuç kısmı ile çalışma sonlandırılmaktadır.

## 2. MALMQUIST TOPLAM FAKTÖR VERİMLİLİK ENDEKSİ

1982 yılında Caves, Christensen ve Diewert tarafından geliştirilen ve VZA temelli bir yöntem olan Malmquist Toplam Faktör Verimliliği Endeksi ortak teknolojiye göre her bir veri noktasının farklarının oranlarını hesaplayarak, iki veri noktası arasındaki toplam faktör verimliliğindeki değişmeyi ölçmektedir. Malmquist Toplam Faktör Verimliliği Endeksi bu ölçüm için uzaklık fonksiyonunu kullanmaktadır. Toplam faktör verimliliğindeki değişim endeksi; teknik etkinlikteki değişim değeri ile teknolojik değişim değerinin çarpımından meydana gelmektedir. Toplam faktör verimliliği bileşenlerinden teknik etkinlikteki değişim ve teknolojik değişim endekslerinin 1'den büyük olması teknik etkinlik ve teknolojideki ilerlemeyi gösterirken, küçük olması gerilemeyi göstermektedir. Teknik etkinlikteki değişim endeksinin 1'den büyük olması işletmenin üretim sınırını yakalama etkisini gösterirken teknolojik değişim endeksinin 1'den büyük olması işletmelerin etkinlik sınırını yukarı yönlü hareket ettirmede başarılı olduğunu göstermektedir (Bayram, 2016).

Malmquist verimlilik endeksini tanımlarken Caves ve diğerleri (1982) verimlilik farklılıklarının ölçümünde iki yaklaşım olduğunu belirtmişlerdir. Bu yaklaşımlardan birincisi üretkenlik farklılıklarını, belirli bir girdi düzeyine bağlı maksimum çıktıdaki farklılıklar olarak ele almaktadır. Bu yaklaşım çıktıya dayalı üretkenlik endeksini vermektedir. Alternatif yaklaşım üretkenlik farklılıklarını belirli bir çıktı düzeyine bağlı olan minimum girdi gereksinimlerdeki farklılıklar olarak ele almaktadır (Bjurek, 1996). Malmquist verimlilik endeksi uzaklık fonksiyonu kullanılarak tanımlanmaktadır. Uzaklık fonksiyonları davranışsal bir hedef (maliyet minimizasyonu veya kar maksimizasyonu gibi) belirtmeye gerek kalmadan çok girdili çok çıktılı bir üretim teknolojisini tanımlamaktadır (González, 2011). Malmquist toplam faktör verimlilik endeksi teknolojik değişim ve teknik etkinlikteki değişim olmak üzere temelde iki unsurdan oluşmaktadır. Diğer bir ifade ile Malmquist toplam faktör verimlilik endeksi teknolojik değişim ve teknik etkinlikteki değişim değerlerinin çarpımı sonucunda ortaya çıkmaktadır. Teknik etkinlikteki değişim de kendi içinde saf etkinlikteki değişim ve ölçek etkinliğindeki değişim olmak üzere iki alt unsurdan meydana gelmektedir. Yani teknik etkinlikteki değişim saf etkinlikteki değişim ile ölçek etkinliğindeki değişim değerlerinin çarpımı sonucunda ortaya çıkmaktadır (Tutkavul, 2019).

Verimlilik endeksi birden büyükse verimlilik artışı olmaktadır. Endeksin birden küçük olması üretkenliğin azaldığını, bire eşit olması durumunda ise üretkenliğin değişmediğini göstermektedir. Endeks, girdi bazlı veya çıktı bazlı endeks olarak belirtilebilir. Verimlilik ölçümleri ilkinde girdi verimliliği ölçümleri ve ikincisinde ise çıktı verimliliği ölçümleridir (Bjurek, 1996).

## 3. LİTERATÜR

Benli ve Degirmen (2013) Türk bankacılık sektöründe 2004-2009 döneminde bankaların toplam faktör verimliliğini ve toplam faktör verimliliğinin bileşenlerinde yarattığı değişimleri ölçmeyi amaçlamışlardır. Bu çalışmayla elde edilen test sonuçları teknolojik verimlilik, teknik verimlilik ve toplam faktör verimliliğindeki olumlu değişiklikler sayesinde diğer özel ve kamu bankalarına göre yabancı bankaların daha verimli olduğunu göstermektedir. Turkish Bank ve Societe Generale'in teknik verimlilik artışı en yüksek düzeyde olan bankalar olduğu belirtilmiştir. Ziraat Bankası, Akbank ve Deutsche Bank teknik verimlilik düşüşünün en fazla olduğu bankalar olarak belirtilmiştir. Ayrıca teknolojik verimlilik artışının en yüksek olduğu bankaları Vakıf, Adabank ve WestLB AG olarak belirtmişlerdir. Ziraat Bankası ve Societe Generale'in ise en az teknolojik verimlilik artışı kaydeden bankalar olduğu belirtilmiştir. Böylece toplam faktör verimlilik artış hızı en yüksek olan bankaların Vakıf, Adabank ve The Royal Bank olduğu sonucuna varılmıştır. Toplam faktör verimliliğinde en fazla azalmayı ilk üç sırada Ziraat Bankası, Akbank ve HSBC Bank'ın yaşadığı belirtilmiştir. ING Bank'ın teknik verimliliğini optimum seviyede artırdığı, en büyük düşüşü ise Deutsche Bank'ın yaşadığını gözlemlemişlerdir. Teknolojik değişim açısından en fazla artış kaydeden banka Adabank olurken, en fazla azalmanın olduğu banka ise Eurobank Tekfen olduğu belirtilmiştir. Societe Generale'in toplam faktör verimliliğinde en yüksek büyüme oranına sahip olduğunu belirtmişler, en düşük büyüme oranının ise Deutsche Bank'da olduğu sonucuna varmışlardır.

Abbas et al. (2015) İslami ve konvansiyonel bankaların 2005-2009 örnek dönemindeki performanslarını karşılaştırmak için Malmquist Endeksi'ni hesaplamışlardır. İslami bankaların verimliliğinin 2007 yılında düştüğünü, ancak 2008-2009 yılları arasında arttığını belirtmişlerdir. İslami bankalarda geleneksel bankalarla karşılaştırıldığında 2005-2006 yılları arasında verimlilik artışının daha yüksek olduğu, ancak sonraki yıllarda İslami bankaların daha düşük bir büyüme yaşadıkları belirtilmiştir. İslami bankaların Malmquist verimlilik endeksinin, geleneksel bankalarla karşılaştırıldığında 2007 ve 2008 yıllarında İslami

bankalar için daha yüksek kaldığı belirtilmiştir. Ancak 2009’da Malmquist verimlilik endeksinde geleneksel bankaların daha yüksek verimlilik elde ettiğini bulmuşlardır. Konvansiyonel bankaların verimliliği düşerken İslami bankaların verimlilik değişiminde artış olduğu belirtilmiştir. İslami bankaların, örnek zaman diliminde ölçek verimliliğini korumayı başardıkları bulunmuştur. Bununla birlikte, İslami ve konvansiyonel bankaların tüm endekslere göre 2006-2009 döneminde verimlilik artışında anlamlı bir fark olmadığı sonucuna ulaşmışlardır.

Alrafadi et al. (2015) Libya bankacılık sektöründeki 17 bankanın teknik, saf teknik ve ölçek etkinliğinin 2004 ile 2010 yılları arasında yükselip yükselmediğini araştırmak için DEA yöntemini kullanmışlardır. Bankacılık sektörünün ortalama etkinlik puanlarında bir iyileşme olduğunu bulmuşlardır. Çalışmada ayrıca en verimli bankaların uzmanlaşmış bankalar, ardından ticari bankalar ve son olarak özel bankalar olduğunu bulmuşlardır. İkinci aşamada, Malmquist verimlilik endeksi kullanılarak Libya bankalarının verimliliği ölçülmüş ve sonuçlar, 17 Libya bankasından 11’inin, negatif teknik verimlilik değişikliğine sahip olması (1’den az) nedeniyle bankaların toplam faktör verimliliği seviyelerinin düştüğünü bulmuşlardır.

Daştan ve Çalmaşur (2015) 2003-2014 yılları arasında Türk bankacılık sektöründe faaliyet gösteren bankaların toplam faktör verimliliğinin analizini yapmayı amaçlamışlardır. 42 bankanın panel verilerini kullanmışlar ve Malmquist Toplam Faktör Verimliliği Endeksi yöntemi uygulamışlardır. 2003-2014 yılları arasında bankaların toplam faktör verimliliğinde ortalama %5,2’lik bir artış olduğunu ve bu artışın teknik verimlilik değişim endeksindeki %2,5’lik artışın ve teknolojik değişim endeksindeki %2,7’lik artışın sonucu olduğunu bulmuşlardır. 2006-2007, 2010-2011 ve 2013-2014 yılları hariç tüm yıllarda toplam faktör verimliliğinde artış bulmuşlardır. Çalışmadaki 42 bankadan 18’i etkin bulunmamış, kalan 24 bankanın ise etkin olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Türkiye Vakıflar Bankası Anonim Şirketi’nin 2003-2014 yılları arasında etkin bulunmadığı belirtilmiştir. 11 özel sermayeli bankadan Akbank, Türkiye Garanti Bankası, Türkiye İş Bankası ve Yapı Kredi Bankasının etkin bulunmadığı belirtilmiştir. 15 yabancı sermayeli bankadan Alternatifbank, Arap Türk Bankası, Bank Mellat, Citibank, Denizbank, Deutsche Bank, Finans Bank, HSBC Bank, ING Bank’ın etkin bulunmadığı sonucuna ulaşmışlardır.

Dizkırırcı ve Gökgöz (2015) BİST Bankalar Endeksi’nde listelenen 12 mevduat bankasının performansını karşılaştırmak amacıyla söz konusu endeksten seçilen bankaların verimlilik değerlerini 2010-2013 dönemi finansal oranlarına göre VZA ile hesaplamışlardır. ALNTF, HALK BANKASI, SKBNK ve ALNTF, DENİZ, HALK BANKASI, SKBNK, YKBNK’nın sırasıyla 2012 ve 2013 yıllarında etkin bankalar olduğu sonucuna ulaşmışlardır. ALNTF ve HALK BANKASI her iki yılda da etkin banka iken, SKBNK’ın söz konusu dönemin üç yılında etkin olduğunu bulmuşlardır. Toplam faktör verimliliği değişimlerine göre; ALNTF, DENİZ, SKBNK, TEBNK, TEKST 2011 yılında verimliliğini artırırken ALNTF, ISCTR, SKBNK, TEKST, VAKBN 2012 yılında bir önceki yıla göre daha yüksek verimliliğe sahip olduğu belirtilmiştir. Son olarak 2013 yılında; sadece DENİZ ve YKBNK toplam faktör verimliliğinde iyileşme gösterirken diğerlerinde 2012 yılına göre verimliliğin düşüş gösterdiğini bulmuşlardır. ALNTF, DENİZ, ISCTR, SKBNK, TEBNK, TEKST, VAKBN ve YKBNK belirtilen dönemin farklı yıllarında daha iyi verimlilik oranlarına sahip olduğu ancak hiçbirinin sonraki yıllarda verimlilik oranlarını artıramadığını belirtmişlerdir.

Gümrah ve diğerleri (2015) Türkiye’de faaliyet gösteren 4 katılım bankasının verilerini dikkate alarak ilgili katılım bankalarının 2005-2013 yılları arasındaki verimliliklerini Veri Zarflama Analizi kullanarak ölçmüşlerdir. Analiz sonuçlarına göre katılım bankalarının verimli çalışmadığını tespit etmişler ve potansiyel iyileştirme tabloları oluşturmuşlardır. Bu tablolar incelendiğinde, varlık büyüklüğünde % 5,78, mevduatta % 13,97, personel sayısında % 23,54 ve kar paylaşım giderlerinde % 5,78 oranında azalma olduğunu bulmuşlardır.

Marković et al. (2015) Sırbistan Bankası’nın 2007-2010 dönemindeki verimlilik değişimini değerlendirmişlerdir. Veri Zarflama Analizi (DEA) yöntemi ve Malmquist endeksi kullanılarak mali tablolardan elde edilen bilgilere dayalı olarak bankacılık sektörünün verimliliğinin düştüğü sonucuna ulaşmışlardır.

Sufian and Kamarudin (2015) 1998 – 2008 döneminde Malezya bankalarının toplam faktör verimliliği üzerinde teknolojik değişimin etkisini değerlendirmek için yarı parametrik Malmquist Verimlilik Endeksi (MPI) yöntemini kullanmışlardır. Malezya bankacılık sektörünün teknolojik verimlilikte artış sergilediği bulgusunu elde etmişlerdir. Ayrıca teknolojik değişimin yerli ve yabancı bankaların toplam faktör verimliliği değişimini güçlü ve pozitif yönde etkilediğini bulmuşlardır. Ölçek etkinliğinin yabancı sermayeli bankaların etkinliğindeki artışa katkıda bulunduğunu belirtmişlerdir. Yerli sermayeli Malezya bankalarının, saf teknik verimlilikteki artıştan büyük ölçüde yararlandığı sonucuna ulaşmışlardır.

Depren ve Depren (2016) Türk bankacılık sektöründe faaliyet gösteren mevduat bankalarının 2014-2015 yılları arasındaki performansını VZA ve Malmquist Verimlilik Endeksi yöntemlerini kullanarak değerlendirmişlerdir. Analiz sonucunda üretim yaklaşımı açısından genel performansın olumlu yönde

değiştirdiği belirtilmiştir. Ancak aracılık yaklaşımı açısından performansta düşüş yaşandığını bulmuşlardır. Ampirik sonuçlar, ortalama olarak verimlilik azalışlarının aracılık yaklaşımında faiz dışı harcamalar / toplam aktifler, toplam krediler / toplam aktifler ve faiz dışı gelir / toplam aktifler ile ilişkili olduğunu belirtmişlerdir. Üretim yaklaşımında şube başına ortalama personel sayısı, toplam giderler / toplam aktifler ve toplam mevduat / toplam aktiflerin verimlilik açısından önemli rol oynadığını bulmuşlardır.

Duygun ve diğerleri (2016) 2005 ve 2013 yılları arasında Birleşik Krallık merkezli yüksek sermayeli olan ve yüksek sermayeli olmayan ticari bankalar arasındaki Toplam Faktör Verimliliği (TFV) değişimini değerlendirmek için parametrik olmayan bir Metafrontier Malmquist toplam faktör verimliliği endeksi hesaplamışlardır. Yüksek sermayeli bankalar arasında finansal krizin başlangıcına kadar TFV'nin arttığını ancak bu sürecin finansal krizin başlangıcından itibaren tersine döndüğünü bulmuşlardır. TFV'nin gelişiminin (aynı zamanda ana faktörlerinin) iki grup arasında önemli ölçüde farklılık gösterdiğini belirtmişlerdir. Yüksek sermayeli bankaların, hizmetlerinde dijitalleşmeden tam olarak faydalanmayı başardıkları belirtilmiştir. Bu etkinin güçlü olduğu ancak teknik ilerlemenin küçük bir banka grubu tarafından sağlandığı sonucuna ulaşmışlardır.

Işık ve diğerleri (2016) Malmquist Toplam Faktör Verimliliği yöntemini kullanarak, Ürdün ticari, yatırım ve İslami bankalarının verimlilik ve etkinlik değişimini incelemişlerdir. Ortalama olarak ilk modelde %79 teknik verimlilik ve %3,2 verimlilik artışı bulurken sonraki modelde sektör için %92 teknik verimlilik ve %3,3 verimlilik artışı bulmuşlardır. Ticari bankaların verimlilik ve toplam faktör verimliliği artışı açısından genellikle hem yatırım hem de İslami bankalardan daha iyi performans gösterdiğini bulmuşlardır. Üretim modeli altında, genel teknik, saf teknik ve ölçek verimliliği puanları ticari bankalar için sırasıyla yaklaşık %81, %92 ve %84, yatırım bankaları için sırasıyla %76, %94 ve %81, İslami bankalar için sırasıyla %79, %92 ve %83 olduğunu belirtmişlerdir. Aracılık modeli altında ise genel TE, PTE ve SE puanları ticari bankalar için sırasıyla yaklaşık %98, %100 ve %98, yatırım bankaları için sırasıyla %86, %99 ve %88, İslami bankalar için sırasıyla %87, %93 ve %92 olduğunu bulmuşlardır. Ticari bankaların, teknik ve ölçek verimliliği ölçümleri açısından diğer bankalardan (hem yatırım hem de İslami) daha iyi olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Kevork ve diğerleri (2017) 2007-2014 yılları arasında 28 Avrupa ülkesinden 644 bankadan oluşan bir örneklemden alınan girdi / çıktı verilerine Malmquist Verimlilik Endeksi uygulamışlardır. Avrupa Birliği'nde bulunan bankaların üretkenlik düzeylerinin göreceli kaldığını bulmuşlardır. 2007 ile 2014 yılları arasında iki dönem karşılaştırıldığında Avrupa Birliği'nde bulunan bankaların ölçek verimliliği düzeylerini artırdıkları, finansal krizden ölçek ekonomilerini kullanarak toparlanmaya başladıkları yönünde sonuçların olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca devlet borç krizi sırasında bankaların teknolojik değişim düzeylerini artırdıklarını bulmuşlardır.

Alexakis ve diğerleri (2019) 2006-2012 döneminde Körfez İşbirliği Konseyi bölgesindeki İslami ve geleneksel bankaların göreceli performansını ve üretkenliğini finansal oranlar, iki ve dört bileşenli bir Meta-Sınır Malmquist Toplam Faktör verimliliği Endeksi (MPI) kullanarak değerlendirmişlerdir. İslami bankaların daha kötü maliyet ve kâr performansı sergilediğini ancak geleneksel bankalarla karşılaştırıldığında gelir performansı açısından eşit olduğunu belirtmişlerdir. Geleneksel bankaların teknolojisinin mali krize yol açan yıllarda belirgin şekilde iyileştiği ve sonrasında kötüye gittiği bulgusuna ulaşmışlardır. Teknik verimlilik ve teknolojiye verimlilik konusunda İslami banka grubu içindeki farklılığın İslami bankaların kendi içinde heterojen bir yapı gösterdiğini belirtmişlerdir.

Maradin ve diğerleri (2019) Avrupa bankacılık sektörüyle ilgili 2000 yılından sonra yayınlanan verimlilik ile ilgili çalışmaların literatür taramasını gerçekleştirmişlerdir. Literatüre göre çoğu çalışmada değişken seçimine ve uygulanan metodolojiye bağlı olarak bankaların verimliliğinin belirli dönemler için ölçülmesinde küçük farklılıkların olduğu sonucuna varmışlardır.

Shah ve diğerleri (2019) sürdürülebilir banka performansını ve verimliliğini sürdürülebilir olmayan bankalarla 9 yıllık dönemde (2010-2018) karşılaştırmalı olarak değerlendirmek için VZA ve Malmquist Verimlilik Endeksinin entegrasyonu ile iki aşamalı bir performans değerlendirmesi amaçlamışlardır. Sürdürülebilir bankaların daha etkin ve üretken olduğunu bulmuşlardır. Sürdürülebilir bankaların ve sürdürülemez bankaların verimliliğinin dış ve iç faktörlerden etkilendiği, sürdürülebilir bankaların verimliliğinin hükümet politikalarındaki değişiklikler, teknolojiye ileriye gidenler ve ekonomik ortamdaki değişiklikler gibi dış faktörlerden etkilendiğini bulmuşlardır.

Christopoulos ve diğerleri (2020) 2009-2015 döneminde muhasebe ve makroekonomik verilere uygulanan VZA, Malmquist Verimlilik Endeksi ve regresyondan oluşan bir modelleme çerçevesine Portekiz, İrlanda, İtalya, Yunanistan ve İspanya'nın göreceli bankacılık verimliliğini değerlendirmeyi amaçlamışlardır. İncelenen bankaların çoğunda yüksek derecede verimsizliğe dair istatistiksel kanıtlar bulmuşlardır. Bankaların çoğunluğunun incelenen dönemin sonunda verimlilik puanında olumsuz bir değişim olduğu bulunmuştur. Malmquist Verimlilik Endeksi sonuçlarına göre, bankaların %75'inde ortalama toplam faktör verimliliği değişiminde (TFFK) artış görüldüğü belirtilmiştir.

Hassan (2020) düzenlemenin ve diğer mikro ve makroekonomik faktörlerin bankaların üretkenlik artışı üzerindeki etkisini incelemeyi amaçlamıştır. Yüksek sermaye gereksinimlerinin Kuzey ve Latin Amerika bankalarında verimliliği artırdığını, ancak Avrupa, Afrika veya Asya bankalarında verimliliği artırmadığını bulmuştur. Gayrimenkul, sigorta ve menkul kıymet faaliyetlerindeki kısıtlamaların tüm gelir düzeyi gruplarında verimlilik değişimini engellediği ancak yüksek gelirli ekonomilerde engellemediği sonucuna ulaşmıştır. Piyasa oynaklığının teknolojik değişimi ve ölçek verimliliğini artırdığını ancak saf teknik verimliliği azalttığını bulmuştur.

Mansour and Moussawi (2020) Arap bankalarının 2000-2014 dönemindeki toplam verimliliklerini hesaplamayı amaçlamışlardır. Bankaların verimliliğini ve üretkenliğini incelemek için teknik verimliliği, tahsis verimliliğini, maliyet verimliliğini ve faktörlerin toplam üretkenliğini hesaplamak için mesafe fonksiyonu kavramına dayalı tahmin tekniklerini kullanmışlardır. Arap bankalarının teknik, tahsis ve maliyet verimsizliklerinin sırasıyla %13, %21 ve %30 civarında olduğunu bulmuşlardır. Üretkenliğin açıklanmasında en önemli faktörler banka büyüklüğü, karlılık, öz sermaye oranı ve ekonomik büyüme oranı iken, bankanın risk oranının üretkenliğin bozulmasıyla ilişkili olduğunu belirtmişlerdir. Büyük bankaların (varlık büyüklüğü açısından) küçük ve orta ölçekli bankalardan daha verimli olduğu ve küçük bankaların Arap bankacılık sektöründe en düşük verimlilik puanlarına sahip olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Thota and Subrahmanyam (2020) 1992-2018 dönemi için bir grup Hint ticari (kamu, özel ve yabancı) banka için toplam faktör verimliliğini incelemeyi amaçlamışlardır. Dönemin başında düşük üretkenlik seviyesine sahip bankaların 1992-2018 döneminde farklı sahiplik kategorilerinde (kamu, özel ve yabancı) yüksek üretkenliğe sahip bankalardan daha hızlı büyüyüp büyümediğini incelemişlerdir. Mülkiyet yanlılığı olmayan Hint bankaları arasında yakınsama (beta ve sigma) hipotezinin güçlü bir şekilde desteklendiğini bulmuşlardır. Verimliliğin, örneklem döneminde kamu sektörü bankalarında daha yüksek olduğu, bunu yabancı ve özel bankaların takip ettiğini belirtmişlerdir.

Bahadji and Cheikh (2021) Cezayir’de faaliyet gösteren 13 banka için (2011-2015) çıktı odaklı Ölçeğe göre sabit getiri VZA tabanlı Malmquist Verimlilik Endeksi Yaklaşımını kullanarak Cezayir bankacılık sektöründeki verimlilik değişimini ölçmeyi amaçlamışlardır. Yerli bankaların yabancı ve ortak bankalara göre ortalama olarak daha verimli çalıştığı bulgusunu elde etmişlerdir. Teknik etkinlik CCR yönteminin sonuçlarına göre 2015 yılı Cezayir’de faaliyet gösteren bankalar için teknik verimliliğin (CCR) en yüksek olduğu yıl olarak bulunmuşken, 2013 yılının en düşük teknik verimliliğin görüldüğü yıl olduğunu belirtmişlerdir. Verimlilik artışının 2012-2013 ve 2014-2015 yıllarında gerçekleştiğini, büyümenin ise 2012-2013 yıllarında en yüksek seviyede olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Cho and Chen (2021) Fintech gelişiminin Çin bankacılık sektörü üzerindeki etkisini tahmin etmek için Metasınır Maliyeti Malmquist Üretkenlik Endeksini (CMM) tanımlamak için Veri Zarflama Analizi (DEA) yaklaşımını ve üretkenlik değişiminin kaynaklarını ve bunların ekonomik sonuçlarını araştırmak için ayrıştırılmış faktör analizini uygulamışlardır. Ortalama CMM puanının 1,0626 olduğunu bulmuşlar, bu durumun da çalışma dönemi boyunca Malmquist üretkenliğinin maliyetinde %6,26’lık bir iyileşme anlamına geldiğini belirtmişlerdir. Farklı türdeki Çin bankaları arasında performans farklılıklarının oldukça belirgin olduğu, varlık büyüklüğü ne kadar büyük ise, bankanın mobil cihaz işlemlerindeki payının da o kadar büyük olduğu bulgusuna ulaşmışlardır.

Rusydiana and Assalafiyah (2021) 2010-2019 döneminde dört ASEAN ülkesindeki (Endonezya, Malezya, Brunei Darussalam ve Tayland) 24 İslami bankanın verimlilik seviyesini ölçmek için Veri Zarflama Analizi (VZA) uygulamışlardır. Toplam faktör verimliliği değişimindeki Malmquist endeksi puanlarına göre, 24 İslami bankadan 17’sinin (veya %70,8’i) araştırma döneminde üretkenlikte bir iyileşme elde ettiği ve Tayland’ın en yüksek üretkenlik seviyesi artışı kaydettiği sonucuna ulaşmışlardır. Dönemin son iki yılında, yani 2017-2018 ve 2018-2019 yıllarında bir üretkenlik artışı olduğunu gözlemlemişlerdir. 2010’dan 2019’a kadar ASEAN’daki İslami ticari bankaların üretkenlik büyümesindeki artışın, artan verimlilik değişimi seviyeleriyle gösterildiği gibi verimlilik değişikliklerinden etkilendiğini belirtmişlerdir.

Shair et al. (2021) Pakistan bankacılık sektörünün verimliliğini ve toplam faktör verimliliği büyümesini incelemiş, risk ve rekabetin verimlilik ve TFV büyümesi üzerindeki etkisini belirlemeyi amaçlamışlardır. Kredi ve likidite risklerinin pozitif, iflas riskinin ise verimlilik ve TFV büyümesi üzerinde negatif etkiye sahip olduğu bulgusunu elde etmişlerdir. Pakistan bankacılık sektörünün teknik verimliliğe ilişkin rekabet etkinsiz hipoteziyle tutarlı olduğunu bulmuşlardır. Daha fazla likidite riskinin teknik, teknolojik ve toplam faktör verimliliği artışını iyileştirme eğiliminde olduğunu, iflas riskinin ise saf verimlilik artışını kötüleştirdiğini belirtmişlerdir.

As-Salafiyah (2023) Orta Java’daki Kırsal Bankaların (BPR) ve İslami Kırsal Bankaların (BPRS) verimliliğini analiz etmeyi ve ölçmeyi, ayrıca Malmquist Üretkenlik Endeksi’ni (MPI) kullanarak 2016-2021 döneminde iki tür bankanın verimliliğini etkileyen faktörleri belirlemeyi amaçlamıştır. Çalışmada Covid-19 salgını

sırasında BPR ve BPRS'nin verimliliği de incelenmiştir. COVID 19 salgını sırasında BPR ve BPRS'nin genel olarak verimlilikte bir artış yaşadığını, BPRS'nin daha yüksek teknoloji benimseme ve daha yüksek ortalama Toplam Faktör Üretkenliği Değişimleri (TFPCH) değerleri ile daha iyi performans gösterdiğini, verimlilikteki değişimin (EFFCH) ise azalma eğiliminde olduğunu belirtmiştir.

#### 4. MALMQUIST TOPLAM FAKTÖR VERİMLİLİK ENDEKSİ İLE FİNANSAL PERFORMANS ANALİZİ: TÜRK BANKA SEKTÖRÜ UYGULAMASI

##### 4.1. Çalışmanın Kısıtları ve Veri Seti

Çalışma örneğini oluşturan bankalarla ilgili mali veriler Kamuyu Aydınlatma Platformu (KAP) internet sitesinden ve Türkiye Bankalar Birliğinin internet sitesinden elde edilmiştir. Tüm etkinlik analizlerinde olduğu gibi Malmquist Toplam Faktör Verimliliği Endeksi analizinde de girdi ve çıktı değişkenlerinin seçimi oldukça önemlidir. Çünkü analizin başarısı karar verme birimlerinin performansını en iyi şekilde yansıtacak girdi ve çıktı değişkenlerinin seçilmesine bağlıdır. Söz konusu girdi ve çıktı değişkenleri seçilirken değişkenler arasındaki korelasyon analizine bakılarak aralarında yüksek korelasyon bulunan değişkenlerden biri analizden çıkartılabilmektedir (Asker, 2021).

Çalışmanın literatürdeki diğer çalışmalardan ayrılan yönü literatürde kullanılan değişkenler alınarak korelasyon analizi ile yüksek korelasyona sahip değişkenlerin varlığı araştırılmış ROA ve ROE bağımlı değişken olarak seçildiğinde korelasyon tablosunda TÜFE değişkeni ile FİNTEKSİRKETSAY (Finansal Teknoloji yeni kurulan şirket sayısı) değişkeni arasında -0,832 korelasyon bulunmuştur. TÜFE 1 birim arttığında yeni kurulan finansal teknoloji şirket sayısı 0,832 birim azalmakta, ya da TÜFE 1 birim azaldığında yeni kurulan finansal teknoloji şirket sayısı 0,832 birim artmaktadır. Bu iki değişken dışında pozitif veya negatif yüksek korelasyona sahip değişken bulunamamıştır. İkinci aşama olarak panel en küçük kareler regresyon analizi sonucunda anlamlı olmayan değişkenler veri setinden çıkarılmıştır. Ek 1'de bağımlı değişken ROA (Aktif Karlılığı) alınarak yapılan regresyon analizi sonucu Ek 2'de Bağımlı değişken ROE (Öz sermaye Karlılığı) alınarak yapılan regresyon analizi sonucu verilmiştir.

**Tablo 1. Çalışmada kullanılan girdi-çıkı değişkenleri ve bu çalışmada kullanılan değişkenleri çalışmalarında kullanan yazarlar**

| <i>Değişkenler</i>                                        | <i>Hesaplama</i>                                                             | <i>Değişken Kısaltması</i> | <i>Kaynaklar</i>                                                                                             |
|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Girdi Değişkenleri</b>                                 |                                                                              |                            |                                                                                                              |
| Toplam varlıkların doğal logaritması                      |                                                                              | toplamvarlik               | Almulla ve Aljughaiman (2021), Mirza ve diğerleri (2023), Phan ve diğerleri (2020), Wang ve diğerleri (2021) |
| Toplam sermayenin toplam varlıklara oranı                 | Öz Kaynaklar / Varlık (Aktif) Toplamı                                        | topsertopvar               | Almulla ve Aljughaiman (2021), Wang ve diğerleri (2021)                                                      |
| Toplam kredinin toplam varlıklara oranı                   | İtfa Edilmiş Maliyeti ile Ölçülen Finansal Varlıklar (Net)/Varlıklar Toplamı | topkrdtopvar               | Almulla ve Aljughaiman (2021)                                                                                |
| Net Ücret ve Komisyon Gelirleri/Dönem Net Karı ve Zararı  | (Faaliyet Brüt Kârı-Net Faiz Geliri veya Gideri)/Faaliyet Brüt Kârı          | ucrtkomgelnetkar           | Mirza ve diğerleri (2023)                                                                                    |
| Toplam borç/öz sermaye oranı                              | (Yükümlülükler Toplamı-zkaynaklar)/Özkaynaklar                               | topborcozsermaye           | Campanella ve diğerleri (2020)                                                                               |
| Borsa İstanbul Sürdürülebilirlik Endeksinde Olup Olmadığı | (Endekste değil ise 0 endekste ise 1)                                        | bistsurdurulebilirendeks   | Shair ve diğerleri (2021)                                                                                    |
| <b>Çıktı Değişkenleri</b>                                 |                                                                              |                            |                                                                                                              |
| Aktif Karlılığı (ROA)                                     | Net Kar/Toplam Varlık                                                        | roa                        | Almashhadani ve Almashhadani (2023), Phan ve diğerleri (2020), Wang ve diğerleri (2021), Yudaruddin (2023)   |
| Özsermaye Karlılığı (ROE)                                 | Net Kar/Özsermaye                                                            | roe                        | Almashhadani ve Almashhadani (2023), Phan ve diğerleri (2020), Yudaruddin (2023)                             |

Tablo 1’de çalışmada kullanılan girdi-çıktı değişkenleri ve bu çalışmada kullanılan değişkenleri çalışmalarında kullanan yazarlara ait bilgiler verilmiştir. Söz konusu girdi ve çıktı değişkenlerinin seçimi aşamasında literatürde yer alan benzer çalışmalardan yararlanılmıştır. Bu çalışmada girdi ve çıktı değişkenlerinin seçiminde üretim yaklaşımı ve aracılık yaklaşımını içeren karma yöntem kullanılmıştır. Konvansiyonel bankalar ile katılım bankalarının mali tablolarında ortak yönler olabildiği gibi bazı farklılıklar da bulunmaktadır. Bu çalışmada alınan birinci değişken olan “Aktif Toplamı” hem konvansiyonel bankalarda hem de katılım bankalarının finansal durum tablolarında bulunmaktadır. İkinci değişken olan “Toplam Sermayenin Toplam Varlıklara Oranı” değişkeninde bulunan “Özsermaye” ve “Toplam Varlıklar” hem konvansiyonel bankaların hem de katılım bankalarının finansal durum tablolarında yer almaktadır. Üçüncü değişken olan “Toplam Kredinin Toplam Varlıklara Oranı” konvansiyonel bankaların ve Katılım bankalarının mali tablolarında “Krediler ve Alacaklar” başlığı altında verilmiştir. Dördüncü değişken “Net Ücret ve Komisyon Gelirleri/Dönem Net Karı ve Zararı” konvansiyonel bankalarda “Faaliyet Brüt Kârı-Net Faiz Geliri veya Gideri” / Faaliyet Brüt Kârı ile hesaplanırken katılım bankalarında “Net Kar Payı Geliri / Gideri” ile hesaplanmaktadır. Konvansiyonel bankalarla katılım bankalarının verimliliklerinin karşılaştırılmasında çalışmada kullanılan değişkenler özelinde farklılık yalnızca dördüncü değişkenin hesaplanmasında iki gelir türünün isminin aynı olmamasıdır. Bu çalışmada mali tablolarda bulunan farklı kalemlerin karşısındaki değerler alınmıştır.

Literatürde Veri Zarflama Analizi ve Malmquist Toplam Faktör Verimlilik Endeksi yöntemleri kullanılarak yurt dışında yayınlanmış olan konvansiyonel bankaların ve katılım bankalarının performanslarının karşılaştırıldığı çalışmalar bulunmaktadır. Örneğin Abbas ve diğerleri (2015), Alexakis ve diğerleri (2019); Işık ve diğerleri (2016); As-Salafiyah (2023); Yılmaz ve Güneş (2015), Yudaruddin (2023) geleneksel ve İslami (Katılım) bankaların verimliliklerini ölçmeyi amaçlayan çalışmalar içerisinde sayılmaktadır. MUFG Bank Turkey A.Ş. ve Odea Bank A.Ş., Bank of China Turkey A.Ş. çalışma dönemine ait verilerine ulaşamadığından örneğe dahil edilmemiştir.

**Tablo 2. Çalışma örneğini oluşturan bankaların sınıflandırılması ve özet bilgileri**

| <i>Banka Adı</i>                              | <i>Kuruluş Yılı</i> | <i>Toplam Varlıklar</i> | <i>Yurtiçi Şube Sayısı</i> | <i>Çalışan Sayısı</i> |
|-----------------------------------------------|---------------------|-------------------------|----------------------------|-----------------------|
| <i>Kamu Sermayeli Bankalar</i>                |                     |                         |                            |                       |
| Türkiye Cumhuriyeti Ziraat Bankası A.Ş.       | 1863                | 4.949.000               | 1752                       | 24579                 |
| Türkiye Halk Bankası A.Ş.                     | 1933                | 2.600.000               | 1034                       | 20120                 |
| Türkiye Vakıflar Bankası T.A.O.               | 1954                | 3.600.000               | 939                        | 16888                 |
| <i>Özel Yerli Sermayeli Mevduat Bankaları</i> |                     |                         |                            |                       |
| Akbank T.A.Ş.                                 | 1948                | 2.404.000               | 711                        | 12230                 |
| Anadolubank A.Ş.                              | 1997                | 54.978                  | 116                        | 1649                  |
| Fibabanka A.Ş.                                | 2010                | 88.495                  | 45                         | 1799                  |
| Şekerbank T.A.Ş.                              | 1953                | 107.900                 | 238                        | 3414                  |
| Turkish Bank A.Ş.                             | 1982                | 2.383                   | 7                          | 135                   |
| Türk Ekonomi Bankası A.Ş. (TEB)               | 1927                | 568.000                 | 457                        | 8501                  |
| Türkiye İş Bankası A.Ş.                       | 1924                | 3.200.000               | 1153                       | 22757                 |
| Yapı ve Kredi Bankası A.Ş.                    | 1944                | 1.534.000               | 804                        | 15403                 |
| <i>Yabancı Sermayeli Bankalar</i>             |                     |                         |                            |                       |
| Alternatifbank A.Ş.                           | 1991                | 32.456                  | 38                         | 802                   |
| Arap Türk Bankası                             | 1976                | 2.676                   | 7                          | 279                   |
| Burgan Bank A.Ş.                              | 2012                | 63.977                  | 32                         | 937                   |
| Citibank A.Ş.                                 | 1975                | 67.600                  | 3                          | 388                   |
| Denizbank A.Ş.                                | 1997                | 779.703                 | 697                        | 12636                 |
| Deutsche Bank A.Ş.                            | 1987                | 21.308                  | 1                          | 118                   |
| HSBC Bank A.Ş.                                | 1990                | 78.256                  | 70                         | 1856                  |
| ICBC Turkey Bank A.Ş.                         | 2015                | 24.256                  | 39                         | 735                   |
| ING Bank A.Ş.                                 | 2007                | 113.505                 | 163                        | 3018                  |
| QNB Bank A.Ş.                                 | 1987                | 914.608                 | 444                        | 11142                 |
| Rabobank A.Ş.                                 | 2014                | 1.744                   | 1                          | 30                    |
| Türkiye Garanti Bankası A.Ş.                  | 1946                | 1.678.596               | 857                        | 18689                 |
| <i>Katılım Bankaları</i>                      |                     |                         |                            |                       |
| Albaraka Türk Katılım Bankası A.Ş.            | 1984                | 155.559                 | 225                        | 2731                  |
| Kuveyt Türk Katılım Bankası A.Ş.              | 1989                | 407.298                 | 447                        | 6054                  |
| Türkiye Finans Katılım Bankası A.Ş.           | 2005                | 171.075                 | 305                        | 3665                  |
| Vakıf Katılım Bankası A.Ş.                    | 2015                | 219.807                 | 197                        | 2868                  |
| Ziraat Katılım Bankası A.Ş.                   | 2015                | 239.446                 | 196                        | 2851                  |

Tablo 2’de çalışma örneğini oluşturan konvansiyonel ve katılım bankalarının sınıflandırılması ve özet bilgileri verilmiştir. Yabancı bankaların Türkiye’de faaliyet gösterdikleri tarih kuruluş yılı olarak alınmıştır. Bankalara ait kuruluş yılları, varlıkları, şube sayısı ve çalışan sayısı bilgileri KAP Kamuyu Aydınlatma Platformunun internet adresinden elde edilmiştir. Bankalara ait şube sayısı Türkiye Bankalar Birliği’nin (2024) internet adresinden temin edilmiştir. Katılım bankaları şube ve çalışan sayısı <https://bankadunyasi.com> adresinden elde edilmiştir.

Toplam Varlıklar (Milyon TL)2024 Eylül İtibariyle, Yurtiçi Şube Sayısı 30.06.2022 itibariyle, Çalışan Sayısı (Konvansiyonel Bankalar için 30.06.2022 itibariyle; Katılım Bankaları için 31.03.2024 Tarihi itibariyle alınmıştır.

#### 4.2. Araştırmanın Yöntemi

Belirlenen girdi ve çıktı değerleri DEAP 2.1 programına girilerek her bir banka için Malmquist Toplam Faktör Verimlilik Endeksi değerleri hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda elde edilen değerler yorumlanarak analiz edilmiştir.

#### 4.3. Analiz Bulguları

Tablo 3’deki Malmquist Endeksi (2016-2017) incelendiğinde 2016-2017 dönemi için en yüksekten düşüğe doğru sırasıyla ilk beş banka olan Turkish Bank, Vakıf Katılım Bankası, Alternatifbank, Ziraat Katılım Bankası, ICBC Turkey Bank etkinliklerinin bir önceki döneme göre arttığı görülmektedir. Etkinliğin Ziraat Bankası, Citibank, Rabobank ve Kuveyt Türk Katılım Bankası için sabit kaldığı görülmektedir. En düşüğe doğru sırasıyla ilk beş banka olan Deutsche Bank, Anadolubank, HSBC Bank, Arap Türk Bankası, Albaraka Türk Katılım Bankası’nın etkinliklerinin azaldığı görülmektedir. İlgili dönem teknik etkinlik değişim değerini en fazla artıran ilk beş bankanın sırasıyla Citibank, Deutsche Bank, Ziraat Katılım Bankası, ICBC Turkey Bank, ING Bank olduğu görülmektedir. 2016-2017 döneminde tüm bankalar teknik etkinliklerini artırmışlardır. TEB, Burgan Bank, Alternatifbank’ın saf etkinlikleri bir önceki döneme göre azalırken İş Bankası’nın saf etkinliğinin arttığı, diğer tüm bankaların saf etkinliklerinin sabit kaldığı görülmüştür. Bankaların ölçek etkinlik değişimi incelendiğinde sırasıyla ilk beş bankanın Turkish Bank, Vakıf Katılım Bankası, Alternatifbank, Ziraat Katılım Bankası, ICBC Turkey Bank’ın bir önceki döneme göre ölçek etkinlik değişimini en fazla artıran ilk beş banka olduğu görülmektedir. Ziraat Bankası, Citibank, Rabobank ve Kuveyt Türk Katılım Bankası’nın ölçek değişiminin sabit kaldığı, sırasıyla Deutsche Bank, Anadolubank, İş Bankası, HSBC Bank, Arap Türk Bankası’nın ölçek değişiminin bir önceki döneme göre azalan ilk beş banka oldukları görülmektedir. En yüksek toplam faktör verimlilik artışının sırasıyla Turkish Bank, Vakıf Katılım Bankası, Ziraat Katılım Bankası, Alternatifbank, ICBC Turkey Bank, QNB Bank, ING Bank, Fibabanka, Halk Bankası, Vakıflar Bankası, Türkiye Finans Katılım Bankası, Yapı ve Kredi Bankası olduğu görülmekte, değişimin etkinlik değişimine paralellik arz ettiği görülmektedir. Rabobank, TEB, Citibank, Denizbank, Ziraat Bankası, Kuveyt Türk Katılım Bankası, Burgan Bank, Garanti Bankası, Deutsche Bank, HSBC Bank ve Akbank’ta toplam faktör verimlilik artışının olduğu ancak değişimin etkinlik değişimine paralellik arz etmediği görülmektedir. Toplam faktör verimliliği bir önceki döneme göre en fazla azalan bankalar sırasıyla Anadolubank, Arap Türk Bankası, Albaraka Türk Katılım Bankası, İş Bankası ve Şekerbank olarak görülmektedir. Tablo 4, Tablo 5, Tablo 6, Tablo 7, Tablo 8 ve Tablo 9 açıklamaları Tablo 3 açıklamasına benzer şekilde yapılabilecektir.

**Tablo 3. Malmquist toplam faktör verimliliği endeksi sonuçları (2016-2017)**

| <i>Bankalar</i>                | <i>Etkinlik Değişimi</i> | <i>Teknik Etkinlik Değişimi</i> | <i>Saf Etkinlik Değişimi</i> | <i>Ölçek Etkinlik Değişimi</i> | <i>Toplam Faktör Verimlilik Değişimi</i> |
|--------------------------------|--------------------------|---------------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------------------|
| Ziraat Bankası                 | 1.000                    | 1.078                           | 1.000                        | 1.000                          | 1.078                                    |
| Halk Bankası                   | 1.259                    | 1.128                           | 1.000                        | 1.259                          | <b>1.420</b>                             |
| Vakıflar Bankası               | 1.057                    | 1.094                           | 1.000                        | 1.057                          | <b>1.156</b>                             |
| Akbank                         | 0.946                    | 1.093                           | 1.000                        | 0.946                          | 1.034                                    |
| Anadolubank                    | 0.675                    | 1.131                           | 1.000                        | 0.675                          | 0.763                                    |
| Fibabanka                      | 1.355                    | 1.064                           | 1.000                        | 1.355                          | <b>1.441</b>                             |
| Şekerbank                      | 0.905                    | 1.065                           | 1.000                        | 0.905                          | 0.963                                    |
| Turkish Bank                   | <b>4.585</b>             | 1.180                           | 1.000                        | <b>4.585</b>                   | <b>5.412</b>                             |
| TEB                            | 1.001                    | 1.269                           | <b>0.901</b>                 | 1.111                          | 1.270                                    |
| İş Bankası                     | 0.917                    | 1.042                           | <b>1.263</b>                 | 0.726                          | 0.955                                    |
| Yapı ve Kredi Bankası          | 1.053                    | 1.048                           | 1.000                        | 1.053                          | <b>1.103</b>                             |
| Alternatifbank                 | <b>1.980</b>             | 1.196                           | <b>0.657</b>                 | <b>3.012</b>                   | <b>2.368</b>                             |
| Arap Türk Bankası              | 0.769                    | 1.098                           | 1.000                        | 0.769                          | 0.845                                    |
| Burgan Bank                    | 0.968                    | 1.182                           | <b>0.842</b>                 | 1.149                          | 1.144                                    |
| Citibank                       | 1.000                    | <b>3.341</b>                    | 1.000                        | 1.000                          | 3.341                                    |
| Denizbank                      | 1.002                    | 1.104                           | 1.000                        | 1.002                          | 1.106                                    |
| Deutsche Bank                  | 0.625                    | <b>2.426</b>                    | 1.000                        | 0.625                          | 1.517                                    |
| HSBC Bank                      | 0.740                    | 1.417                           | 1.000                        | 0.740                          | 1.049                                    |
| ICBC Turkey Bank               | <b>1.395</b>             | <b>1.556</b>                    | 1.000                        | <b>1.395</b>                   | <b>2.170</b>                             |
| ING Bank                       | 1.140                    | <b>1.420</b>                    | 1.000                        | 1.140                          | <b>1.618</b>                             |
| QNB Bank                       | 1.235                    | 1.335                           | 1.000                        | 1.235                          | 1.649                                    |
| Rabobank                       | 1.000                    | 1.379                           | 1.000                        | 1.000                          | <b>1.379</b>                             |
| Garanti Bankası                | 0.871                    | 1.372                           | 1.000                        | 0.871                          | 1.195                                    |
| Albaraka Türk Katılım Bankası  | 0.825                    | 1.135                           | 1.000                        | 0.825                          | 0.937                                    |
| Kuveyt Türk Katılım Bankası    | 1.000                    | 1.063                           | 1.000                        | 1.000                          | 1.063                                    |
| Türkiye Finans Katılım Bankası | 1.088                    | 1.039                           | 1.000                        | 1.088                          | <b>1.131</b>                             |
| Vakıf Katılım Bankası          | <b>4.128</b>             | 1.281                           | 1.000                        | <b>4.128</b>                   | <b>5.286</b>                             |
| Ziraat Katılım Bankası         | <b>1.472</b>             | <b>2.004</b>                    | 1.000                        | <b>1.472</b>                   | <b>2.950</b>                             |
| Ortalama                       | 1.128                    | 1.283                           | 0.984                        | 1.147                          | 1.448                                    |

**Tablo 4. Malmquist toplam faktör verimliliği endeksi sonuçları (2017-2018)**

| <i>Bankalar</i>                | <i>Etkinlik Değişimi</i> | <i>Teknik Etkinlik Değişimi</i> | <i>Saf Etkinlik Değişimi</i> | <i>Ölçek Etkinlik Değişimi</i> | <i>Toplam Faktör Verimlilik Değişimi</i> |
|--------------------------------|--------------------------|---------------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------------------|
| Ziraat Bankası                 | 1.000                    | 5.279                           | 1.000                        | 1.000                          | 5.279                                    |
| Halk Bankası                   | 0.407                    | 2.389                           | <b>0.410</b>                 | 0.994                          | 0.972                                    |
| Vakıflar Bankası               | 0.635                    | 2.728                           | 0.650                        | 0.977                          | <b>1.732</b>                             |
| Akbank                         | 0.905                    | 4.212                           | 0.842                        | 1.075                          | 3.814                                    |
| Anadolubank                    | <b>1.889</b>             | <b>5.781</b>                    | 1.000                        | <b>1.889</b>                   | <b>10.923</b>                            |
| Fibabanka                      | 1.177                    | <b>5.547</b>                    | 1.000                        | 1.177                          | <b>6.532</b>                             |
| Şekerbank                      | 0.772                    | 2.494                           | <b>0.214</b>                 | <b>3.609</b>                   | 1.925                                    |
| Turkish Bank                   | 0.315                    | <b>14.102</b>                   | 1.000                        | 0.315                          | 4.440                                    |
| TEB                            | 0.888                    | 4.436                           | 0.790                        | 1.124                          | 3.938                                    |
| İş Bankası                     | 0.873                    | 3.541                           | <b>0.583</b>                 | 1.497                          | 3.091                                    |
| Yapı ve Kredi Bankası          | 0.802                    | 3.401                           | 0.586                        | 1.369                          | 2.729                                    |
| Alternatifbank                 | <b>1.392</b>             | 2.542                           | 0.831                        | <b>1.675</b>                   | <b>3.537</b>                             |
| Arap Türk Bankası              | 1.297                    | 2.941                           | 1.000                        | 1.297                          | <b>3.815</b>                             |
| Burgan Bank                    | 0.952                    | 1.399                           | 0.655                        | 1.453                          | 1.332                                    |
| Citibank                       | 1.000                    | 1.773                           | 1.000                        | 1.000                          | 1.773                                    |
| Denizbank                      | 0.797                    | 4.443                           | 0.826                        | 0.965                          | 3.541                                    |
| Deutsche Bank                  | <b>1.599</b>             | 1.689                           | 1.000                        | 1.599                          | <b>2.701</b>                             |
| HSBC Bank                      | <b>1.361</b>             | 5.160                           | 1.000                        | 1.361                          | <b>7.025</b>                             |
| ICBC Turkey Bank               | 1.274                    | 2.665                           | <b>0.448</b>                 | <b>2.843</b>                   | <b>3.396</b>                             |
| ING Bank                       | 1.000                    | 5.473                           | 1.000                        | 1.000                          | 5.473                                    |
| QNB Bank                       | 1.023                    | 2.861                           | 1.000                        | 1.023                          | <b>2.926</b>                             |
| Rabobank                       | 1.000                    | 1.169                           | 1.000                        | 1.000                          | 1.169                                    |
| Garanti Bankası                | 0.751                    | 3.266                           | 0.666                        | 1.127                          | 2.454                                    |
| Albaraka Türk Katılım Bankası  | 0.462                    | <b>6.054</b>                    | <b>0.317</b>                 | 1.457                          | 2.799                                    |
| Kuveyt Türk Katılım Bankası    | 0.817                    | 3.000                           | 0.827                        | 0.987                          | 2.450                                    |
| Türkiye Finans Katılım Bankası | <b>1.779</b>             | <b>9.545</b>                    | 1.000                        | <b>1.779</b>                   | <b>16.981</b>                            |
| Vakıf Katılım Bankası          | 1.175                    | 3.495                           | 1.000                        | 1.175                          | <b>4.107</b>                             |
| Ziraat Katılım Bankası         | 0.991                    | 3.270                           | 0.866                        | 1.144                          | 3.240                                    |
| Ortalama                       | 0.941                    | 3.518                           | 0.756                        | 1.244                          | 3.309                                    |

**Tablo 5. Malmquist toplam faktör verimliliği endeksi sonuçları (2018-2019)**

| <i>Bankalar</i>                | <i>Etkinlik Değişimi</i> | <i>Teknik Etkinlik Değişimi</i> | <i>Saf Etkinlik Değişimi</i> | <i>Ölçek Etkinlik Değişimi</i> | <i>Toplam Faktör Verimlilik Değişimi</i> |
|--------------------------------|--------------------------|---------------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------------------|
| Ziraat Bankası                 | 0.900                    | 0.240                           | 1.000                        | 0.900                          | 0.216                                    |
| Halk Bankası                   | <b>1.064</b>             | 0.708                           | <b>2.442</b>                 | 0.436                          | 0.753                                    |
| Vakıflar Bankası               | 0.470                    | 0.814                           | <b>1.538</b>                 | 0.305                          | 0.382                                    |
| Akbank                         | 0.554                    | 0.398                           | <b>1.187</b>                 | 0.466                          | 0.220                                    |
| Anadolubank                    | 0.561                    | 0.307                           | 1.000                        | 0.561                          | 0.172                                    |
| Fibabanka                      | 0.768                    | 0.291                           | 1.000                        | 0.768                          | 0.224                                    |
| Şekerbank                      | <b>4.690</b>             | <b>1.055</b>                    | <b>4.675</b>                 | <b>1.003</b>                   | <b>4.949</b>                             |
| Turkish Bank                   | 0.471                    | 0.281                           | 1.000                        | 0.471                          | 0.132                                    |
| TEB                            | <b>1.479</b>             | 0.306                           | <b>1.510</b>                 | 0.980                          | 0.453                                    |
| İş Bankası                     | 0.556                    | 0.548                           | <b>1.714</b>                 | 0.324                          | 0.305                                    |
| Yapı ve Kredi Bankası          | 0.542                    | 0.572                           | <b>1.706</b>                 | 0.318                          | 0.310                                    |
| Alternatifbank                 | 0.797                    | 0.650                           | <b>1.831</b>                 | 0.435                          | 0.518                                    |
| Arap Türk Bankası              | 0.619                    | 0.654                           | 1.000                        | 0.619                          | 0.405                                    |
| Burgan Bank                    | 0.961                    | 0.634                           | <b>1.812</b>                 | 0.530                          | 0.609                                    |
| Citibank                       | 1.000                    | 0.687                           | 1.000                        | 1.000                          | 0.687                                    |
| Denizbank                      | 0.523                    | 0.361                           | <b>1.211</b>                 | 0.432                          | 0.189                                    |
| Deutsche Bank                  | 1.000                    | 0.917                           | 1.000                        | 1.000                          | 0.917                                    |
| HSBC Bank                      | 0.830                    | 0.305                           | 1.000                        | 0.830                          | 0.254                                    |
| ICBC Turkey Bank               | 0.458                    | 0.597                           | <b>2.231</b>                 | 0.205                          | 0.273                                    |
| ING Bank                       | 0.826                    | 0.297                           | 1.000                        | 0.826                          | 0.245                                    |
| QNB Bank                       | 1.000                    | 0.537                           | 1.000                        | 1.000                          | 0.537                                    |
| Rabobank                       | 1.000                    | <b>1.800</b>                    | 1.000                        | 1.000                          | <b>1.800</b>                             |
| Garanti Bankası                | 0.643                    | 0.554                           | <b>1.501</b>                 | 0.428                          | 0.356                                    |
| Albaraka Türk Katılım Bankası  | 0.234                    | 0.367                           | <b>3.152</b>                 | 0.074                          | 0.086                                    |
| Kuveyt Türk Katılım Bankası    | <b>1.225</b>             | 0.556                           | <b>1.209</b>                 | <b>1.013</b>                   | 0.681                                    |
| Türkiye Finans Katılım Bankası | 0.428                    | 0.169                           | 1.000                        | 0.428                          | 0.072                                    |
| Vakıf Katılım Bankası          | 1.000                    | 0.488                           | 1.000                        | 1.000                          | 0.488                                    |
| Ziraat Katılım Bankası         | <b>1.184</b>             | 0.485                           | <b>1.155</b>                 | <b>1.026</b>                   | 0.574                                    |
| Ortalama                       | 0.774                    | 0.489                           | 1.360                        | 0.569                          | 0.379                                    |

**Tablo 6. Malmquist toplam faktör verimliliği endeksi sonuçları (2019-2020)**

| <i>Bankalar</i>                | <i>Etkinlik Değişimi</i> | <i>Teknik Etkinlik Değişimi</i> | <i>Saf Etkinlik Değişimi</i> | <i>Ölçek Etkinlik Değişimi</i> | <i>Toplam Faktör Verimlilik Değişimi</i> |
|--------------------------------|--------------------------|---------------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------------------|
| Ziraat Bankası                 | 0.783                    | <b>1.702</b>                    | 1.000                        | 0.783                          | 1.333                                    |
| Halk Bankası                   | 1.791                    | <b>1.738</b>                    | 1.000                        | 1.791                          | <b>3.113</b>                             |
| Vakıflar Bankası               | <b>2.659</b>             | 0.523                           | 1.000                        | <b>2.659</b>                   | <b>1.390</b>                             |
| Akbank                         | 1.272                    | 0.810                           | 1.000                        | 1.272                          | <b>1.030</b>                             |
| Anadolubank                    | 1.195                    | 0.890                           | 1.000                        | 1.195                          | <b>1.064</b>                             |
| Fibabanka                      | 0.975                    | 1.038                           | 1.000                        | 0.975                          | <b>1.012</b>                             |
| Şekerbank                      | 0.416                    | 0.513                           | <b>0.540</b>                 | 0.770                          | 0.213                                    |
| Turkish Bank                   | 0.891                    | 0.836                           | 1.000                        | 0.891                          | 0.745                                    |
| TEB                            | 0.761                    | <b>1.788</b>                    | 1.000                        | 0.761                          | 1.361                                    |
| İş Bankası                     | 1.571                    | 0.626                           | 1.000                        | 1.571                          | 0.983                                    |
| Yapı ve Kredi Bankası          | <b>1.942</b>             | 0.607                           | 1.000                        | 1.942                          | <b>1.180</b>                             |
| Alternatifbank                 | 0.685                    | 1.063                           | <b>0.338</b>                 | <b>2.028</b>                   | 0.728                                    |
| Arap Türk Bankası              | 0.856                    | 0.659                           | 1.000                        | 0.856                          | 0.564                                    |
| Burgan Bank                    | <b>1.981</b>             | 1.140                           | 1.000                        | <b>1.981</b>                   | <b>2.258</b>                             |
| Citibank                       | 1.000                    | 0.742                           | 1.000                        | 1.000                          | 0.742                                    |
| Denizbank                      | 1.146                    | 0.958                           | 1.000                        | 1.146                          | <b>1.098</b>                             |
| Deutsche Bank                  | 0.524                    | 0.617                           | 1.000                        | 0.524                          | 0.324                                    |
| HSBC Bank                      | 0.902                    | 0.967                           | 1.000                        | 0.902                          | 0.873                                    |
| ICBC Turkey Bank               | <b>1.951</b>             | 1.104                           | 1.000                        | <b>1.951</b>                   | <b>2.153</b>                             |
| ING Bank                       | 0.489                    | 0.891                           | 1.000                        | 0.489                          | 0.435                                    |
| QNB Bank                       | 1.000                    | <b>2.229</b>                    | 1.000                        | 1.000                          | 2.229                                    |
| Rabobank                       | 1.000                    | 0.422                           | 1.000                        | 1.000                          | 0.422                                    |
| Garanti Bankası                | 1.272                    | 0.701                           | 1.000                        | 1.272                          | 0.892                                    |
| Albaraka Türk Katılım Bankası  | <b>5.544</b>             | 0.529                           | 1.000                        | <b>5.544</b>                   | <b>2.931</b>                             |
| Kuveyt Türk Katılım Bankası    | 1.000                    | <b>1.246</b>                    | 1.000                        | 1.000                          | 1.246                                    |
| Türkiye Finans Katılım Bankası | 1.710                    | 1.006                           | 1.000                        | 1.710                          | <b>1.721</b>                             |
| Vakıf Katılım Bankası          | 0.813                    | 0.985                           | 1.000                        | 0.813                          | 0.801                                    |
| Ziraat Katılım Bankası         | 1.061                    | 1.127                           | 1.000                        | 1.061                          | <b>1.196</b>                             |
| Ortalama                       | 1.129                    | 0.901                           | 0.941                        | 1.199                          | 1.017                                    |

Tablo 7. Malmquist toplam faktör verimliliği endeksi sonuçları (2020-2021)

| Bankalar                       | Etkinlik<br>Değişimi | Teknik Etkinlik<br>Değişimi | Saf Etkinlik<br>Değişimi | Ölçek Etkinlik<br>Değişimi | Toplam Faktör<br>Verimlilik Değişimi |
|--------------------------------|----------------------|-----------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------------------|
| Ziraat Bankası                 | 0.807                | 0.993                       | 1.000                    | 0.807                      | 0.802                                |
| Halk Bankası                   | 0.386                | 1.257                       | 1.000                    | 0.386                      | 0.485                                |
| Vakıflar Bankası               | 0.551                | 1.234                       | 0.554                    | 0.996                      | 0.680                                |
| Akbank                         | <b>1.867</b>         | <b>4.392</b>                | 1.000                    | <b>1.867</b>               | <b>8.200</b>                         |
| Anadolubank                    | 0.755                | 1.284                       | 1.000                    | 0.755                      | 0.969                                |
| Fibabanka                      | 1.083                | 1.275                       | 1.000                    | 1.083                      | <b>1.381</b>                         |
| Şekerbank                      | <b>1.486</b>         | 1.200                       | <b>1.851</b>             | 0.803                      | <b>1.782</b>                         |
| Turkish Bank                   | <b>3.728</b>         | 1.272                       | 1.000                    | <b>3.728</b>               | <b>4.743</b>                         |
| TEB                            | 1.361                | 1.040                       | 1.000                    | 1.361                      | <b>1.416</b>                         |
| İş Bankası                     | 1.316                | 1.267                       | 1.000                    | 1.316                      | <b>1.668</b>                         |
| Yapı ve Kredi Bankası          | 1.277                | 1.258                       | 1.000                    | 1.277                      | <b>1.606</b>                         |
| Alternatifbank                 | 0.449                | 1.259                       | <b>2.960</b>             | 0.152                      | 0.565                                |
| Arap Türk Bankası              | 1.152                | 1.160                       | 1.000                    | 1.152                      | <b>1.336</b>                         |
| Burgan Bank                    | 0.605                | 1.229                       | 1.000                    | 0.605                      | 0.743                                |
| Citibank                       | 1.000                | 1.229                       | 1.000                    | 1.000                      | <b>1.229</b>                         |
| Denizbank                      | 1.219                | 1.248                       | 1.000                    | 1.219                      | <b>1.520</b>                         |
| Deutsche Bank                  | <b>1.386</b>         | 1.181                       | 1.000                    | <b>1.386</b>               | <b>1.636</b>                         |
| HSBC Bank                      | 1.334                | <b>1.380</b>                | 1.000                    | 1.334                      | <b>1.842</b>                         |
| ICBC Turkey Bank               | 1.347                | <b>1.439</b>                | 1.000                    | 1.347                      | <b>1.938</b>                         |
| ING Bank                       | 1.139                | 1.244                       | 1.000                    | 1.139                      | <b>1.417</b>                         |
| QNB Bank                       | 1.000                | 0.753                       | 1.000                    | 1.000                      | 0.753                                |
| Rabobank                       | 1.000                | 1.270                       | 1.000                    | 1.000                      | <b>1.270</b>                         |
| Garanti Bankası                | <b>1.409</b>         | 1.278                       | 1.000                    | <b>1.409</b>               | <b>1.801</b>                         |
| Albaraka Türk Katılım Bankası  | 0.573                | 1.249                       | 0.268                    | <b>2.135</b>               | 0.716                                |
| Kuveyt Türk Katılım Bankası    | 1.000                | <b>3.497</b>                | 1.000                    | 1.000                      | <b>3.497</b>                         |
| Türkiye Finans Katılım Bankası | 0.898                | 1.245                       | 1.000                    | 0.898                      | <b>1.118</b>                         |
| Vakıf Katılım Bankası          | 0.828                | 1.254                       | 1.000                    | 0.828                      | <b>1.038</b>                         |
| Ziraat Katılım Bankası         | 0.560                | <b>1.323</b>                | 1.000                    | 0.560                      | 0.741                                |
| Ortalama                       | 1.007                | 1.322                       | 0.993                    | 1.014                      | 1.331                                |

**Tablo 8. Malmquist toplam faktör verimliliği endeksi sonuçları (2021-2022)**

| <i>Bankalar</i>                | <i>Etkinlik Değişimi</i> | <i>Teknik Etkinlik Değişimi</i> | <i>Saf Etkinlik Değişimi</i> | <i>Ölçek Etkinlik Değişimi</i> | <i>Toplam Faktör Verimlilik Değişimi</i> |
|--------------------------------|--------------------------|---------------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------------------|
| Ziraat Bankası                 | 0.934                    | 0.960                           | 1.000                        | 0.934                          | 0.897                                    |
| Halk Bankası                   | <b>2.660</b>             | 1.101                           | 1.000                        | <b>2.660</b>                   | <b>2.929</b>                             |
| Vakıflar Bankası               | 1.212                    | 2.130                           | <b>1.805</b>                 | 0.671                          | <b>2.580</b>                             |
| Akbank                         | 0.860                    | 0.542                           | 0.894                        | 0.962                          | 0.466                                    |
| Anadolubank                    | 1.217                    | 1.813                           | 0.637                        | <b>1.912</b>                   | <b>2.208</b>                             |
| Fibabanka                      | 1.107                    | 2.028                           | 1.000                        | 1.107                          | <b>2.246</b>                             |
| Şekerbank                      | 0.980                    | 2.078                           | 0.865                        | 1.133                          | 2.036                                    |
| Turkish Bank                   | 0.943                    | 1.878                           | 1.000                        | 0.943                          | 1.771                                    |
| TEB                            | 1.000                    | 0.951                           | 1.000                        | 1.000                          | 0.951                                    |
| İş Bankası                     | 0.886                    | <b>2.178</b>                    | 0.628                        | 1.411                          | 1.931                                    |
| Yapı ve Kredi Bankası          | 1.274                    | <b>5.186</b>                    | 1.000                        | 1.274                          | <b>6.606</b>                             |
| Alternatifbank                 | <b>4.499</b>             | 2.117                           | 1.000                        | <b>4.499</b>                   | <b>9.525</b>                             |
| Arap Türk Bankası              | 0.605                    | 1.601                           | 1.000                        | 0.605                          | 0.969                                    |
| Burgan Bank                    | 0.903                    | 2.106                           | 1.000                        | 0.903                          | 1.903                                    |
| Citibank                       | 1.000                    | <b>2.641</b>                    | 1.000                        | 1.000                          | 2.641                                    |
| Denizbank                      | 1.165                    | <b>2.226</b>                    | 0.814                        | 1.432                          | <b>2.595</b>                             |
| Deutsche Bank                  | 1.376                    | 1.589                           | 1.000                        | 1.376                          | <b>2.187</b>                             |
| HSBC Bank                      | 0.912                    | 1.836                           | 1.000                        | 0.912                          | 1.675                                    |
| ICBC Turkey Bank               | <b>1.898</b>             | 1.838                           | 1.000                        | <b>1.898</b>                   | <b>3.488</b>                             |
| ING Bank                       | 0.952                    | 1.815                           | 0.478                        | <b>1.991</b>                   | 1.728                                    |
| QNB Bank                       | 1.000                    | 1.363                           | 1.000                        | 1.000                          | 1.363                                    |
| Rabobank                       | 1.000                    | <b>9.089</b>                    | 1.000                        | 1.000                          | 9.089                                    |
| Garanti Bankası                | 1.109                    | 2.013                           | 0.866                        | 1.281                          | <b>2.233</b>                             |
| Albaraka Türk Katılım Bankası  | <b>1.682</b>             | 2.153                           | <b>1.515</b>                 | 1.111                          | <b>3.623</b>                             |
| Kuveyt Türk Katılım Bankası    | 1.000                    | 0.947                           | 1.000                        | 1.000                          | 0.947                                    |
| Türkiye Finans Katılım Bankası | 0.852                    | 2.127                           | 1.000                        | 0.852                          | 1.813                                    |
| Vakıf Katılım Bankası          | 0.871                    | 2.094                           | 1.000                        | 0.871                          | 1.824                                    |
| Ziraat Katılım Bankası         | <b>1.479</b>             | 1.819                           | 1.000                        | 1.479                          | <b>2.690</b>                             |
| Ortalama                       | 1.149                    | 1.853                           | 0.956                        | 1.201                          | 2.128                                    |

**Tablo 9. Malmquist toplam faktör verimliliği endeksi sonuçları (2022-2023)**

| <i>Bankalar</i>                | <i>Etkinlik Değişimi</i> | <i>Teknik Etkinlik Değişimi</i> | <i>Saf Etkinlik Değişimi</i> | <i>Ölçek Etkinlik Değişimi</i> | <i>Toplam Faktör Verimlilik Değişimi</i> |
|--------------------------------|--------------------------|---------------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------------------|
| Ziraat Bankası                 | 1.023                    | 0.892                           | 1.000                        | 1.023                          | 0.912                                    |
| Halk Bankası                   | 0.319                    | <b>1.145</b>                    | 0.365                        | 0.873                          | 0.365                                    |
| Vakıflar Bankası               | 0.681                    | 1.032                           | 1.000                        | 0.681                          | 0.703                                    |
| Akbank                         | 0.795                    | 0.873                           | 1.119                        | 0.711                          | 0.695                                    |
| Anadolubank                    | 0.883                    | 1.086                           | <b>1.571</b>                 | 0.562                          | 0.959                                    |
| Fibabanka                      | 0.930                    | 1.065                           | 1.000                        | 0.930                          | 0.990                                    |
| Şekerbank                      | 0.916                    | 0.921                           | 1.156                        | 0.792                          | 0.844                                    |
| Turkish Bank                   | <b>1.905</b>             | 1.072                           | 1.000                        | <b>1.905</b>                   | <b>2.042</b>                             |
| TEB                            | 0.710                    | 0.859                           | 1.000                        | 0.710                          | 0.610                                    |
| İş Bankası                     | 0.862                    | 0.942                           | <b>1.592</b>                 | 0.542                          | 0.812                                    |
| Yapı ve Kredi Bankası          | 0.791                    | 0.456                           | 1.000                        | 0.791                          | 0.361                                    |
| Alternatifbank                 | <b>1.086</b>             | 0.971                           | 1.000                        | <b>1.086</b>                   | <b>1.054</b>                             |
| Arap Türk Bankası              | 0.659                    | 0.868                           | 1.000                        | 0.659                          | 0.573                                    |
| Burgan Bank                    | <b>1.320</b>             | 1.089                           | 1.000                        | <b>1.320</b>                   | <b>1.438</b>                             |
| Citibank                       | 1.000                    | 0.966                           | 1.000                        | 1.000                          | 0.966                                    |
| Denizbank                      | 0.854                    | 1.082                           | <b>1.228</b>                 | 0.695                          | 0.924                                    |
| Deutsche Bank                  | 1.000                    | <b>1.202</b>                    | 1.000                        | 1.000                          | 1.202                                    |
| HSBC Bank                      | 0.982                    | <b>1.096</b>                    | 1.000                        | 0.982                          | 1.076                                    |
| ICBC Turkey Bank               | 0.726                    | 0.908                           | 1.000                        | 0.726                          | 0.659                                    |
| ING Bank                       | 0.546                    | 1.040                           | <b>2.092</b>                 | 0.261                          | 0.568                                    |
| QNB Bank                       | 0.777                    | 0.919                           | 1.000                        | 0.777                          | 0.714                                    |
| Rabobank                       | 1.000                    | 0.219                           | 1.000                        | 1.000                          | 0.219                                    |
| Garanti Bankası                | 0.969                    | 0.863                           | 1.154                        | 0.839                          | 0.837                                    |
| Albaraka Türk Katılım Bankası  | <b>2.543</b>             | <b>1.193</b>                    | <b>2.459</b>                 | <b>1.034</b>                   | <b>3.034</b>                             |
| Kuveyt Türk Katılım Bankası    | 1.000                    | 0.993                           | 1.000                        | 1.000                          | 0.993                                    |
| Türkiye Finans Katılım Bankası | <b>1.043</b>             | <b>1.092</b>                    | 1.000                        | <b>1.043</b>                   | <b>1.139</b>                             |
| Vakıf Katılım Bankası          | 0.970                    | 0.902                           | 1.000                        | 0.970                          | 0.875                                    |
| Ziraat Katılım Bankası         | 0.609                    | 0.938                           | 0.678                        | 0.898                          | 0.572                                    |
| Ortalama                       | 0.895                    | 0.917                           | 1.065                        | 0.841                          | 0.821                                    |

Malmquist Endeks ortalamaları ekseninde 2016-2023 periyodunda 28 bankanın Tablo 10'daki etkinlik değerleri incelendiğinde etkinlik değişiminin en yüksek olduğu dönemin 2021-2022 dönemi olduğu görülmektedir. Etkinliğin en düşük olduğu üç dönemin sırasıyla 2018-2019, 2022-2023 ve 2017-2018 dönemleri olduğu görülmektedir. Teknik etkinlik artışının en fazla olduğu dönemler sırasıyla 2017-2018, 2021-2022, 2020-2021, 2016-2017 dönemleri olduğu görülmektedir. Aynı dönemde sektörün teknik etkinlik değişiminin incelenen 7 yıllık dönemin en düşük değerinin sırasıyla 2018-2019, 2019-2020 ve 2022-2023 dönemleri olduğu görülmektedir. Bu da söz konusu dönemlerde bankaların teknolojik gelişmelerden yeterince veya doğru şekilde faydalanamadığına işaret etmektedir. Saf etkinlikte 2018-2019 ve 2022-2023 dönemi dışındaki tüm dönemlerde verimlilikte azalışlar olduğu görülmektedir. Ölçek etkinlik değişiminin artış gösterdiği dönemlerin sırasıyla 2017-2018, 2021-2022, 2019-2020, 2016-2017 dönemleri olduğu görülmektedir. Ölçek etkinlik değişiminde azalışın olduğu dönemler sırasıyla 2018-2019 ve 2022-2023 dönemleri olduğu görülmektedir. 2018-2019 ve 2022-2023 dönemi saf etkinlik değişim ortalamaları dışındaki tüm etkinlik değişim ortalama değerinde azalış olduğu görülmüştür. 2016-2017, 2020-2021 ve 2021-2022 dönemlerinde saf etkinlik dışındaki tüm etkinlik değişim değerlerinde artış olduğu görülmektedir. 2016-2023 dönemi arasında toplam faktör verimliliğinde en fazla artışın olduğu dönem 2017-2018 olduğu görülmektedir. Bu dönemi 2021-2022, 2016-2017, 2020-2021 ve 2019-2020 dönemleri izlemektedir. Toplam Faktör Verimlilik değerlerinin en fazla azaldığı dönemlerin sırasıyla 2018-2019 ve 2022-2023 dönemleri olduğu görülmektedir.

**Tablo 10. Malmquist toplam faktör verimliliği ortalamalar endeksi (2016-2023)**

| Yıllar    | Etkinlik Değişimi | Teknik Etkinlik Değişimi | Saf Etkinlik Değişimi | Ölçek Etkinlik Değişimi | Toplam Faktör Verimlilik Değişimi |
|-----------|-------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------------------|
| 2016-2017 | 1.128             | 1.283                    | 0.984                 | 1.147                   | 1.448                             |
| 2017-2018 | 0.941             | 3.518                    | 0.756                 | 1.244                   | 3.309                             |
| 2018-2019 | 0.774             | 0.489                    | 1.360                 | 0.569                   | 0.379                             |
| 2019-2020 | 1.129             | 0.901                    | 0.941                 | 1.199                   | 1.017                             |
| 2020-2021 | 1.007             | 1.322                    | 0.993                 | 1.014                   | 1.331                             |
| 2021-2022 | 1.149             | 1.853                    | 0.956                 | 1.201                   | 2.128                             |
| 2022-2023 | 0.895             | 0.917                    | 1.065                 | 0.841                   | 0.821                             |
| Ortalama  | 0.994             | 1.239                    | 0.994                 | 1.000                   | 1.231                             |

Tablo 11 incelendiğinde 2016-2023 döneminde etkinlik değişimi en yüksek olan ilk beş banka sırasıyla Turkish Bank, Alternatifbank, ICBC Turkey Bank, Vakıf Katılım Bankası, Şekerbank'tır. Etkinlik değişim değeri azalan beş banka sırasıyla Arap Türk Bankası, ING Bank, Halk Bankası, Vakıflar Bankası, Ziraat Bankası olmuştur. 2016-2023 döneminde etkinlik artışı sağlayan bankaların sırasıyla Turkish Bank, Alternatifbank, ICBC Turkey Bank, Vakıf Katılım Bankası, Şekerbank, Fibabanka, Burgan Bank, Albaraka Türk Katılım Bankası, Yapı ve Kredi Bankası ve Türkiye Finans Katılım Bankası olduğu görülmektedir. İlgili dönemde Deutsche Bank, Citibank, Kuveyt Türk Katılım Bankası ve Rabobank'ın etkinlik değişimi sabit kalmıştır. Arap Türk Bankası, ING Bank, Halk Bankası, Vakıflar Bankası, Ziraat Bankası, Denizbank, Anadolubank, İş Bankası, Akbank, Garanti Bankası, HSBC Bank, Ziraat Katılım Bankası, TEB, QNB Bank etkinliği azalan bankalar olmuşlardır. Teknik etkinlik değişimi incelendiğinde 28 bankanın tamamının etkinliğini (1'den yüksek olduğu için) ilgili dönemde artırdığı görülmektedir. Teknik etkinlik değişim değerleri en yüksek olan ilk beş banka en yüksekten düşüğe doğru sırasıyla Turkish Bank, Citibank, Ziraat Katılım Bankası, Kuveyt Türk Katılım Bankası, ICBC Turkey Bank olduğu görülmektedir. Teknik etkinlik değişim değeri en düşük olan beş bankanın sırasıyla Ziraat Bankası, Arap Türk Bankası, TEB, Akbank, Rabobank olduğu görülmektedir. Toplam faktör verimlilik değişimi en fazla olan ilk beş bankanın sırasıyla Turkish Bank, ICBC Turkey Bank, Alternatifbank, Vakıf Katılım Bankası, Citibank olduğu görülmekte iken, son beş bankanın sırasıyla Arap Türk Bankası, Ziraat Bankası, Vakıflar Bankası, ING Bank, Halk Bankası olduğu görülmektedir. Arap Türk Bankası'nın toplam faktör verimliliği 2016-2023 döneminde azalan tek banka olduğu görülmektedir. Turkish Bank hem etkinlik hem teknik etkinlik hem de toplam faktör verimliliği değişim sırasında etkinliği en fazla artış sağlayan banka olmuştur. ICBC Turkey Bank ve Alternatifbank hem etkinlik sıralamasında hem de toplam faktör verimliliği değişim sıralamasında etkinliği en fazla artış sağlayan ilk üç bankadan ikisi olmuşlardır. Toplam faktör verimlilik değişimi incelendiğinde Arap Türk Bankası hariç tüm bankaların 2016-2023 döneminde değişim değerlerinin 1'den yüksek olduğu ve toplam faktör verimliliklerini arttırdıkları görülmektedir.

**Tablo 11. Malmquist toplam faktör verimliliği sıralaması (2016-2023)**

| <i>Bankalar</i>                | <i>Etkinlik Değişimi</i> | <i>Bankalar</i>                | <i>Teknik Etkinlik Değişimi</i> | <i>Bankalar</i>                | <i>Toplam Faktör Verimliliği Endeksi Değişimi</i> |
|--------------------------------|--------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------|
| Turkish Bank                   | <b>1.222</b>             | Turkish Bank                   | <b>1.389</b>                    | Turkish Bank                   | <b>1.697</b>                                      |
| Alternatifbank                 | <b>1.186</b>             | Citibank                       | <b>1.379</b>                    | ICBC Turkey Bank               | <b>1.527</b>                                      |
| ICBC Turkey Bank               | <b>1.167</b>             | Denizbank                      | 1.262                           | Türkiye Finans Katılım Bankası | 1.277                                             |
| Vakıf Katılım Bankası          | <b>1.156</b>             | Deutsche Bank                  | 1.267                           | Şekerbank                      | 1.291                                             |
| Şekerbank                      | <b>1.089</b>             | HSBC Bank                      | 1.292                           | Ziraat Katılım Bankası         | 1.333                                             |
| Fibabanka                      | 1.042                    | ICBC Turkey Bank               | <b>1.308</b>                    | Citibank                       | <b>1.379</b>                                      |
| Burgan Bank                    | 1.034                    | ING Bank                       | 1.252                           | Burgan Bank                    | 1.230                                             |
| Albaraka Türk Katılım Bankası  | 1.028                    | QNB Bank                       | 1.232                           | Yapı ve Kredi Bankası          | 1.228                                             |
| Yapı ve Kredi Bankası          | 1.020                    | Rabobank                       | 1.175                           | Halk Bankası                   | 1.077                                             |
| Türkiye Finans Katılım Bankası | 1.018                    | Garanti Bankası                | 1.213                           | Garanti Bankası                | 1.177                                             |
| Deutsche Bank                  | 1.000                    | Albaraka Türk Katılım Bankası  | 1.231                           | Anadolubank                    | 1.177                                             |
| Citibank                       | 1.000                    | Kuveyt Türk Katılım Bankası    | <b>1.328</b>                    | Vakıf Katılım Bankası          | <b>1.459</b>                                      |
| Kuveyt Türk Katılım Bankası    | 1.000                    | Türkiye Finans Katılım Bankası | 1.254                           | Albaraka Türk Katılım Bankası  | 1.265                                             |
| Rabobank                       | 1.000                    | Vakıf Katılım Bankası          | <b>1.262</b>                    | HSBC Bank                      | 1.273                                             |
| QNB Bank                       | 0.997                    | Ziraat Katılım Bankası         | <b>1.348</b>                    | Alternatifbank                 | <b>1.510</b>                                      |
| TEB                            | 0.995                    | Ziraat Bankası                 | 1.102                           | Arap Türk Bankası              | 0.917                                             |
| Ziraat Katılım Bankası         | 0.989                    | Halk Bankası                   | 1.267                           | Fibabanka                      | 1.307                                             |
| HSBC Bank                      | 0.985                    | Vakıflar Bankası               | 1.193                           | Denizbank                      | 1.168                                             |
| Garanti Bankası                | 0.970                    | Akbank                         | 1.174                           | Vakıflar Bankası               | 1.040                                             |
| Akbank                         | 0.963                    | Anadolubank                    | 1.240                           | QNB Bank                       | 1.229                                             |
| İş Bankası                     | 0.951                    | Fibabanka                      | 1.255                           | Deutsche Bank                  | 1.267                                             |
| Anadolubank                    | 0.949                    | Şekerbank                      | 1.186                           | Akbank                         | 1.131                                             |
| Denizbank                      | 0.925                    | TEB                            | 1.147                           | ING Bank                       | 1.040                                             |
| Ziraat Bankası                 | <b>0.917</b>             | İş Bankası                     | 1.185                           | İş Bankası                     | 1.127                                             |
| Vakıflar Bankası               | <b>0.871</b>             | Alternatifbank                 | 1.274                           | Kuveyt Türk Katılım Bankası    | 1.328                                             |
| Halk Bankası                   | <b>0.850</b>             | Yapı ve Kredi Bankası          | 1.205                           | Rabobank                       | 1.175                                             |
| ING Bank                       | <b>0.830</b>             | Burgan Bank                    | 1.189                           | TEB                            | 1.142                                             |
| Arap Türk Bankası              | <b>0.817</b>             | Arap Türk Bankası              | 1.122                           | Ziraat Bankası                 | 1.010                                             |
| Ortalama                       | 0.994                    |                                | 1.239                           |                                | 1.231                                             |

## 5. SONUÇ

Bu çalışmada Türkiye'de faaliyet gösteren mevduat ve katılım bankalarının finansal etkinlik ve verimlilikleri Malmquist Toplam Faktör Verimlilik Endeksi kullanılarak ölçülmüştür. Malmquist Endeksi ortalamaları ekseninde 2016-2023 döneminde 28 bankanın seçilmiş altı girdiyi oluşturan finansal oran değişkeni ile iki çıktıyı oluşturan finansal oran değişkeni kullanılarak finansal etkinlik ve verimlilikleri hesaplanmıştır.

Malmquist Endeksi ortalamaları dikkate alındığında 2016-2023 döneminde 28 bankanın etkinlik değerleri incelendiğinde etkinlik değişiminin en yüksek olduğu dönemin 2021-2022 olduğu görülmektedir. Etkinliğin en düşük olduğu üç dönemin sırasıyla 2018-2019, 2022-2023 ve 2017-2018 dönemleri olduğu görülmektedir. Teknik etkinlik artışının en fazla olduğu dönemler sırasıyla 2017-2018, 2021-2022, 2020-

2021, 2016-2017 dönemleri olduğu görülmektedir. Sektörün teknik etkinlik değişiminin incelenen 7 yıllık dönemin en düşük değeri sırasıyla 2018-2019, 2019-2020 ve 2022-2023 dönemleri olduğu görülmektedir. Bu durum söz konusu dönemlerde bankaların teknolojik gelişmelerden yeterince veya doğru şekilde faydalanamadığına işaret etmektedir. 2016-2023 dönemi arasında toplam faktör verimliliğinde en fazla artışın olduğu dönemin 2017-2018 dönemi olduğu görülmektedir. Bu dönemi 2021-2022, 2016-2017, 2020-2021 ve 2019-2020 dönemleri izlemektedir. Toplam Faktör Verimlilik değerlerinin en fazla azaldığı dönemler sırasıyla 2018-2019 ve 2022-2023 dönemleri olduğu görülmektedir.

2016-2023 döneminde etkinlik değişimi en yüksek olan ilk beş banka sırasıyla Turkish Bank, Alternatifbank, ICBC Turkey Bank, Vakıf Katılım Bankası, Şekerbank olmuştur. Etkinlik değişim değeri azalan beş banka en fazla azalandan en az azalana doğru sırasıyla Arap Türk Bankası, ING Bank, Halk Bankası, Vakıflar Bankası, Ziraat Bankası olmuştur. 2016-2023 döneminde etkinlik artışı sağlayan bankaların sırasıyla Turkish Bank, Alternatifbank, ICBC Turkey Bank, Vakıf Katılım Bankası, Şekerbank, Fibabanka, Burgan Bank, Albaraka Türk Katılım Bankası, Yapı ve Kredi Bankası ve Türkiye Finans Katılım Bankası olduğu görülmektedir. İlgili dönemde Deutsche Bank, Citibank, Kuveyt Türk Katılım Bankası ve Rabobank'ın etkinlik değişimi sabit kalmıştır. Arap Türk Bankası, ING Bank, Halk Bankası, Vakıflar Bankası, Ziraat Bankası, Denizbank, Anadolubank, İş Bankası, Akbank, Garanti Bankası, HSBC Bank, Ziraat Katılım Bankası, TEB, QNB Bank'ın etkinliğinin azaldığı görülmektedir. Teknik etkinlik değişimi incelendiğinde 28 bankanın tamamının etkinliğini (1'den yüksek olduğu için) ilgili dönemde artırdıkları görülmektedir. Teknik etkinlik değişim değerleri en yüksek olan ilk beş bankanın en yüksekten düşüğe doğru sırasıyla Turkish Bank, Citibank, Ziraat Katılım Bankası, Kuveyt Türk Katılım Bankası, ICBC Turkey Bank olduğu görülmektedir. Teknik etkinlik değişim değeri en düşük olan beş bankanın sırasıyla Ziraat Bankası, Arap Türk Bankası, TEB, Akbank, Rabobank olduğu görülmektedir. Toplam faktör verimlilik değişimi incelendiğinde ilk beş banka sırasıyla Turkish Bank, ICBC Turkey Bank, Alternatifbank, Vakıf Katılım Bankası, Citibank iken son beş bankanın sırasıyla Arap Türk Bankası, Ziraat Bankası, Vakıflar Bankası, ING Bank, Halk Bankası olduğu görülmektedir. Arap Türk Bankası'nın toplam faktör verimliliği 2016-2023 döneminde azalan tek banka olduğu görülmektedir. Turkish Bank hem etkinlik hem teknik etkinlik hem de toplam faktör verimliliği değişim sırasında en fazla etkinlik artışı sağlayan banka olmuştur. ICBC Turkey Bank ve Alternatifbank hem etkinlik sıralamasında hem de toplam faktör verimliliği değişim sırasında etkinliği en fazla artış sağlayan ilk üç bankadan ikisi olmuşlardır. Toplam faktör verimlilik değişimi incelendiğinde Arap Türk Bankası hariç tüm bankaların 2016-2023 döneminde değişim değerlerinin 1'den yüksek olduğu ve toplam faktör verimliliklerini artırdıkları görülmektedir.

Bu çalışmada teknik etkinlik değişimi en yüksek olan ilk beş bankanın Turkish Bank, Citibank, Ziraat Katılım Bankası, Kuveyt Türk Katılım Bankası, ICBC Turkey Bank olduğu görülmektedir. Bunlardan ikisinin katılım bankası olması (Ziraat Katılım Bankası, Kuveyt Türk Katılım Bankası) dikkate değerdir. Ziraat Katılım Bankası ve Turkish Bank (%34,29 yabancı ortak payı) hariç diğer bankaların (Citibank %99,99 yabancı ortak payı, ICBC Turkey Bank %92,84 yabancı ortak payı, Kuveyt Türk Katılım Bankası %74,53 yabancı ortak payı) ortaklık yapısının önemli kısmının (%74'den fazla) yabancı sermayeli olması dikkat çekicidir. Toplam faktör verimliliğini en fazla artıran bankaların Turkish Bank, ICBC Turkey Bank, Alternatifbank, Vakıf Katılım Bankası, Citibank olduğu görülmektedir. Vakıf Katılım Bankası ve Turkish Bank (%34,29 yabancı ortak payı) hariç diğer tüm bankaların (ICBC Turkey Bank %92,84 yabancı ortak payı, Alternatifbank %100 yabancı ortak payı, Citibank %99,99 yabancı ortak payı) %90'ın üzerinde yabancı sermayeli bankalar olmaları dikkat çekicidir.

Çalışma bulguları literatürde bulunan diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında; Benli ve Değirmen (2013) Turkish Bank ve Societe Generale'in teknik verimlilik artışı en yüksek düzeyde olan bankalar olduklarını belirtmişlerdir. Bu çalışma sonucuna göre de Turkish Bank teknik etkinlik değişim değeri en yüksek bankadır. İlgili çalışmada Ziraat Bankası, Akbank ve Deutsche Bank en fazla teknik verimlilik azalışının olduğu bankalar olarak bulunmuştur. Bu çalışmada ise etkinlik değişim değeri 1'in üzerinde olduğu için tüm bankalar teknik etkinliklerini artırmış görünmektedir. En düşük artış olan bankalar içerisinde ilk beş banka sırasıyla Ziraat Bankası, Arap Türk Bankası, TEB, Akbank, Rabobank olarak bulunmuştur. Ziraat Bankası ve Akbank ile ilgili sonuçlar Benli ve Değirmen bulgularıyla yakın çıkmıştır.

Farklı çalışmalara ait bulguların aynı çıkmamasının nedeni olarak kullanılan değişkenlerin farklı olması, farklı dönemlere ait verilerin analizde kullanılması, farklı bankalara ait verilerle performans analizlerinin gerçekleştirilmesi sayılabilir.

Daştan ve Çalmaşur (2015) 3 kamu sermayeli banka içerisinde Türkiye Vakıflar Bankası Anonim Şirketi'ni 2003-2014 yılları arasında etkin bulmamışlardır. Akbank, Türkiye Garanti Bankası, Türkiye İş Bankası, Yapı Kredi Bankası, Alternatifbank, Arap Türk Bankası, Bank Mellat, Citibank, Denizbank, Deutsche Bank, Finans Bank, HSBC Bank, ING Bank etkin bulunmamıştır. Bu çalışmada QNB Bank, TEB, Ziraat Katılım Bankası, HSBC Bank, Garanti Bankası, Akbank, İş Bankası, Anadolubank, Denizbank, Ziraat Bankası, Vakıflar Bankası, Halk Bankası, ING Bank, Arap Türk Bankası 2016-2023 döneminde etkin bulunmamıştır.

Dolayısı ile HSBC Bank, Garanti Bankası, Akbank, İş Bankası, Denizbank, Vakıflar Bankası, ING Bank hem Daştan ve Çalmaşur (2015) çalışmasında hem de bu çalışmada etkin bulunmamıştır.

Işık ve diğerlerinin (2016) çalışmasında üretim modeli altında, genel teknik, saf teknik ve ölçek verimliliği puanları ticari bankalar için sırasıyla yaklaşık %81, %92 ve %84, yatırım bankaları için sırasıyla %76, %94 ve %81, İslami bankalar için sırasıyla %79, %92 ve %83 olarak bulmuşlardır. Aracılık modeli altında ise genel TE, PTE ve SE puanları ticari bankalar için sırasıyla yaklaşık %98, %100 ve %98, yatırım bankaları için sırasıyla %86, %99 ve %88, İslami bankalar için sırasıyla %87, %93 ve %92 olarak bulmuşlardır. Ticari bankaların, teknik ve ölçek verimliliği ölçümleri açısından diğer bankalardan (yatırım bankaları ve İslami bankalar) daha yüksek olduğu sonucuna ulaşmışlardır. As-Salafiyah (2023) ise Kırsal Bankaların (BPR) ve İslami Kırsal Bankaların (BPRS) COVID 19 salgını sırasında BPR ve BPRS'nin genel olarak üretkenlikte bir artış yaşadığını, BPRS'nin daha yüksek teknoloji benimseme ve daha yüksek ortalama Toplam Faktör Verimliliği Değişim (TFPCH) değerleri ile daha iyi performans gösterdiğini belirtmiştir. Alexakis et al. (2019), teknik verimlilik ve teknolojiye verimlilik konusunda İslami banka grubu içindeki farklılık, İslami bankaların bir grup olarak oldukça heterojen olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Bu çalışmada da Alexakis et al. (2019) çalışma bulgularına paralel olarak 2016-2023 döneminde ticari bankalar ile katılım bankaları etkinlik değişim değerleri karşılaştırıldığında her iki bankacılık türündeki bankaların kendi içlerinde heterojen bir etkinlik değişim değerlerine sahip oldukları görülmektedir.

Mansour and Moussawi (2020) büyük bankaların (varlık büyüklüğü açısından) küçük ve orta ölçekli bankalardan daha verimli oldukları ve küçük bankaların Arap bankacılık sektöründe en düşük verimlilik puanlarına sahip oldukları sonucuna ulaşmışlardır. Bu çalışmada aktif büyüklüğü yönünden incelendiğinde 2016-2023 döneminde en etkin ilk beş bankanın sırasıyla Turkish Bank, Alternatifbank, ICBC Turkey Bank, Vakıf Katılım Bankası ve Şekerbank olduğu son beş bankanın ise sırasıyla Arap Türk Bankası, ING Bank, Halk Bankası, Vakıflar Bankası ve Ziraat Bankası olduğu görülmektedir. ING Bank ve Arap Türk Bankası dışındaki kamu bankalarının yüksek aktif değerleri göz önünde bulundurulduğunda bulgular Mansour and Moussawi'nin (2020) büyük bankaların (varlık büyüklüğü açısından) küçük ve orta ölçekli bankalardan daha verimli olduklarına yönelik bulgusuyla aynı yönde değildir. Aynı durum toplam faktör verimlilik değişimi incelendiğinde ilk beş bankanın sırasıyla Turkish Bank, ICBC Turkey Bank, Alternatifbank, Vakıf Katılım Bankası, Citibank oldukları ve bu bankaların aktif büyüklüklerinin yüksek olmadıklarından hareketle bu çalışma bulgularının Mansour and Moussawi'nin (2020) çalışma bulgularıyla örtüşmediği belirtilebilir.

Bahadji and Cheikh (2021) yerli bankaların yabancı ve ortak bankalara göre ortalama olarak daha verimli çalıştıkları yönünde bulgu elde etmişlerdir. Bu çalışma bulgularına göre toplam faktör verimlilik değişimi incelendiğinde ilk beş banka sırasıyla Turkish Bank, ICBC Turkey Bank, Alternatifbank, Vakıf Katılım Bankası, Citibank bulunuyorken, son beş bankanın sırasıyla Arap Türk Bankası, Ziraat Bankası, Vakıflar Bankası, ING Bank, Halk Bankası'nın olduğu görülmektedir. Turkish Bank ve Vakıf Katılım Bankası dışındaki üç banka yabancı sermayelidir. Son beş sıradaki bankalardan ING Bank ve Arap Türk Bankası dışındaki bankaların yerli sermayeli banka olmasının dışında üçü de kamu sermayeli bankalardır.

Türk bankacılık sektörünün başarısı verimliliğine ve rekabet gücüne bağlıdır. Bu nedenle, banka yönetimleri ve politika yapıcılar, kapasitelerin optimum kullanımını elde etmenin ve kaynaklarını en iyi şekilde kullanmanın yollarını bulmaları gerekmektedir. Böylece bu kaynaklar bankacılık ürünleri ve hizmetlerinin üretimi sırasında israf edilmeyecektir. Bu çalışma bulgularına göre yerli sermayeli bankaların teknolojik gelişmeleri yakından takip ederek eğitim ve beceri geliştirme yoluyla insan kaynaklarının yeteneklerini iyileştirmesi, en son yenilikleri benimsemesi, dijital dönüşümü sağlamak için teknoloji hizmet sağlayıcıları ile iş birliklerine açık olmaları tavsiye edilmektedir. Düzenleyiciler ve mali otoriteler destekleyici politikalarla mevduat ve katılım bankalarının bankacılık sektöründeki teknolojik gelişmelerini teşvik edebilirler.

Bu çalışma zaman içinde maliyet, tahsis ve teknik verimliliklerdeki değişiklikleri araştırmak üzere genişletilebilir. İkinci olarak, gelecekteki çalışmalar aracılık işleviyle karşılaştırmak için üretim işlevini de inceleyebilir. Bu çalışma bulgularının Türk bankacılığının operasyonel verimliliğiyle ilgili literatürü genişletmesi beklenmektedir. Gelecekteki araştırmalar, daha fazla liberalleşmenin Türk bankacılık sektörü üzerindeki etkisini araştırabilir. Bu çalışmada 2000 yılından sonra farklı yıllarda Türk Bankacılık sektörüne giren bankalar incelendiğinde Fibabanka (yerli), Burgan Bank (yabancı) ICBC Turkey (yabancı), Rabobank (yabancı) 2016-2023 döneminde etkinliklerini artırdıkları, ING Bank'ın (yabancı) etkinliğinin azaldığı görülmüştür. Katılım bankalarından 2000 yılından sonra kurulan Türkiye Finans Katılım Bankasının ve Vakıf Katılım Bankasının etkinliklerinin 2016-2023 döneminde arttığı, Ziraat katılım bankasının etkinliğinin azaldığı görülmüştür. Toplam faktör verimlilik endeksi incelendiğinde yukarıda sayılan yeni kurulmuş (ya da Türkiye'de faaliyete başlamış) bankaların tamamının toplam faktör verimlilik endeksini 2016-2023 döneminde artırdıkları görülmüştür. Dolayısı ile yeni kurulan ya da Türkiye'de faaliyete başlayan yabancı sermayeli bankaların verimli çalıştıkları belirtilebilir. Ancak yeni kurulan ya da Türkiye'de yeni faaliyete başlayan bankaların Türk bankacılık sektöründe faaliyet gösteren yerli ve yabancı sermayeli bankaların performansını artırıp artırmadığının tespiti için araştırma döneminin yeni bankaların kuruluş yıllarından

itibaren veri setinin oluşturulması ve aynı zamanda yerli bankaların ilgili dönemlere ait verilerinin elde edilmesi gerekmektedir. Bu çalışma dönemi 2016-2023 dönemini kapsadığından yeni kurulan ya da yabancı banka girişinin yerli bankalar üzerindeki etkisi incelenememiştir. Bu nedenle, sektöre yeni yerli ve yabancı sermayeli bankaların girişinin, Türk bankacılık sektöründe faaliyet gösteren yerli ve yabancı sermayeli bankaların performansını artırıp artırmadığının araştırılması literatüre değer katabilecektir.

#### **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

- Abbas, M., Hammad, R.S., Elshahat, M.F., and Azid, T. (2015). "Efficiency, Productivity and Islamic Banks: An Application of DEA and Malmquist Index", *Humanomics*, 31(1), 118-131. <https://doi.org/10.14784/JFRS.2014104496>
- Alexakis, C., Izzeldin, M., Johnes, J., and Pappas, V. (2019). "Performance and Productivity in Islamic and Conventional Banks: Evidence from the Global Financial Crisis", *Economic Modelling*, 79, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2018.09.030>
- Almashhadani, M. and Almashhadani, H. A. (2023). "The Impact of Financial Technology on Banking Performance: A study on Foreign Banks in UAE". *International Journal of Scientific and Management Research*, 6(1), 1-21. <https://doi.org/10.37502/IJSMR.2023.6101>
- Almulla, D. and Aljughaiman, A. A. (2021). "Does Financial Technology Matter? Evidence from An Alternative Banking System", *Cogent Economics & Finance*, 9(1), 1-21. <https://doi.org/10.1080/23322039.2021.1934978>
- Alrafadi, K.M., Kamaruddin, B.H., and Yusuf, M.M. (2015). "The Total Factor Productivity of Libyan Banks 2004-2010", *International Journal of Business, Economics and Management*, 2(4), 100-119. <https://doi.org/10.18488/journal.62/2015.2.4/62.4.100.119>
- Asker, V. (2021). "Malmquist Toplam Faktör Verimliliği Endeksi ile Operasyonel ve Finansal Performans Analizi: Seçilmiş Havayolu İşletmelerinde Bir Uygulama", *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 435-460. <https://doi.org/10.18070/erciyesiibd.854092>
- As-Salafiyah, A. (2023). "Productivity of Rural Banks in Central Java: Is Technological Changes Matter?", *Islamic Economics Methodology*, 2(1), 1-12. <https://doi.org/10.58968/iem.v2i1.219>
- Bahadji, K. and Cheikh, P.S. (2021). "Measurement of the Productivity of Algerian Banks: Using DEA- Based Malmquist Productivity Index Approach", *Journal of Economic Integration*, 9(2), 607-620.
- Banka Dünyası. (2025). Katılım Bankalarının 31 Aralık 2024 / 31 Mart 2025 Çalışan ve Şube Sayısı Karşılaştırması, <https://bankadunyasi.com> (Erişim Tarihi: 18.01.2025)
- Bayram, N. (2016). "Veri Zarflama Analizi ve Toplam Faktör Verimliliği: Aracı Kurumlar Üzerine Bir Uygulama", *Verimlilik Dergisi*, 2, 7-44.
- Benli, Y.K. ve Degirmen, S. (2013). "The Application of Data Envelopment Analysis Based Malmquist Total Factor Productivity Index: Empirical Evidence in Turkish Banking Sector", *Panoeconomicus*, 2, 139-159. <https://doi.org/10.2298/PAN1302139K>
- Bjurek, H. (1996). "The Malmquist Total Factor Productivity Index", *The Scandinavian Journal of Economics*, 98(2), 303-313. <https://doi.org/10.2307/3440861>
- Campanella, F., Serino, L., Battisti, E., Christofi, M., and Giakoumelou, A. (2020). "Financial Technology: evidence in the European Banking System". *020 IEEE International Conference on Technology Management, Operations and Decisions (ICTMOD)* (s. 1-6. <https://doi.org/10.1109/ICTMOD49425.2020.9380589>
- Caves, D.W., Christensen, L.R., and Diewert, W. (1982). "The Economic Theory of Index Numbers and the Measurement of Input, Output, and Productivity", *Econometrica*, 50(6), 1393-1414. <https://doi.org/10.2307/1913388>
- Cho, T-Y., and Chen, Y-S. (2021). "The Impact of Financial Technology on China's Bank Industry: An Application of the Metafrontier Cost Malmquist Productivity Index", *North American Journal of Economics and Finance*, 57, 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.najef.2021.101414>
- Christopoulos, A.G., Dokas, I.G., and Katsimardou, S. (2020). "Assessing Banking Sectors' Efficiency of Financially Troubled Eurozone Countries" *Research in International Business and Finance*, 52, 1-12, <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2019.101121>
- Daştan, H. ve Çalmaşur, G. (2015). "Productivity Change in the Turkish Banking Industry", *Mediterranean Journal of Social Sciences*, 6(5), 148-159. <https://doi.org/10.5901/mjss.2015.v6n5p148>
- Depren, S.K. ve Depren, O. (2016). "Measuring Efficiency and Total Factor Productivity using Data Envelopment Analysis: An Empirical Study from Banks of Turkey", *International Journal of Economics and Financial Issues*, 6(2), 711-717.
- Dizkırırcı, A.S. ve Gökgöz, A. (2015). "Evaluating the Financial Performances of The Banks Listed on Istanbul Stock. Journal of Accounting", *Finance and Auditing Studies*, 1(2), 62-77. <https://doi.org/10.56578/jafas010204>
- Duygun, M., Sena, V., and Shaban, M. (2016). "Trademarking Activities and Total Factor Productivity: Some Evidence for British Commercial Banks using A Metafrontier Approach", *Journal of Bank & Finance*, 72, 71-80. <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2016.04.017>
- González, C.A. (2011). "Total Factor Productivity Growth in Agriculture: A Malmquist Index", *Research in Agricultural & Applied Economics*, 2, 1-21.

- Gümrah, A., Özcan, A.İ., and Canbolat, M.A. (2015). "Technical Efficiency Analysis of Participation Banks that Operated Between 2005 and 2013 in Turkey". *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 5(1), 1-5.
- Hassan, M. (2020). "How Bank Regulations Impact Efficiency and Performance? *Journal of Financial Economic Policy*, 12(4), 545-575. <https://doi.org/10.1108/JFEP-06-2019-0119>
- Işık, İ., Kulalı, İ. ve Yılmaz, B.A. (2016). "Total Factor Productivity Change in the Middle East Banking: The Case of Jordanian Banks at the Turn of the Millennium", *International Journal of Research in Business & Social Science*, 5(3), 1-29. <https://doi.org/10.20525/ijrbs.v5i3.296>
- Kamuyu Aydınlatma Platformu (2024), <http://www.kap.gov.tr> (Erişim Tarihi: 18.08.2024)
- Kevork, I.S., Pange, J., Tzeremes, P., and Tzeremes, N.G. (2017). "Estimating Malmquist Productivity Indexes using Probabilistic Directional Distances: An Application to the European Bank Sector", *European Journal of Operational Research*, 261, 1125-1140. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2017.03.012>
- Malmquist, S. (1953). "Index Numbers and Indifference Surfaces", *Trabajos de Estadística*, 4, 209-242. <https://doi.org/10.1007/bf03006863>
- Mansour, R., and Moussawi, C.E. (2020). "Efficiency, Technical Progress and Productivity of Arab Banks: A Non-Parametric Approach. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 75, 191-208, <https://doi.org/10.1016/j.qref.2019.02.002>
- Maradin, D., Prohaska, Z., and Nikolaj, S.S. (2019). "The Productivity of European Bank Sector: A Review of the Post-2000 Literature" *UTMS Journal of Economics*, 10(2), 249-257.
- Marković, M., Knežević, S., Brown, A., and Dmitrović, V. (2015). "Measuring the Productivity of Serbian Banks using Malmquist Index", *Management*, 76, 1-10. <https://doi.org/10.7595/management.fon.2015.0022>
- Mirza, N., Umar, M., Afzal, A., and Firdousi, S.F. (2023). "The Role of Fintech in Promoting Green Finance, and Profitability: Evidence from The Banking Sector in The Euro Zone", *Economic Analysis and Policy*, 78, 33-40. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2023.02.001>
- Phan, D.H., Narayan, P.K., and Rahman, R.E. (2020). "Do Financial Technology Firms Influence Bank Performance?" *Pacific-Basin Finance Journal*, 62, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.pacfin.2019.101210>
- Rusydiana, A.S. and Assalafiyah, A. (2021). "Advancement and Setback in Islamic Banking Productivity in Asean: Do Technological Changes Matter?", *Journal of Islamic Monetary Economics and Finance*, 7(3), 583-604, <https://doi.org/10.21098/jimf.v7i3.1322>
- Shah, A.A., Wu, D., and Korotkov, V. (2019). "Are Sustainable Banks Efficient and Productive? A Data Envelopment Analysis and the Malmquist Productivity Index Analysis", *Sustainability*, 11, 1-19. <https://doi.org/10.3390/su11082398>
- Shair, F., Shaorong, S., Kamran, H.W., Hussain, M.S., and Nawaz, M.A. (2021). "Assessing the Efficiency and Total Factor Productivity Growth of the Banking Industry: Do Environmental Concerns Matters?", *Environmental Science and Pollution Research*, 20822-20838. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11938-y>
- Sufian, F. and Kamarudin, F. (2015). "Antecedents of Total Factor Productivity of Malaysian Banks: Evidence from Semi-Parametric Malmquist Productivity Index Method", *Sainshumanika*, 6(1), 59-70. <https://doi.org/10.11113/sh.v6n1.686>
- Thota, N., and Subrahmanyam, A. (2020). "Bank Total Factor Productivity Convergence: Evidence From India, *Finance Research Letters*, 37, 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2019.101357>
- Tutkavul, K. (2019). "Malmquist Toplam Faktör Verimlilik Endeksini Kullanarak Finansal Etkinlik ve Verimlilik Ölçümü: Borsa İstanbul Sınai Endeksi'nde Bir Uygulama", *Verimlilik Dergisi*, 49-93.
- Türkiye Bankalar Birliği (2024) <http://www.tbb.org.tr>, Erişim Tarihi: 12.08.2024
- Wang, Y., Xiuping, S., and Zhang, Q. (2021). "Can Fintech Improve the Efficiency of Commercial Banks? An Analysis Based on Big Data", *Research in International Business and Finance*, 55, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2020.101338>
- Yılmaz, A. ve Güneş, N. (2015). "Efficiency Comparison of Participation and Conventional Banking Sectors in Turkey between 2007-2013", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 195, 383-392. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.06.338>
- Yılmaz, E. G. (2018). "The Effects of Information Technology Investments on Effectiveness and Financial Performance of Turkish Commercial Banking (2010-2015)", *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 6 (82), 427-461. <http://dx.doi.org/10.16992/ASOS.14352>
- Yudaruddin, R. (2023). "Financial Technology and Performance in Islamic and Conventional Banks", *Journal of Islamic Accounting and Business Research*, 14(1), 100-114. <https://doi.org/10.1108/JIABR-03-2022-0070>

## EKLER

**Tablo A1. Bağımlı değişken ROA (aktif kârlılığı) alınarak yapılan regresyon analizi sonucu**

Bağımlı Değişken: ROA

Yöntem: Panel En Küçük Kareler

Tarih: 10/16/24 Saat: 17:26

Örneklem: 2016 2023

Dönem: 8

Banka Sayısı: 28

Toplam panel (dengeli) gözlemleri: 224

| Değişken                 | Katsayı   | Standart Hata | t İstatistiği | Anlamlılık |
|--------------------------|-----------|---------------|---------------|------------|
| BISTSURDURULEBİLİRENDEKS | -0,002644 | 0,003068      | -0,861941     | 0,3897     |
| FINTEKSİRKETSAY_         | -0,008474 | 0,009756      | -0,86857      | 0,3861     |
| KATILIMBANK              | 0,001168  | 0,003149      | 0,370858      | 0,7111     |
| KRDZARARKAR_TOPKRD       | -0,011387 | 0,011232      | -1,0138       | 0,3118     |
| MEVDUATBUYUME            | 0,00069   | 0,000856      | 0,806474      | 0,4209     |
| TEKNOSİRKİSTIRAK         | -0,00229  | 0,00275       | -0,832676     | 0,406      |
| TOPBORCOZSERMAYE         | -0,00141  | 0,000356      | -3,957208     | 0,0001     |
| TOPKRDTOPVAR             | -0,015709 | 0,006497      | -2,417746     | 0,0165     |
| TOPLAMVARLIK             | 0,001647  | 0,001895      | 0,869473      | 0,3856     |
| TOPSERTOPVAR             | 0,046442  | 0,0134        | 3,465799      | 0,0006     |
| TUFE                     | 0,000285  | 0,000102      | 2,778613      | 0,006      |
| UCRTKOMGELNETKAR         | 0,01285   | 0,005961      | 2,155814      | 0,0322     |
| YONKURUYE                | -0,000172 | 0,000775      | -0,221949     | 0,8246     |
| C                        | 0,028722  | 0,024244      | 1,184707      | 0,2375     |

R-Kare= 0.483 F değeri = 15.086 p değeri =0,000 (  $0 \leq p \leq 0,1$  )

**Tablo A2. Bağımlı değişken ROE (özsermaye kârlılığı) alınarak yapılan regresyon analizi sonucu**

Bağımlı Değişken: ROE

Yöntem: Panel En Küçük Kareler

Tarih: 10/16/24 Saat: 17:26

Örneklem: 2016 2023

Dönem: 8

Banka Sayısı: 28

Toplam panel (balanced) gözlemleri: 224

| Değişken                 | Katsayı   | Standart Hata | t İstatistiği | Anlamlılık |
|--------------------------|-----------|---------------|---------------|------------|
| BISTSURDURULEBİLİRENDEKS | -0,041368 | 0,015113      | -2,73727      | 0,0067     |
| FINTEKSİRKETSAY_         | -0,114732 | 0,048065      | -2,387004     | 0,0179     |
| KATILIMBANK              | 0,020217  | 0,015516      | 1,303041      | 0,194      |
| KRDZARARKAR_TOPKRD       | -0,035343 | 0,055337      | -0,638689     | 0,5237     |
| MEVDUATBUYUME            | 0,003071  | 0,004217      | 0,728255      | 0,4673     |
| TEKNOSİRKİSTIRAK         | -0,009281 | 0,01355       | -0,684935     | 0,4941     |
| TOPBORCOZSERMAYE         | -0,006258 | 0,001756      | -3,564049     | 0,0005     |
| TOPKRDTOPVAR             | -0,078563 | 0,03201       | -2,454355     | 0,0149     |
| TOPLAMVARLIK             | 0,028779  | 0,009334      | 3,083448      | 0,0023     |
| TOPSERTOPVAR             | -0,169355 | 0,066017      | -2,565333     | 0,011      |
| TUFE                     | 0,002237  | 0,000505      | 4,429792      | 0          |
| UCRTKOMGELNETKAR         | 0,050814  | 0,029366      | 1,730378      | 0,085      |
| YONKURUYE                | 0,004029  | 0,003819      | 1,054979      | 0,2926     |
| C                        | 0,155511  | 0,119439      | 1,302007      | 0,1943     |

R-Kare= 0.580 F değeri = 22.350 p değeri =0,000 (  $0 \leq p \leq 0,1$  )



## Performance-Based Shelf Space Plan Evaluation for Enhanced Retail Efficiency

Şeyda Serdarasan<sup>1</sup> 

### ABSTRACT

**Purpose:** The purpose of this paper is to introduce a performance-based planogram evaluation method to address the gap in research regarding the effectiveness of planogram implementation over time and across different retail stores.

**Methodology:** The study employs Mamdani Fuzzy Rule-Based Systems (FRBS) to manage uncertainties in planogram planning and execution. The methodology involves defining evaluation criteria, gathering data from literature and expert opinions, and processing this data through fuzzy operators within the FRBS.

**Findings:** The performance-based planogram evaluation method offers a nuanced perspective beyond traditional conformance-based evaluations. The Mamdani FRBS allows flexibility in adjusting the shelf layout based on real-world conditions, improving the understanding of planogram performance over time and across locations.

**Originality:** This paper introduces a fuzzy rule-based system for planogram evaluation, capturing retail environment uncertainties. The framework provides a novel approach to evaluating planogram performance, offering valuable insights for enhancing retail operations and customer experience. The performance-based evaluation score enables informed decision-making that aligns with planning goals.

**Keywords:** Fuzzy Rule-Based Systems, Performance-Based Evaluation, Planogram Execution Evaluation, Retail Operations, Shelf Space Planning.

**JEL Codes:** L81, C44, C63.

## Performansa Dayalı Raf Alanı Planı Değerlendirmesi: Perakende Verimliliğini Artırma

### ÖZET

**Amaç:** Bu çalışmanın amacı, planogram uygulamalarının zaman içindeki ve farklı perakende mağazalarındaki etkinliğini değerlendirmeye yönelik performansa dayalı bir planogram uygulama değerlendirme yöntemi sunmaktır.

**Yöntem:** Çalışma, planogram planlama ve uygulama sürecindeki belirsizlikleri yönetmek için Mamdani Bulanık Kural Tabanlı Sistemleri (FRBS) kullanmaktadır. Yöntem, değerlendirme kriterlerinin tanımlanması, literatür ve uzman görüşlerinden veri toplanması ve bu verilerin FRBS içindeki bulanık operatörlerle işlenmesini içermektedir.

**Bulgular:** Performansa dayalı planogram değerlendirme yöntemi, geleneksel uygunluk temelli değerlendirmelerin ötesine geçen bir bakış açısı sunmaktadır. Mamdani FRBS, raf düzeninin gerçek dünya koşullarına göre esnek bir şekilde ayarlanmasına olanak tanıyarak, planogram performansının zaman ve mekân açısından daha iyi anlaşılmasını sağlamaktadır.

**Özgünlük:** Bu makale, perakende ortamlarındaki belirsizlikleri yakalamak için planogram değerlendirmesi alanında bulanık kural tabanlı bir çerçeve ortaya koymaktadır. Çerçeve, planogram performansını değerlendirmenin yenilikçi bir yolunu sunarak, perakende operasyonlarını ve müşteri deneyimini geliştirmek için değerli iç görüler sağlamaktadır. Performansa dayalı değerlendirme puanı, planlama hedefleriyle uyumlu bilinçli kararlar alınmasını sağlar.

**Anahtar Kelimeler:** Bulanık Kural Tabanlı Sistemler, Performansa Dayalı Değerlendirme, Planogram Uygulama Değerlendirmesi, Perakende Operasyonları, Raf Alanı Planlaması.

**JEL Kodları:** L81, C44, C63.

<sup>1</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Corresponding Author: Şeyda Serdarasan, serdars@itu.edu.tr

DOI: 10.51551/verimlilik.1612427

Research Article | Submitted: 03.01.2025 | Accepted: 22.05.2025

Cite: Serdarasan, Ş. (2025). "Performance-Based Shelf Space Plan Evaluation for Enhanced Retail Efficiency", *Verimlilik Dergisi*, 59(3), 575-588.

## 1. INTRODUCTION

In the retail industry, customer satisfaction is key to attracting and retaining customers. This satisfaction depends on the overall in-store experience, influenced by as perceived value, product availability, customer service, employee attitude, store cleanliness, and product shelf presentation. Retailers consider a range of factors when making product presentation decisions, including fiscal measures such as sales, profit, market share, return on assets, and the effect on customer counts, market baskets, and impulse sales, as well as stock levels and promotional activity (ACNielsen et al., 2012, p.150; Dussart, 1998). To support customer satisfaction, retailers design product displays that simplify item selection, often using planograms—a visual representation of product layout within a store. Planograms typically specify location, quantity (facings) and size of the products (Hübner and Kuhn, 2012). They are generally created centrally at corporate headquarters for certain sets of products (usually of the same category) over a certain period of time that are customized for each individual store or applied uniformly across multiple stores. Planograms follow a lifecycle of planning, implementation (store-level execution), monitoring, and evaluation (see. Figure 1).

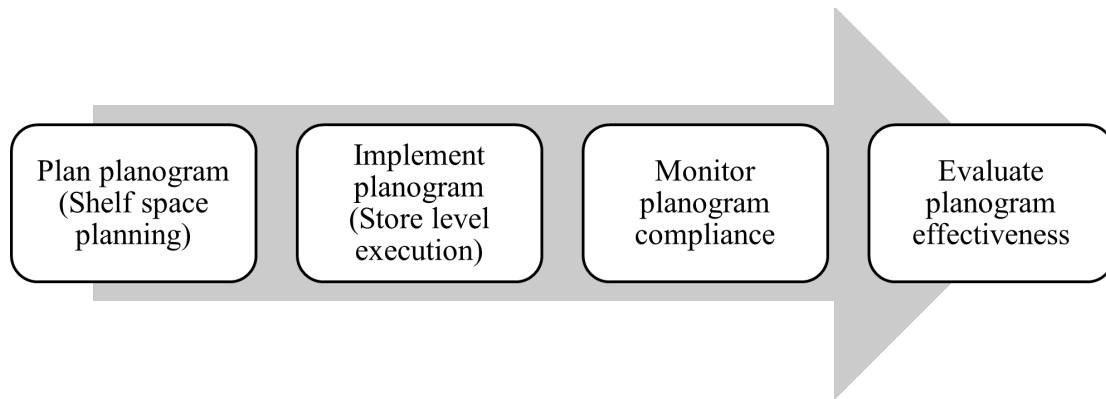


**Figure 1. The planogram life cycle**

The shelf space planning problem has garnered considerable attention in the literature, with mathematical models addressing how to allocate shelf space effectively in retail environments (Bianchi-Aguilar et al., 2021). The primary goal when planning a planogram is to find the right combinations of items and facings across the available shelf space to maximize total profit (Corstjens and Doyle, 1981).

Since a planogram is designed to help retailers effectively display their products and make them more appealing to customers by considering demand, costs, profits, and shelf space constraints (Bianchi-Aguilar et al., 2021), retailers often place a high emphasis on planogram compliance. Monitoring this compliance is crucial for ensuring proper execution; however, traditional manual checks are labor-intensive and prone to errors. Recent advances in artificial intelligence, deep learning, and computer vision have enabled automated compliance monitoring, improving accuracy by using cameras and sensors to detect discrepancies in real-time shelf layouts (Santra and Mukherjee, 2019). Despite these advancements, most research has focused on detecting product placement errors, with limited attention to evaluating planogram performance over time and across stores (Saqlain et al., 2022).

While there's been significant attention to planogram planning and monitoring, evaluating its effectiveness over time and across stores has been less explored in the literature. Multiple factors, such as product availability, store layout, customer behavior, training gaps, and handling errors, can cause a mismatch between planned and actual shelf layouts. While compliance monitoring addresses discrepancies, evaluating planogram performance and identifying the reasons behind poor execution are equally important. Depending on a retailer's goals, there are different approaches to planogram performance evaluation. One approach is conformance-based evaluation, which strictly assesses whether the planogram was followed exactly. Another method is performance-based evaluation, which goes beyond simple compliance and considers factors like profit, demand, sales, turnover, product availability, and promotions. This performance-based approach allows for more flexibility in adjusting shelf layouts based on real-world conditions. Unlike the binary Pass/Fail nature of conformance-based evaluations, performance-based methods provide a more nuanced assessment by measuring how well the planogram aligns with business targets and adapts to market conditions. This evaluation enables tracking planogram implementation across multiple locations, helping retailers refine their strategies and improve overall performance.

This study introduces a performance-based planogram evaluation method, aiming to address the existing gap in research concerning the effectiveness of planogram implementation over time and across different

retail stores. In response to the complexities inherent in planogram planning and execution, our methodology employs Mamdani Fuzzy Rule-Based Systems (FRBS), which provide a robust framework for handling uncertainties and dynamic factors. The suggested scoring system offers a nuanced perspective beyond traditional conformance-based evaluations. The Mamdani FRBS enables us to capture the fuzzy nature of decision-making in the retail environment, allowing for more flexibility in adjusting the shelf layout based on real-world conditions. As part of the methodology, the study defines specific evaluation criteria reflecting the initial objectives of planogram planning. These criteria are gathered from a variety of sources, including literature reviews and expert opinions, and are then processed through fuzzy operators and implications within the Mamdani FRBS. This dynamic and adjustable approach ensures that the planogram evaluation takes into account the uncertainties in market dynamics, customer response and behavior, replenishment and inventory dynamics, and supply chain disruptions. Consequently, the proposed methodology provides a comprehensive framework for retailers to assess planogram performance over time and across multiple locations. It enables a more refined understanding of how the actual execution aligns with the predetermined objectives, considering the fluid nature of the retail landscape.

The paper is structured as follows: First, the literature on planogram lifecycle is reviewed. Second, the proposed framework for planning, execution, and evaluation, including the performance-based score, is presented. Third, the methodology's application in a real-world retail context is demonstrated. Finally, the conclusion summarizes key findings, highlights contributions, and outlines future research directions. This paper aims to advance planogram evaluation methods, contributing to the improvement of retail operations.

## 2. LITERATURE REVIEW

The background and challenges of planogram evaluation are explored by reviewing the literature on the following topics: (i) shelf space planning (planogram planning), which involves defining the criteria for evaluating the effectiveness of a planogram; (ii) planogram compliance monitoring, which involves collecting the data for measuring the performance of a planogram; and (iii) planogram compliance scoring, which involves assessing the degree of alignment between a planogram and a product layout using the data obtained in the former step. To the best of the author's knowledge, there is an absence of research that specifically addresses the evaluation of planogram effectiveness.

Shelf space planning is an important topic in retail operations. Retailers must decide which products to include in their assortment and how much shelf space is assigned to each product (Bianchi-Aguilar et al., 2021; Hübner and Kuhn, 2012; Kök et al., 2015, pp. 175-236). Early studies on this topic focused on deterministic models that considered how shelf space affects the demand for products. Some models assume that the demand for a product depends on its own shelf space, which is called space-elastic demand (Curhan, 1972; Eisend, 2014; P. Hansen and Heinsbroek, 1979; Urban, 1998). Other models assume that the demand for a product also depends on the shelf space of other products, which is called cross-space elastic demand (Corstjens and Doyle, 1981; Zufryden, 1986). Later studies extended this line of research by incorporating other aspects of retail operations, such as store layout (Flamand et al., 2016; Ostermeier et al., 2021), shelf density, size, orientation (Gecili and Parikh, 2022; Hübner et al., 2021; Mowrey et al., 2019), product dimensions and orientation (Geismar et al., 2015; Hübner et al., 2020; Kim and Moon, 2021), retailers' visual merchandising practices (Czerniachowska, 2022), customer traffic (Flamand et al., 2023) or replenishment decisions (Hübner and Kuhn, 2023).

When planning shelf space allocation with optimization models, the factors considered are: the margin contribution or profit per unit, product packaging and dimensions, the available shelf space, and the expected customer demand. Expected demand encompasses not only the initial demand for a product but also substitution and complementary effects with other products (Campo et al., 2000; Edirisinghe and Munson, 2023; Hübner and Kuhn, 2023; van Woensel et al., 2007). Position of a product on the shelf may also influence demand (Czerniachowska et al., 2022; Drèze et al., 1994; Hansen et al., 2010). The planogram guides the vertical and horizontal positioning of the product and its face count within available shelf space. Increased facings enhance product visibility, leading to more frequent purchases. Studies consistently reveal a substantial relationship between face count, realized demand, vertical and horizontal layouts (Hansen et al., 2010; Mowrey et al., 2019), highlighting the significance of strategic shelf allocation in influencing consumer behavior. Ultimately, retailers have the opportunity to make informed decisions to efficiently allocate shelf space, optimize product assortment, and enhance overall category performance by considering these factors and incorporating them into shelf space planning models.

After the planning stage, planogram execution occurs at the store level, involving physical product arrangement. However, real-world execution can deviate from the initial plan due to challenges, such as product availability, store layout variations, unforeseen customer behaviors, and competitors, causing up to 10% weekly deviation (Strategix, 2020). This noncompliance costs approximately 1% of the gross sales of the retail industry (Gates, 2023). The transition from planning to execution faces various obstacles,

including inaccurate data, poor handling, product unavailability, lack of training and budget constraints. This variance between planned and executed planograms has led to a growing interest in compliance monitoring in recent literature (Guimarães et al., 2023; Santra and Mukherjee, 2019). Studies on this subject generally focus on retail image recognition/product detection or planogram compliance control (Laitala and Ruotsalainen, 2023; Saqlain et al., 2022). Retail product detection, which is the process of identifying and classifying products in retail images, can be performed using feature and object detection methods, such as SURF, SIFT, YOLO, SSD, etc., applied to images captured from retail environments (Wei et al., 2020). Detected and classified products are then compared to the planogram to check compliance. The planogram compliance score measures the degree to which the real shelf execution follows the planogram. Planogram compliance control has not received adequate attention in the literature. Among the studies that cover planogram compliance checking (Liu and Tian, 2016) used spectral graph matching to generate matching scores between the expected layout and the detected layout. Any product from the planogram that is matched with any object from the recurring pattern is marked as matched, and the compliance score is calculated as Equation 1.

$$\text{Compliance Score} = 1 - \left( \frac{|\# \text{ of matched products} - \# \text{ of expected products}|}{\# \text{ of expected products}} \right) \quad (1)$$

Similarly, (Saqlain et al., 2022) used Equation 1 to calculate compliance accuracy, comparing the JSON and color detection of the company-provided planograms to postprocessed images processed using YOLOv4, YOLOv5 and YOLOR. (Yücel and Ünsalan, 2024) introduced a new compliance checking method using the Needleman–Wunsch algorithm, which distinguishes between matches, mismatches /substitutes, inserts, and deletions. This approach treats compliance as aligning a single row, considering both the planned and actual products on the shelf and their face counts. The planogram match ratio is defined by the actual facings of a product that match the planned planogram, including item placements. Many existing studies on planogram compliance primarily concentrate on comparing the real shelf layout with the intended planogram, measuring the percentage of alignment between the two. However, it is crucial to recognize that not all discrepancies have the same impact on long-term retail performance. Altered shelf layouts can result from various factors, such as store constraints and customer behavior. To enhance planogram effectiveness and, consequently, retail performance, it is critical to evaluate implementation performance and identify the underlying reasons for misalignment.

The next stage in the planogram lifecycle is evaluating the effectiveness of planogram execution that serves multiple vital purposes. First, it enables retailers to systematically track planogram implementation on store shelves, identifying discrepancies between planned and actual layouts and uncovering underlying reasons for deviations. Understanding these root causes is essential for developing targeted strategies to address them. By analyzing evaluation results, retailers can identify areas for improvement, such as adjusting product assortments, shelf space allocation, replenishment decisions, or promotion and pricing strategies (Bianchi-Aguiar et al., 2021). Ultimately, better planned and executed planograms create an efficient and appealing customer experience.

Planogram execution evaluation is an understudied area in academic research, with no direct studies dedicated to this topic. Nevertheless, literature and industry reports emphasize its role in retail store operations (DeHoratius and Ton, 2015; Hübner and Kuhn, 2012; Mou et al., 2018; Raman et al., 2001; Reiner et al., 2013; Strategix, 2020). All these studies focus on in-store logistics efficiency and item shelf availability. This unexplored area offers research avenues: (i) studying store-specific factors in planogram execution success; (ii) investigating the impact of planogram execution on customer experience and retail performance; (iii) developing an effective planogram evaluation framework. This study introduces a planogram evaluation score based on planning goals and a framework to evaluate retailer operations over time across locations. This comprehensive evaluation is essential for developing targeted strategies to address challenges, optimize resource allocation, and enhance overall operational efficiency.

### 3. METHODOLOGY

When approaching the planogram lifecycle from a plan-implement-evaluate perspective, the need for evaluation becomes apparent. This paper focuses on the evaluation phase, where actual results are compared against predetermined objectives using FRBS. The evaluation process involves gathering data and feedback from multiple sources, such as sales data, store feedback, and inventory information, to analyze performance and identify areas for improvement. In the proposed framework, data collection is designed to encompass both quantitative and qualitative inputs. Quantitative data may include performance indicators such as profit margins, demand metrics, and shelf availability ratios. Qualitative insights are typically obtained through expert evaluations, literature review, or observational assessments regarding shelf execution and retail operations. Depending on the retail context, these inputs can be sourced from internal company databases, image recognition systems, expert panels, or store audits. This flexibility in

data sourcing ensures adaptability of the framework to diverse retail settings and levels of operational complexity. The insights derived from this analysis can inform adjustments to future planograms and overall store operations. The suggested framework, representing an extended planogram lifecycle that integrates performance-based evaluation using fuzzy rule-based systems, is outlined in Figure 2.

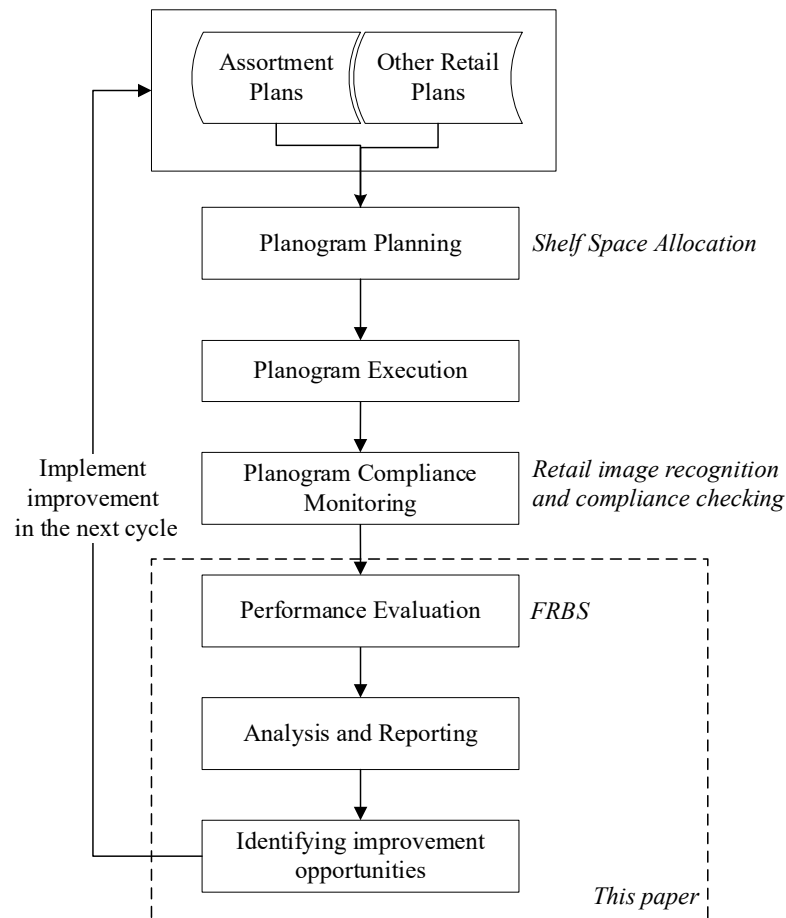


**Figure 2. The planogram planning, execution and evaluation framework**

Retail operations encompass inventory management, product promotions, distribution and delivery, demand planning, assortment planning, returns handling, customer service operations, employee management, and warehousing (Roederkerk et al., 2022). Assortment planning involves balancing variety, depth, and service levels within product categories while considering inventory limitations and physical space (Mantrala et al., 2009). A planogram provides specific guidelines for product placement on shelves, aiming to create a visually appealing and strategically organized retail environment. This arrangement maximizes product visibility and accessibility, ultimately improving profits. To evaluate the effectiveness of planogram execution, it is essential to consider the original objectives, such as maximizing profit margins and meeting expected customer demand. Given the dynamic nature of retail and the uncertainties involved—like market fluctuations, customer behaviour, and supply chain disruptions—evaluating planogram performance necessitates a multi-criteria approach. Additionally, decision makers may have differing priorities to address the complexities and uncertainties inherent in the planning and execution process (Mantrala et al., 2009; Mou et al., 2018; Raman et al., 2001). Many of these factors are hard to quantify, including uncertainties in market dynamics, customer response and behavior, replenishment and inventory dynamics and supply chain disruptions. Consequently, evaluating planogram execution necessitates considering multiple criteria. However, quantifying these criteria proves challenging, as they often involve subjective and uncertain elements. In scenarios involving such uncertainty, it is advisable to integrate a fuzzy inference system (FIS) (Magdalena, 2015 p.204). An FIS has the capability to simultaneously assess multiple criteria considering the uncertainty of the situation and available data, thereby easing the quantification of the decision process. An FRBS is a type of FIS that utilizes fuzzy sets and fuzzy logic to handle the inherent uncertainty in human reasoning and to model interactions and relationships among variables (Magdalena, 2015, p.203). Incorporating fuzzy statements in rules allows for the capture and management of potential uncertainty in the represented knowledge, closely aligning with

the human reasoning process. A typical FRBS comprises a knowledge base and a processing structure (Mamdani, 1974).

The proposed scoring system utilizes Mamdani FRBS. The scoring process for each product intended for shelf placement is given in Figure 3. If the product is correctly placed, the score is 1; if the space is empty, the score is 0; and if another product occupies the planned space, a score between 0 and 1 is calculated based on the Mamdani FRBS. Mamdani FRBS is preferred due to its flexibility and ability to handle complex rule sets effectively (Magdalena, 2015). The Mamdani FRBS stores knowledge in a knowledge base, employs IF-THEN rules, and conducts an inference process on inputs. The knowledge base comprises fuzzy datasets and fuzzy partitions, defining the semantics of linguistic terms through membership functions (MathWorks, 2023; Ross, 2010, pp.145-154). The fuzzy inference process involves sequential steps, including fuzzification of input variables, application of fuzzy operators (AND or OR) in the antecedent, implication from the antecedent to the consequent, aggregation of consequents across rules, and defuzzification.

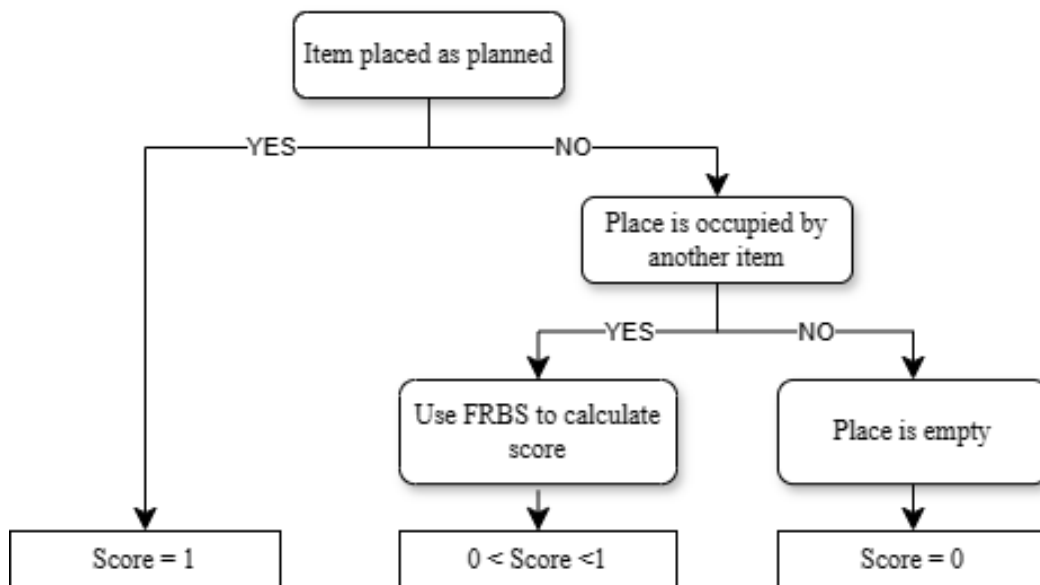


**Figure 3. Planogram performance evaluation scoring scheme**

The initial step in scoring is defining evaluation criteria aligned with the planogram's original objectives, such as margin contribution, profit per unit, expected customer demand, product dimensions, and available shelf space. Additional goals may include promotions, placement strategies, and cross-selling opportunities. Next, fuzzy datasets for these criteria are collected from literature and expert opinions. Fuzzy operators and the implication method are then implemented, with the evaluation criteria as antecedents and the evaluation score for each product as the consequent. Despite the inherent intermediate fuzziness, the final desired output typically manifests as a single numerical value. The centroid method, which calculates the center of the area under the aggregate fuzzy set, is preferred for defuzzification.

After computing scores for all items on the shelf, the average score is reported as the planogram evaluation score for that moment. This calculation should be performed regularly throughout the time the planogram is active. Tracking individual item and shelf scores over time helps identify disparities between the intended and actual layout, revealing deviations from the initial strategy. Additionally, it provides insights into the underlying causes of these deviations, such as employee issues, customer behavior, assortment planning, promotions, delivery and distribution, returns handling, and so on. Employing retail analytics would be beneficial in this context (Roederkerk et al., 2022). Understanding root causes is essential for developing strategies to address these issues and making necessary adjustments to product assortments, shelf space allocation, replenishment decisions, or promotion and pricing strategies.

#### 4. AN ILLUSTRATIVE APPLICATION

To illustrate the proposed scoring approach, an example where a retailer uses a carefully designed planogram and a precise product detection system is presented. The compliance monitoring system in effect not only detects the items but also captures their exact locations throughout the period of the current planogram's implementation and that all related data is accessible. The sample dataset, including real shelf images and the reference planogram, was provided by a grocery store chain that partnered with the author.

The dataset used in this application included both visual and numerical data. Shelf images and reference planograms were provided by the partner company, while item-level performance metrics such as realized profit and demand were extracted from store-level records. To define the fuzzy membership functions for the input and output variables, expert opinions were collected. The experts consisted of five professionals: two academics specializing in industrial engineering and three managers experienced in category planning and store operations. This multi-source data collection enabled a context-specific and robust implementation of the proposed scoring scheme.

The first stage of the scoring process involves establishing evaluation criteria in line with the original objectives set during the planning phase. The company uses a heuristic shelf space allocation based on the (Yang, 2001) algorithm, considering profit per unit and expected customer demand divided by the planned number of facings. The profit ratio and demand ratio for a specific item planned at a designated location  $i$  are calculated as follows:

$$Profit\ ratio_i = \frac{Profit_{real,i} - Profit_{plan,i}}{Profit_{plan,i}} \quad (2)$$

$$Demand\ ratio_i = \frac{\frac{expected\ demand_{real,i}}{number\ of\ facings_{real,i}} - \frac{expected\ demand_{plan,i}}{number\ of\ facings_{plan,i}}}{\frac{expected\ demand_{plan,i}}{number\ of\ facings_{plan,i}}} \quad (3)$$

Although the input variables in this study (e.g., profit and demand ratios) are crisp and quantitative, a fuzzy rule-based system is employed, not due to any vagueness in the data itself, but because the decision-making environment is inherently complex. In planogram evaluation, multiple criteria (such as expected demand, profitability, promotions, and shelf constraints) interact in ways that are not always reducible to binary or linear logic. Fuzzy logic provides a natural way to represent this complexity by mimicking human reasoning, which often involves approximate judgments rather than precise calculations. Fuzzification is therefore applied as a modeling choice to enable rule-based reasoning under uncertainty, allowing the system to make interpretable and flexible evaluations in real-world retail contexts.

Triangular membership functions were used to create fuzzy datasets for the two criteria. By utilizing the maximum and minimum values of the related ratios, the planogram input data were transformed into lower, equal, and higher levels, facilitating a smooth transition between different linguistic terms. For the score, the output variable, we drew upon the insights of expert opinions to define membership functions at four levels: unsatisfactory, suboptimal, mediocre and near ideal. This expert-defined membership functions-developed through a multi-round consensus process-came from the same group of five professionals described earlier. The fuzzy datasets for the demand ratio, profit ratio, and score are shown in Table 1.

**Table 1. Fuzzy datasets used in the illustrative application**

| <i>Input/Output</i> | <i>Linguistic term</i> | <i>Triangular Membership Function Parameters</i> |
|---------------------|------------------------|--------------------------------------------------|
| Profit Ratio (PR)   | Lower                  | (-2.75, -1.50, -0.25)                            |
|                     | Equal                  | (-1.25, 0.00, 1.25)                              |
|                     | Higher                 | (0.25, 1.50, 2.75)                               |
| Demand Ratio (DR)   | Lower                  | (-2.75, -1.50, -0.25)                            |
|                     | Equal                  | (-1.25, 0.00, 1.25)                              |
|                     | Higher                 | (0.25, 1.50, 2.75)                               |
| Score               | Unsatisfactory         | (-0.20, 0.01, 0.20)                              |
|                     | Suboptimal             | (0.10, 0.30, 0.50)                               |
|                     | Mediocre               | (0.40, 0.60, 0.80)                               |
|                     | Near optimal           | (0.70, 0.90, 1.10)                               |

Note that these triangular membership functions are specific to the case company. Following the definition of the input and output variables, the rule base is composed of nine linguistic rules:

- R1: IF PR is lower and DR is lower THEN Score is unsatisfactory, also
- R2: IF PR is lower and DR is equal THEN Score is suboptimal, also
- R3: IF PR is lower and DR is higher THEN Score is mediocre, also
- R4: IF PR is equal and DR is lower THEN Score is suboptimal, also
- R5: IF PR is equal and DR is equal THEN Score is near optimal, also
- R6: IF PR is equal and DR is higher THEN Score is near optimal, also
- R7: IF PR is higher and DR is lower THEN Score is mediocre, also

R8: IF PR is higher and DR is equal THEN Score is near optimal, also

R9: IF PR is higher and DR is higher THEN Score is near optimal.

After fuzzifying the inputs, the rules are specified, and fuzzy operators (AND operator - MIN) and the implication method (MIN) are employed with the demand ratio and profit ratio as antecedents. This operation yields the evaluation score for each product on the shelf. Implication is implemented for each rule, and the rule outputs are aggregated (MAX) into a single fuzzy set whose membership function assigns a weighting for each score value. The crisp value of the score is computed by defuzzifying the combined output fuzzy set using the centroid method. The proposed FRBS is modeled using MATLAB R2023a, Fuzzy Logic Designer.

The process is repeated to score all items on the shelf; with the average score reported as the planogram evaluation score for that moment and store location. The sample planogram (top) and its executed version (bottom) in Figure 4 are evaluated using the proposed scoring scheme. Of the 37 products planned on the shelf, 30 are placed as planned, while 7 are misplaced or replaced with no empty spots. A conformance-based approach, using (1), would result in a  $30/37=81\%$  success. However, such an approach fails to consider the initial objectives set during the planning phase, which are demand- and profit-oriented. Using the suggested scoring scheme, the evaluation score is 92%. For example, for the first misplaced item, 12th item from the left on the second shelf. For this item, the planned and real placement have the same profit margins ( $\text{Profit Ratio}_{212}=0$ ), however there is a negative difference between the reality and the plan with respect to expected demand per facing ( $\text{Demand Ratio}_{212}=-0.5$ ) for this item, generating an item score of 0.68. The calculations are done for all items and average score is reported as shelf performance score ( $=92\%$ ). Detailed calculations cannot be disclosed in this paper, as the underlying data is proprietary and confidential to the company.



(a) Planogram



(b) Real shelf image

Figure 4. Comparing the planogram (top) and the real shelf image (bottom) at Store A

This analysis employed a sample dataset across multiple locations utilizing the same planogram. Table 2 presents results for both conformance-based and performance-based evaluations. The conformance-based scores, reflecting alignment with the planogram, exhibit variability among the stores. Store A has the highest conformance score at 81%, while Store G the lowest at 43%. On the other hand, the performance-based scores, encompassing factors such as meeting expected demand and achieving profitability, also display variations across stores. Store A has the highest performance-based score at 92%, while Store G has the lowest at 88%. Despite the parallel trend between conformance and performance-based scores, the substantial differences in absolute values suggest that the planogram's effectiveness is better captured when considering broader business objectives. This observation is particular to the hand soap product category, where customer preferences may be less specific. The higher performance-based scores underscore the need for a comprehensive approach that extends beyond conformance, acknowledging the dynamic nature of retail operations and the customer behavior.

**Table 2. Comparison of conformance and performance-based planogram evaluation across stores**

|                         | Store A | Store B | Store C | ... | Store G |
|-------------------------|---------|---------|---------|-----|---------|
| Conformance based score | 81%     | 65%     | 59%     | ... | 43%     |
| Performance based score | 92%     | 90%     | 91%     | ... | 88%     |

In addition to evaluating the overall performance through conformance and performance-based scores, it is necessary to delve into the root causes of planogram non-compliance to drive sustainable and continuous improvement. The fishbone diagram in Figure 5 illustrates the potential sources of the planogram compliance problem. Store employees play a crucial role in executing the planogram, and any shortcomings in their training or understanding of the planogram guidelines can lead to deviations. External factors, such as changes in market dynamics or customer behavior, may also contribute to noncompliance. The supply chain, encompassing aspects like replenishment dynamics and disruptions, can introduce challenges that affect planogram adherence. Moreover, inaccuracies in data can lead to misalignments between the planogram and actual demand, impacting compliance. In-store logistics, including shelf management and product placement, also play a role in determining the level of adherence to the planogram. By thoroughly analyzing and monitoring these categories, we can identify specific causes of deviations and take targeted actions to address them. This proactive approach enables us to enhance the planning process for subsequent cycles, aligning with the ultimate goal of meeting expected demand and maximizing profit. It also fosters a culture of continuous improvement, ensuring that the planogram lifecycle evolves to accommodate changing circumstances and remains an effective tool for optimizing product presentation in stores.

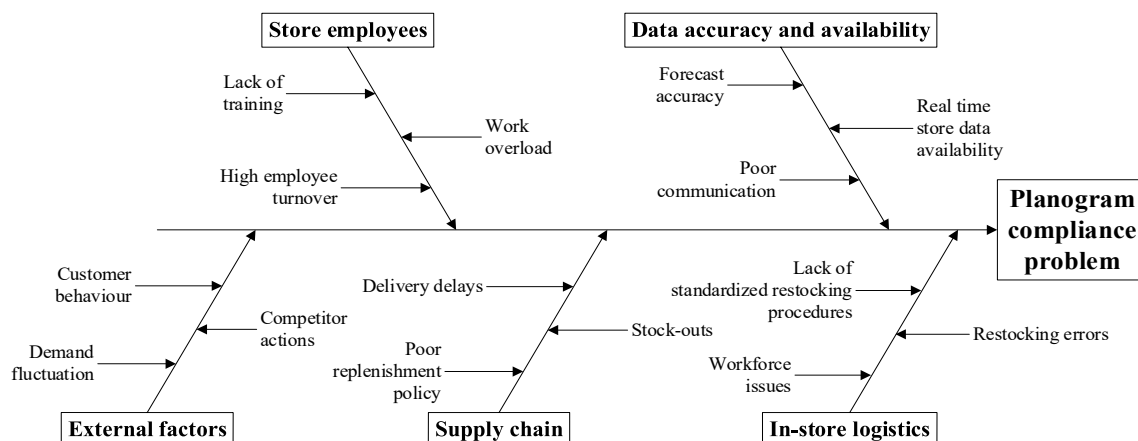


**Figure 5. Fishbone diagram of planogram compliance problem**

## 5. CONCLUSION

This study provides a comprehensive examination of the planogram lifecycle—encompassing planning, implementation, monitoring, and evaluation—to address a critical gap in the literature concerning the effectiveness of planogram implementation over time and across varied retail environments. While shelf space planning, compliance monitoring, and retail image recognition have been widely explored, the evaluation phase remains underrepresented. This research addresses that gap by proposing a performance-based evaluation framework that incorporates fuzzy inference to go beyond traditional conformance metrics.

The methodology outlines an integrated approach to planogram planning, execution, and particularly evaluation. A key contribution is the introduction of a fuzzy inference-based scoring system that allows for a more nuanced and adaptable assessment of planogram performance. This scoring system considers a range of criteria—including profit, demand, sales, turnover, product availability, and promotions—enabling dynamic adjustments that reflect real-world conditions. The use of Mamdani FRBS is particularly valuable because it mimics human reasoning, allowing the system to interpret complex and sometimes conflicting retail variables in a flexible, rule-based manner. The framework incorporates expert-defined evaluation criteria, fuzzy operators, and FRBS to calculate performance-based scores that align with broader retail objectives such as maximizing profit and meeting customer demand.

The framework was implemented using data from a partner grocery chain. Results showed that while conformance and performance-based scores often exhibit parallel trends, differences in absolute values underscore the importance of evaluating planogram effectiveness in terms of both compliance and business objectives. This is particularly evident in the hand soap category, where customer preferences are less specific. The findings emphasize the need for a dynamic, performance-based approach that accounts for supply chain complexities and customer behavior.

Beyond evaluation, understanding deviations from the planned planogram is essential for continuous improvement. Literature and expert opinions highlight the impact of store employees, external factors, supply chain dynamics, data accuracy, and in-store logistic. Monitoring and addressing store-specific and external root causes proactively enables targeted actions, thereby improving the planning process for subsequent planogram cycles and fostering continuous improvement.

While the proposed framework offers valuable insights, certain areas warrant further exploration. The findings, based on data from a single grocery chain, may limit the framework's generalizability to other product categories and diverse retail settings. Additionally, defining evaluation criteria like profit, demand, and product availability can be challenging due to differing stakeholder perspectives, which might affect perceptions of performance alignment. The fuzzy inference-based scoring system, though effective in managing uncertainties, may present implementation challenges for retailers lacking expertise in fuzzy logic or advanced computational tools. Furthermore, the framework's long-term adaptability to evolving trends, consumer preferences, and industry practices requires ongoing validation to maintain its relevance.

Future research could expand the criteria to capture broader retail dynamics and compare performance across various retail types (e.g., groceries, books, toys, personal care), revealing both unique and common patterns. Exploring how store-specific factors like layout, employee training, and customer demographics influence planogram execution could also provide valuable insights. Additionally, integrating the framework into in-store logistics, such as inventory management and shelf restocking, may enhance operational efficiency. Investigating the impact of planogram execution on customer experience and overall retail performance offers another important avenue for inquiry. Moreover, transforming the proposed evaluation framework into a practical tool by developing user-friendly interfaces or software solutions could facilitate its integration into retailers' existing operational workflows. Such implementations would not only enhance usability but also support widespread adoption across varying levels of operational and digital maturity. Furthermore, future research could explore the sensitivity of different scenarios by testing the framework with varying inputs such as customer behaviors, store layouts, or market conditions. This would help assess how these variations influence the system's performance, contributing to improved confidence in its robustness and reliability. By evaluating the framework's sensitivity across different scenarios, future research could ensure that it remains effective in diverse retail environments, supporting its practical implementation and adaptability.

### **Conflict of Interest**

No potential conflict of interest was declared by the author.

### **Funding**

The work was supported by The Scientific and Technological Research Council of Turkey Technology and Innovation Funding Programmes Directorate under Grant number 7140889.

### **Compliance with Ethical Standards**

It was declared by the author 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

- ACNielsen, Karolefski, J. and Heller, A. (2012). "Consumer-Centric Category Management", John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9781119201632>
- Bianchi-Aguiar, T., Hübner, A., Carravilla, M.A. and Oliveira, J.F. (2021). "Retail Shelf Space Planning Problems: A Comprehensive Review and Classification Framework", *European Journal of Operational Research*, 289(1), 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.06.018>
- Campo, K., Gijsbrechts, E., Goossens, T. and Verhetsel, A. (2000). "The Impact of Location Factors on the Attractiveness and Optimal Space Shares of Product Categories", *International Journal of Research in Marketing*, 17(4), 255-279. [https://doi.org/10.1016/S0167-8116\(00\)00026-4](https://doi.org/10.1016/S0167-8116(00)00026-4)
- Corstjens, M. and Doyle, P. (1981). "A Model for Optimizing Retail Space Allocations", *Management Science*, 27(7), 822-833. <https://doi.org/10.1287/mnsc.27.7.822>
- Curhan, R.C. (1972). "The Relationship between Shelf Space and Unit Sales in Supermarkets", *Journal of Marketing Research*, 9(4), 406. <https://doi.org/10.2307/3149304>
- Czerniachowska, K. (2022). "A Genetic Algorithm for the Retail Shelf Space Allocation Problem with Virtual Segments", *OPSEARCH*, 59(1), 364-412. <https://doi.org/10.1007/s12597-021-00551-3>
- Czerniachowska, K., Lutosławski, K. and Fojcik, M. (2022). "Heuristics for Shelf Space Allocation Problem with Vertical and Horizontal Product Categorization", *Procedia Computer Science*, 207, 195-204. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.09.052>
- DeHoratius, N. and Ton, Z. (2015). "The Role of Execution in Managing Product Availability", *Retail Supply Chain Management: Quantitative Models and Empirical Studies* (Editors: N. Agrawal, S.A. Smith), 53-77, Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7562-1\\_4](https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7562-1_4)
- Drèze, X., Hoch, S.J. and Purk, M.E. (1994). "Shelf Management and Space Elasticity", *Journal of Retailing*, 70(4), 301-326. [https://doi.org/10.1016/0022-4359\(94\)90002-7](https://doi.org/10.1016/0022-4359(94)90002-7)
- Dussart, C. (1998). "Category Management: Strengths, Limits and Developments", *European Management Journal*, 16(1), 50-62. [https://doi.org/10.1016/S0263-2373\(97\)00073-X](https://doi.org/10.1016/S0263-2373(97)00073-X)
- Edirisinghe, G.S. and Munson, C.L. (2023). "Strategic Rearrangement of Retail Shelf Space Allocations: Using Data Insights to Encourage Impulse Buying", *Expert Systems with Applications*, 216, 119442. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.119442>
- Eisend, M. (2014). "Shelf Space Elasticity: A Meta-Analysis", *Journal of Retailing*, 90(2), 168-181. <https://doi.org/10.1016/j.jretai.2013.03.003>
- Flamand, T., Ghoniem, A. and Maddah, B. (2016). "Promoting Impulse Buying by Allocating Retail Shelf Space to Grouped Product Categories", *Journal of the Operational Research Society*, 67(7), 953-969. <https://doi.org/10.1057/jors.2015.120>
- Flamand, T., Ghoniem, A. and Maddah, B. (2023). "Store-Wide Shelf-Space Allocation with Ripple Effects Driving Traffic", *Operations Research*, 71(4), 1073-1092. <https://doi.org/10.1287/opre.2023.2437>
- Gates, G. (2023). "Best Ways to Fix Poor Planogram Compliance", Shopper Technology Institute, <https://www.shoppertech.org/ap091211.html> (Accessed: 03.01.2025)
- Gecili, H. and Parikh, P.J. (2022). "Joint Shelf Design and Shelf Space Allocation Problem for Retailers", *Omega*, 111, 102634. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2022.102634>
- Geismar, H.N., Dawande, M., Murthi, B.P.S. and Sriskandarajah, C. (2015). "Maximizing Revenue Through Two-Dimensional Shelf-Space Allocation", *Production and Operations Management*, 24(7), 1148-1163. <https://doi.org/10.1111/poms.12316>
- Guimarães, V., Nascimento, J., Viana, P. and Carvalho, P. (2023). "A Review of Recent Advances and Challenges in Grocery Label Detection and Recognition", *Applied Sciences*, 13(5), 2871. <https://doi.org/10.3390/app13052871>
- Hansen, J.M., Raut, S. and Swami, S. (2010). "Retail Shelf Allocation: A Comparative Analysis of Heuristic and Meta-Heuristic Approaches", *Journal of Retailing*, 86(1), 94-105. <https://doi.org/10.1016/j.jretai.2010.01.004>
- Hansen, P. and Heinsbroek, H. (1979). "Product Selection and Space Allocation in Supermarkets", *European Journal of Operational Research*, 3(6), 474-484. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(79\)90030-4](https://doi.org/10.1016/0377-2217(79)90030-4)
- Hübner, A., Düsterhöft, T. and Ostermeier, M. (2021). "Shelf Space Dimensioning and Product Allocation in Retail Stores", *European Journal of Operational Research*, 292(1), 155-171. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.10.030>
- Hübner, A. and Kuhn, H. (2012). "Retail Category Management: State-of-the-Art Review of Quantitative Research and Software Applications in Assortment and Shelf Space Management", *Omega*, 40(2), 199-209. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2011.05.008>

- Hübner, A. and Kuhn, H. (2023). "Decision Support for Managing Assortments, Shelf Space, and Replenishment in Retail", *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 36, 1-35. <https://doi.org/10.1007/s10696-023-09492-z>
- Hübner, A., Schäfer, F. and Schaal, K.N. (2020). "Maximizing Profit via Assortment and Shelf-Space Optimization for Two-Dimensional Shelves", *Production and Operations Management*, 29(3), 547-570. <https://doi.org/10.1111/poms.13111>
- Kim, G. and Moon, I. (2021). "Integrated Planning for Product Selection, Shelf-Space Allocation, and Replenishment Decision with Elasticity and Positioning Effects", *Journal of Retailing and Consumer Services*, 58, 102274. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2020.102274>
- Kök, A.G., Fisher, M.L. and Vaidyanathan, R. (2015). "Assortment Planning: Review of Literature and Industry Practice". *Retail Supply Chain Management. International Series in Operations Research & Management Science*, (Editors: N. Agrawal, S. Smith), 223, 175-236, Springer, Boston, MA. [https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7562-1\\_8](https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7562-1_8)
- Laitala, J. and Ruotsalainen, L. (2023). "Computer Vision Based Planogram Compliance Evaluation", *Applied Sciences*, 13(18), 10145. <https://doi.org/10.3390/app131810145>
- Liu, S. and Tian, H. (2016). "Planogram Compliance Checking Using Recurring Patterns", *Proceedings - 2015 IEEE International Symposium on Multimedia, ISM 2015*, 27-32. <https://doi.org/10.1109/ISM.2015.72>
- Magdalena, L. (2015). "Fuzzy Rule-Based Systems", *Springer Handbook of Computational Intelligence*, (Editors: J. Kacprzyk, W. Pedrycz), 203-218, Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-43505-2\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-662-43505-2_13)
- Mamdani, E.H. (1974). "Application of Fuzzy Algorithms for Control of Simple Dynamic Plant", *Proceedings of the Institution of Electrical Engineers*, 121(12), 1585-1588. <https://doi.org/10.1049/piee.1974.0328>
- Mantrala, M.K., Levy, M., Kahn, B.E., Fox, E.J., Gaidarev, P., Dankworth, B. and Shah, D. (2009). "Why is Assortment Planning So Difficult for Retailers? A Framework and Research Agenda", *Journal of Retailing*, 85(1), 71-83. <https://doi.org/10.1016/j.jretai.2008.11.006>
- MathWorks. (2023). "Fuzzy Inference Process (R2023b)", <https://www.mathworks.com/Help/fuzzy/fuzzy-inference-process.html>. (Accessed: 03.01.2025)
- Mou, S., Robb, D.J. and DeHoratius, N. (2018). "Retail store operations: Literature review and research directions". *European Journal of Operational Research*, 265(2), 399-422. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.07.003>
- Mowrey, C.H., Parikh, P.J., and Gue, K.R. (2019). "The Impact of Rack Layout on Visual Experience in A Retail Store", *INFOR: Information Systems and Operational Research*, 57(1), 75-98. <https://doi.org/10.1080/03155986.2017.1402475>
- Ostermeier, M., Düsterhöft, T. and Hübner, A. (2021). "A Model and Solution Approach for Store-Wide Shelf Space Allocation", *Omega*, 102, 102425. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2021.102425>
- Raman, A., DeHoratius, N. and Ton, Z. (2001). "Execution: The Missing Link in Retail Operations", *California Management Review*, 43(3). <https://doi.org/10.2307/41166093>
- Reiner, G., Teller, C. and Kotzab, H. (2013). "Analyzing the Efficient Execution of In-Store Logistics Processes in Grocery Retailing—The Case of Dairy Products", *Production and Operations Management*, 22(4), 924-939. <https://doi.org/10.1111/poms.12003>
- Rooderkerk, R.P., DeHoratius, N. and Musalem, A. (2022). "The Past, Present, and Future of Retail Analytics: Insights from A Survey of Academic Research and Interviews with Practitioners", *Production and Operations Management*, 31(10), 3727-3748. <https://doi.org/10.1111/poms.13811>
- Ross, T.J. (2010). *Fuzzy Logic with Engineering Applications*, Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119994374>
- Santra, B. and Mukherjee, D.P. (2019). "A Comprehensive Survey on Computer Vision Based Approaches for Automatic Identification of Products in Retail Store", *Image and Vision Computing*, 86, 45-63. <https://doi.org/10.1016/j.imavis.2019.03.005>
- Saqlain, M., Rubab, S., Khan, M.M., Ali, N. and Ali, S. (2022). "Hybrid Approach for Shelf Monitoring and Planogram Compliance (Hyb-SMPC) in Retails Using Deep Learning and Computer Vision", *Mathematical Problems in Engineering*, 2022, 916818. <https://doi.org/10.1155/2022/4916818>
- Strategix. (2020). "Planogram Compliance Research Report 2020", <https://www.strategix.eu/wp-content/uploads/2020/07/Planogram-Compliance-Report-2020.pdf>. (Accessed: 03.01.2025)
- Urban, T.L. (1998). "An Inventory-Theoretic Approach to Product Assortment and Shelf-Space Allocation", *Journal of Retailing*, 74(1), 15-35. [https://doi.org/10.1016/S0022-4359\(99\)80086-4](https://doi.org/10.1016/S0022-4359(99)80086-4)
- van Woensel, T., van Donselaar, K., Broekmeulen, R. and Fransoo, J. (2007). "Consumer Responses to Shelf Out-of-Stocks of Perishable Products", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 37(9), 704-718. <https://doi.org/10.1108/09600030710840822>

- Wei, Y., Tran, S., Xu, S., Kang, B. and Springer, M. (2020). "Deep Learning for Retail Product Recognition: Challenges and Techniques", *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2020, 875910. <https://doi.org/10.1155/2020/8875910>
- Yang, M-H. (2001). "An Efficient Algorithm to Allocate Shelf Space", *European Journal of Operational Research*, 131(1), 107-118. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(99\)00448-8](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00448-8)
- Yücel, M.E. and Ünsalan, C. (2024). "Planogram Compliance Control via Object Detection, Sequence Alignment, and Focused Iterative Search", *Multimedia Tools and Applications*. 83, 24815-24839. <https://doi.org/10.1007/s11042-023-16427-1>
- Zufryden, F.S. (1986). "A Dynamic Programming Approach for Product Selection and Supermarket Shelf-Space Allocation", *Journal of the Operational Research Society*, 37(4), 413-422. <https://doi.org/10.1057/jors.1986.69>

## Modeling Potential Productivity Gains from SME Growth: A Monte Carlo Simulation for Turkish Manufacturing Firms

Fatih Cemil Özbuğday<sup>1</sup> 

### ABSTRACT

**Purpose:** The paper estimates the labor-productivity gains that Turkish manufacturing small- and medium-sized enterprises (SMEs) can expect when they scale up from micro to small and from small to medium size classes.

**Methodology:** Using value-added-per-employee data from TurkStat, we run Monte Carlo simulations that keep the technological tier constant while varying firm size. Log-normal and gamma shock processes are combined with three coefficients of variation (0.5, 1.0, 2.0) to represent alternative degrees of within-class heterogeneity.

**Findings:** High-technology SMEs realize the highest average gains—around TL 260–370 thousand—especially in the small-to-medium transition. Low-technology firms show modest mean improvements and a rising probability of negative outcomes as heterogeneity increases. Log-normal shocks generate fatter upper tails and more extreme winners, whereas gamma shocks deliver narrower central ranges but still sizable outliers at high dispersion.

**Originality:** This is among the first studies to quantify potential productivity pay-offs from SME scaling in Turkey within a fully stochastic framework. By modeling technology-conditioned heterogeneity with aggregate data, it offers fresh evidence for designing conditional subsidies and other targeted industrial-policy tools.

**Keywords:** SMEs, Labor Productivity, Economies of Scale, Monte Carlo Simulation, Technology Intensity, Manufacturing Industry.

**JEL Codes:** C63, L25, L60, O14, O33.

## KOBİ Büyümesinden Kaynaklanan Potansiyel Verimlilik Kazançlarının Modellenmesi: Türk İmalat Sanayii İçin Bir Monte Carlo Simülasyonu

### ÖZET

**Amaç:** Bu çalışma, Türkiye imalat sanayiinde faaliyet gösteren küçük ve orta büyüklükteki işletmelerin (KOBİ), mikro ölçekten küçük ölçeğe ve küçük ölçekten orta ölçeğe geçiş yapmaları halinde elde edebilecekleri işgücü verimliliği kazanımlarını tahmin etmeyi amaçlamaktadır.

**Yöntem:** TÜİK'in çalışan başına katma değer verileri kullanılarak, teknolojik düzey sabit tutulurken firma ölçeğinin değiştiği Monte Carlo simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Sınıf içi heterojenliği temsil etmek üzere log-normal ve gamma şok süreçleri; 0,5, 1,0 ve 2,0 olmak üzere üç farklı değişim katsayısıyla birleştirilmiştir.

**Bulgular:** Yüksek teknoloji düzeyindeki KOBİ'ler, özellikle küçükten orta ölçeğe geçişte, ortalama 260–370 bin TL arasında değişen en yüksek verimlilik artışlarını sağlamaktadır. Düşük teknoloji firmaları ise daha sınırlı ortalama artışlar göstermekte; heterojenlik düzeyi arttıkça olumsuz sonuçlarla karşılaşma olasılığı da yükselmektedir. Log-normal şoklar daha kalın üst kuyruklara ve aşırı yüksek performans gösteren firmalara yol açarken, gamma şokları daha dar merkezi dağılımlar üretmekte; ancak yüksek saçılma düzeylerinde yine de dikkate değer aykırı değerlere rastlanmaktadır.

**Özgünlük:** Bu çalışma, Türkiye'de KOBİ'lerin ölçek büyütmesinden doğabilecek potansiyel verimlilik kazanımlarını tamamen stokastik bir çerçevede niceliksel olarak ortaya koyan ilk çalışmalardan biridir. Teknolojiye bağlı heterojenliği toplulaştırılmış veriyle modelleyerek, koşullu teşvikler ve hedefe yönelik sanayi politikaları için yeni ve özgün bir kanıta dayalı yaklaşım sunmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** KOBİ'ler, İşgücü Verimliliği, Ölçek Ekonomileri, Monte Carlo Simülasyonu, Teknoloji Yoğunluğu, İmalat Sanayi.

**JEL Kodları:** C63, L25, L60, O14, O33.

<sup>1</sup> Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Siyasal Bilgiler Fakültesi, İktisat Bölümü, Ankara, Türkiye

Corresponding Author: Fatih Cemil Özbuğday, fcozbugday@aybu.edu.tr

DOI: 10.51551/verimlilik.1688156

Research Article | Submitted: 30.04.2025 | Accepted: 22.05.2025

Cite: Özbuğday, F.C. (2025). "Modeling Potential Productivity Gains from SME Growth: A Monte Carlo Simulation for Turkish Manufacturing Firms", *Verimlilik Dergisi*, 59(3), 589-608.

## 1. INTRODUCTION

Over the past several decades, the relationship between firm size and productivity has attracted sustained scrutiny from scholars and policymakers alike. At its core, the debate asks how businesses balance the cost savings afforded by economies of scale against the rising coordination costs that accompany organizational expansion. The theoretical foundations trace back to Coase's (1937) seminal insight that firms internalize transactions only until the marginal cost of managing them equals the cost of using the market. Subsequent research has refined this logic by demonstrating that elements of the external environment, such as competitive intensity, agglomeration forces, and institutional quality, critically shape the scope for firms to grow or contract (OECD, 2019: 147-150).

Yet the size-productivity nexus is neither static nor uniformly positive. Empirical studies frequently identify contexts in which smaller enterprises outperform larger rivals, especially in industries that reward flexibility, rapid decision-making, and niche specialization (Covin and Slevin, 1989; Hodgson et al., 2017). Episodic demand surges, such as those triggered by a public-health emergency, can also yield abrupt, if sometimes transitory, expansions that lift the productivity of otherwise modestly sized producers (OECD, 2021: 81). Consequently, researchers generally reject the notion of a single "optimal" scale; instead, firm size emerges from the interactions among technology, market structure, institutions, and managerial strategy (Hallberg, 2000: 4).

Small and medium-sized enterprises (SMEs) occupy a pivotal position in this discourse. They possess outsized potential for rapid growth (O'Regan et al., 2006; Cravo et al., 2012; Mason and Brown, 2013; Gherghina et al., 2020) and innovation (Klewitz and Hansen, 2014; Saunila, 2020), yet they often struggle to match the efficiency of larger corporations (Taymaz, 2005; Díaz and Sánchez, 2007; Yang and Chen, 2009; Arbelo et al., 2022). Constraining factors include scarce internal resources (Lee et al., 1999), limited access to external finance (Beck and Demirgüç-Kunt, 2006), skills deficits (Lehner and Sundby, 2018), technological hurdles (Elhusseiny and Crispim, 2022), and intense pressure from scale-advantaged incumbents (Özbuğday, 2024). SMEs are also more exposed to sunk-cost losses and institutional rigidities, such as onerous regulation and inadequate infrastructure, that exacerbate scaling costs (Kumar et al., 1999; OECD, 2019: 151). Nevertheless, evidence shows that once SMEs attain the scale needed to absorb fixed costs and embed advanced technologies, their productivity can converge with, or even exceed, that of larger competitors (Lundvall and Battese, 2000; Medrano-Adan et al., 2018).

Although a universally "optimal" size remains elusive, many governments center their industrial strategies on raising SME productivity through growth-oriented policies (Smallbone et al., 1998; Surya et al., 2021). The priority is acute in Turkey, where SMEs exhibit persistently lower productivity than large enterprises (Akçigit et al., 2020). Successive five-year development plans therefore stress SME upgrading. The Seventh Plan (State Planning Organization, 1995) framed competitiveness around high value-added production, advanced technology, and skilled labor, but acknowledged financing, marketing, and productivity bottlenecks. The Eighth Plan (State Planning Organization, 2001) extended tax concessions and investment deductions while urging greater credit access and R&D participation. The Ninth Plan (State Planning Organization, 2006) introduced venture-capital and credit-guarantee schemes and championed digital transformation. The Tenth Plan (State Planning Organization, 2014) promoted SME-large-firm collaboration and integration into global value chains. The Eleventh Plan (Presidency of Strategy and Budget, 2020) reinforced financial literacy, digitalization, and clustering initiatives, whereas the Twelfth Plan (Presidency of Strategy and Budget, 2023) placed green and digital transitions at center stage. Despite these efforts, SMEs still account for only a modest share of national value-added.

Against this backdrop, we ask: *How much would Turkish manufacturing SMEs gain in productivity if they grew?* Addressing this question illuminates the scale-productivity trade-off and informs the design of support mechanisms. Conceptual precision is essential: whereas *growth* denotes any increase in size, *scaling* implies a more-than-proportional rise in performance relative to inputs (Palmié et al., 2023; Coviello et al., 2024). A firm may grow without scaling, but cannot scale without growing. Clarifying this distinction prevents conflation of mere expansion with efficiency-enhancing scale-ups.

To quantify potential gains, we conduct Monte Carlo simulations in which firms migrate from the micro to the small and from the small to the medium class while holding their technology tier constant. The underlying productivity metric—value-added per employee—derives from the Turkish Statistical Institute's SME Statistics. Because productivity is non-negative and right-skewed, we model shocks with both log-normal and gamma distributions and vary the coefficient of variation (CV) to represent differing degrees of heterogeneity.

The simulations reveal three key patterns. First, high-technology SMEs reap the largest and most robust gains, particularly in the Small → Medium transition, whereas low-technology firms exhibit modest averages and pronounced downside risk as heterogeneity intensifies. Second, increasing CV widens the distribution

of outcomes, lowers medians, and pushes the left tail into negative territory even for technologically advanced firms; the effect is more acute under log-normal shocks, which possess fatter upper tails. Third, although mean gains remain positive for most scenarios, extreme values become sizable at  $CV = 2$ , which indicates that indiscriminate support could finance unproductive expansions.

In sum, the study contributes to the literature by demonstrating how heterogeneity in technology adoption conditions the expected returns to scale. Practically, it underlines the need for evidence-based, segment-specific industrial policies if Turkey is to close its SME productivity gap and enhance its global competitiveness.

The remainder of the paper is organized as follows. Section 2 describes the data sources and outlines the Monte-Carlo methodology. Section 3 presents the simulation results. Section 4 interprets these findings in light of the Turkish manufacturing context and derives policy implications. Section 5 concludes by summarizing the principal insights, acknowledging limitations, and suggesting avenues for future research.

## 2. DATA and METHODOLOGY

### 2.1. Data

The dataset used in this study is derived from the SME Statistics published by the Turkish Statistical Institute (TurkStat, 2024). This dataset represents the most comprehensive and recent information on SMEs in Turkey and is compiled using multiple data sources. These sources include the Annual Industry and Service Statistics, foreign trade statistics, research and development (R&D) activities data, entrepreneurship and business demography statistics, and patent application and registration data obtained from the Turkish Patent and Trademark Office. Some of these data sources are administrative sources that include records from various government institutions, while others include survey-based data collected through structured questionnaires and statistical inquiries.

The dataset includes a variety of variables that provide a comprehensive view of SME performance in the Turkish manufacturing sector. These variables include the number of enterprises, turnover, production value, value added at factor costs, total purchases of goods and services, personnel costs, the number of employees, and value-added per employee. The number of enterprises reflects the distribution of firms across size and technology categories, while turnover captures the total sales of goods and services during the reference period. Production value measures the total monetary value of production activities, including sales, stock changes, and resale activities. The value added at factor costs represents the gross income from operating activities, adjusted for subsidies and indirect taxes. Total purchases of goods and services account for inputs consumed in production, excluding capital goods, and personnel costs reflect total expenditures on wages and social security contributions. The number of employees encompasses paid employees, owners, unpaid family members, and apprentices, while value added per employee serves as a key measure of labor productivity, calculated as the ratio of value added at factor costs to the number of employees.

The dataset classifies enterprises based on the definitions provided by the Ministry of Science, Industry, and Technology, using the number of employees and financial thresholds. At the time when the data was compiled, micro enterprises were defined as those with fewer than 10 employees and annual net sales revenue or financial balance sheets not exceeding 10 million Turkish Lira. Small enterprises employ fewer than 50 people and have annual net sales or financial balance sheets not exceeding 100 million Turkish Lira, while medium enterprises employ fewer than 250 people and have annual net sales or financial balance sheets not exceeding 500 million Turkish Lira.

In addition to firm size, the dataset incorporates a classification of technology intensity based on the Eurostat NACE Rev.2 framework, adapted to the ISIC Rev.4 classification system. These classifications include high-technology, medium-high-technology, medium-low-technology, and low-technology industries. For example, high-technology industries include pharmaceuticals, electronics, optical products, and aerospace manufacturing, while medium-high-technology sectors encompass chemicals, electrical equipment, motor vehicles, and medical devices. Medium-low-technology industries include rubber and plastic products, basic metals, and shipbuilding, while low-technology industries consist of traditional sectors such as food and beverages, textiles, furniture, and wood products.

### 2.2. Descriptive Statistics

Table 1 presents a detailed overview of the Turkish manufacturing industry's key performance indicators, categorized by firm size (micro, small, and medium-sized enterprises) and their respective technology levels (high, medium-high, medium-low, and low technology). These indicators include the number of enterprises, turnover, production value, value-added at factor costs, total purchases of goods and services,

changes in stocks of goods and services, personnel costs, the number of employees, and value-added per employee.

Micro-enterprises dominate numerically, with 385,672 firms employing 573,969 people, yet they contribute relatively little in economic terms. Their turnover (TL 631.20 billion) and value-added (TL 110.13 billion) yield labor productivity of only TL 124,813 per employee. Within this group, high-technology micro-enterprises stand out, achieving TL 232,112 in value-added per employee, while low-technology firms, which make up the largest subset, lag at TL 103,067.

Small enterprises, totaling 57,960, show substantially higher economic contributions. Their turnover (TL 1,887.25 billion) and value-added (TL 329.19 billion) produce a labor productivity of TL 348,574 for 931,510 employees. High-technology small firms are the most productive at TL 567,261 per employee, whereas the much larger segment of low-technology firms records a lower figure, TL 274,371.

Although medium-sized enterprises number only 14,238, they generate the greatest economic output, with TL 2,855.11 billion in turnover and TL 627.20 billion in value-added. Employing 1,213,662 people, this category achieves the highest productivity—TL 516,501 per employee. Especially notable are high-technology medium enterprises, which reach TL 927,959 per employee.

Building on the data presented in Table 1 and Table 2 illustrates the relative contributions of different firm sizes and technology levels as a proportion of the sector's total. The ratios emphasize the stark disparities between the numerical dominance of micro-enterprises and their limited economic contributions. Micro-enterprises make up 84.23% of all firms but account for only 10.33% of value-added at factor costs. Their productivity is the lowest overall, especially among low-technology enterprises, which represent nearly half of all micro-enterprises yet provide just 4.96% of value-added. High-technology and medium-high-technology micro-enterprises perform relatively better, though they constitute only a small fraction of the category.

Small enterprises, comprising 12.66% of all firms, contribute a higher 30.87% of value-added at factor costs. Within this group, high-technology small firms, although only 0.14% of all enterprises, reach the highest productivity. Medium-high-technology small firms also perform well, whereas low-technology small firms, which are more numerous, show lower productivity levels. Medium-sized enterprises, though just 3.11% of firms, produce 58.81% of value-added at factor costs, which reflects greater scale and efficiency. High-technology medium firms, at only 0.05% of all enterprises, display particularly high productivity. Medium-high-technology firms likewise excel, while those in low-technology sectors, despite their sizeable share of value-added, trail in productivity.

These descriptive statistics point to the role of technology in shaping productivity and economic contributions in the Turkish manufacturing sector. High-technology firms, though a small fraction of the total (less than 1%), consistently achieve the highest value-added per employee. Conversely, low-technology firms, which dominate numerically, particularly among micro and small enterprises, exhibit significantly lower productivity. As firms scale from micro to small and medium-sized enterprises, their economic contributions and labor productivity improve markedly, which reflects economies of scale and enhanced operational efficiency. Medium-sized enterprises, despite being the smallest group numerically, contribute the most to the sector's overall performance.

**Table 1. Basic indicators in the Turkish manufacturing industry by size class and technology level**

| <i>Size Class</i> | <i>Technology Level</i> | <i>Number of Enterprises</i> | <i>Turnover (in billion TL)</i> | <i>Production Value (in billion TL)</i> | <i>Value Added at Factor Costs (in billion TL)</i> | <i>Total Purchases of Goods and Services (in billion TL)</i> | <i>Change in Stocks of Goods and Services (in billion TL)</i> | <i>Personnel Costs (in billion TL)</i> | <i>Number of Employees</i> | <i>Value Added at Factor Cost per Employee (in TL)</i> |
|-------------------|-------------------------|------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------------|
| Micro             | Total                   | 385,672                      | 631.20                          | 573.80                                  | 110.13                                             | 600.21                                                       | 76.26                                                         | 85.07                                  | 573,969                    | 124,813                                                |
|                   | High                    | 2,620                        | 5.89                            | 5.38                                    | 1.23                                               | 5.45                                                         | 0.71                                                          | 0.83                                   | 4,069                      | 232,112                                                |
|                   | Medium-high             | 41,550                       | 101.00                          | 92.25                                   | 17.10                                              | 95.69                                                        | 11.30                                                         | 11.36                                  | 70,131                     | 179,033                                                |
|                   | Medium-low              | 122,884                      | 221.21                          | 199.79                                  | 38.94                                              | 209.33                                                       | 26.23                                                         | 25.55                                  | 170,642                    | 144,923                                                |
|                   | Low                     | 218,618                      | 303.10                          | 276.38                                  | 52.86                                              | 289.74                                                       | 38.02                                                         | 47.33                                  | 329,127                    | 103,067                                                |
| Small             | Total                   | 57,960                       | 1,887.25                        | 1,681.27                                | 329.19                                             | 1,735.66                                                     | 173.38                                                        | 185.83                                 | 931,510                    | 348,574                                                |
|                   | High                    | 638                          | 21.65                           | 19.16                                   | 6.09                                               | 18.19                                                        | 2.52                                                          | 3.31                                   | 10,708                     | 567,261                                                |
|                   | Medium-high             | 10,224                       | 391.35                          | 353.15                                  | 76.48                                              | 352.92                                                       | 37.44                                                         | 38.96                                  | 161,565                    | 470,325                                                |
|                   | Medium-low              | 17,928                       | 617.89                          | 547.37                                  | 112.94                                             | 557.58                                                       | 51.80                                                         | 59.08                                  | 280,731                    | 397,929                                                |
|                   | Low                     | 29,170                       | 856.35                          | 761.58                                  | 133.68                                             | 806.98                                                       | 81.62                                                         | 84.48                                  | 478,506                    | 274,371                                                |
| Medium            | Total                   | 14,238                       | 2,855.11                        | 2,639.59                                | 627.20                                             | 2,498.91                                                     | 264.74                                                        | 306.51                                 | 1,213,662                  | 516,501                                                |
|                   | High                    | 217                          | 54.08                           | 47.84                                   | 18.06                                              | 42.82                                                        | 6.21                                                          | 7.84                                   | 19,456                     | 927,959                                                |
|                   | Medium-high             | 2,714                        | 622.20                          | 589.71                                  | 159.91                                             | 526.11                                                       | 61.81                                                         | 71.42                                  | 221,207                    | 722,740                                                |
|                   | Medium-low              | 4,248                        | 946.10                          | 875.80                                  | 210.95                                             | 812.72                                                       | 78.81                                                         | 93.36                                  | 342,257                    | 616,095                                                |
|                   | Low                     | 7,059                        | 1,232.72                        | 1,126.24                                | 238.29                                             | 1,117.27                                                     | 117.91                                                        | 133.89                                 | 630,742                    | 377,503                                                |
| SMEs              | Total                   | 457,870                      | 5,373.55                        | 4,894.65                                | 1,066.52                                           | 4,834.78                                                     | 514.38                                                        | 577.41                                 | 2,719,141                  | 350,703                                                |

**Table 2. Basic ratios in the Turkish manufacturing industry by size class and technology level**

| <i>Size Class</i> | <i>Technology Level</i> | <i>Number of Enterprises</i> | <i>Turnover</i> | <i>Production Value</i> | <i>Value Added at Factor Costs</i> | <i>Total Purchases of Goods and Services</i> | <i>Change in Stocks of Goods and Services</i> | <i>Personnel Costs</i> | <i>Number of Employees</i> |
|-------------------|-------------------------|------------------------------|-----------------|-------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------|----------------------------|
| Micro             | Total                   | 84.23%                       | 11.75%          | 11.72%                  | 10.33%                             | 12.41%                                       | 14.83%                                        | 14.73%                 | 21.11%                     |
|                   | High                    | 0.57%                        | 0.11%           | 0.11%                   | 0.12%                              | 0.11%                                        | 0.14%                                         | 0.14%                  | 0.15%                      |
|                   | Medium-high             | 9.07%                        | 1.88%           | 1.88%                   | 1.60%                              | 1.98%                                        | 2.20%                                         | 1.97%                  | 2.58%                      |
|                   | Medium-low              | 26.84%                       | 4.12%           | 4.08%                   | 3.65%                              | 4.33%                                        | 5.10%                                         | 4.43%                  | 6.28%                      |
|                   | Low                     | 47.75%                       | 5.64%           | 5.65%                   | 4.96%                              | 5.99%                                        | 7.39%                                         | 8.20%                  | 12.10%                     |
| Small             | Total                   | 12.66%                       | 35.12%          | 34.35%                  | 30.87%                             | 35.90%                                       | 33.71%                                        | 32.18%                 | 34.26%                     |
|                   | High                    | 0.14%                        | 0.40%           | 0.39%                   | 0.57%                              | 0.38%                                        | 0.49%                                         | 0.57%                  | 0.39%                      |
|                   | Medium-high             | 2.23%                        | 7.28%           | 7.22%                   | 7.17%                              | 7.30%                                        | 7.28%                                         | 6.75%                  | 5.94%                      |
|                   | Medium-low              | 3.92%                        | 11.50%          | 11.18%                  | 10.59%                             | 11.53%                                       | 10.07%                                        | 10.23%                 | 10.32%                     |
|                   | Low                     | 6.37%                        | 15.94%          | 15.56%                  | 12.53%                             | 16.69%                                       | 15.87%                                        | 14.63%                 | 17.60%                     |
| Medium            | Total                   | 3.11%                        | 53.13%          | 53.93%                  | 58.81%                             | 51.69%                                       | 51.47%                                        | 53.08%                 | 44.63%                     |
|                   | High                    | 0.05%                        | 1.01%           | 0.98%                   | 1.69%                              | 0.89%                                        | 1.21%                                         | 1.36%                  | 0.72%                      |
|                   | Medium-high             | 0.59%                        | 11.58%          | 12.05%                  | 14.99%                             | 10.88%                                       | 12.02%                                        | 12.37%                 | 8.14%                      |
|                   | Medium-low              | 0.93%                        | 17.61%          | 17.89%                  | 19.78%                             | 16.81%                                       | 15.32%                                        | 16.17%                 | 12.59%                     |
|                   | Low                     | 1.54%                        | 22.94%          | 23.01%                  | 22.34%                             | 23.11%                                       | 22.92%                                        | 23.19%                 | 23.20%                     |
| SMEs              | Total                   | 100.00%                      | 100.00%         | 100.00%                 | 100.00%                            | 100.00%                                      | 100.00%                                       | 100.00%                | 100.00%                    |

### 2.3. Methodology

In this study, we examine the transitions of firms across different size classes—specifically, from micro to small and from small to medium—while holding the technological category constant. This is achieved using a Monte Carlo approach, which estimates the distribution of these changes based on input parameters, including firm-level heterogeneity and assumed statistical distributions. The goal is to provide a probabilistic understanding of the gains or losses associated with firm transitions.

Our primary data are averages of *value-added per employee* for each size and technology group. These aggregated means serve as the basis for modeling the distribution of individual firm productivity values, given that microdata on individual firms is unavailable. Since we only have aggregate information, we must make assumptions about the underlying distribution of productivity values across firms within each size and technology category.

A common starting point for modeling firm-level productivity gains is to use distributions that capture the inherent skew and non-negativity of productivity changes. Both the log-normal and gamma distributions can be appropriate choices, given that many of the underlying drivers of firm growth (e.g., capital investments, learning-by-doing, network effects) tend to generate right-skewed outcomes (see Krüger (2006) for a discussion of the manufacturing productivity distribution). A log-normal distribution is often favored in economic contexts where the observed variable (in this case, productivity gains) arises from multiplicative processes. If each incremental improvement compounds the last, through factors such as technology adoption, managerial skill, or agglomeration economies, then taking logs and assuming normality in that transformed space can provide a realistic fit. Empirically, firm size and productivity levels are frequently found to be log-normally distributed (Cortés et al., 2021; Ishikawa et al., 2022; Musa et al., 2024), which reflects how multiple random factors multiply together to yield overall performance outcomes. By contrast, the gamma distribution is also suitable for modeling continuous, non-negative, skewed variables (e.g., Cabral and Mata, 2003; Okubo and Tomiura, 2014). It is especially intuitive where the “accumulation” of incremental gains may be viewed in an additive framework over time or across different sources of improvements. For example, if a firm grows by adopting several discrete process innovations—each contributing a certain portion of efficiency gains—then the sum of these additive innovations could follow a gamma process.

Under a log-normal model, we assume that the natural logarithm of the firm-level *value-added per employee*  $X$  is normally distributed, as expressed in Equation 1:

$$\ln(X) \sim N(\mu, \sigma^2) \quad (1)$$

Given the log-normal specification in Equation 1, the expected value of  $X$  is given by Equation 2:

$$\mathbb{E}[X] = e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}} \quad (2)$$

Similarly, based on the log-normal assumption in Equation 1, the variance of  $X$  can be derived as shown in Equation 3:

$$\text{Var}(X) = (e^{\sigma^2} - 1)e^{2\mu + \sigma^2} \quad (3)$$

Using the expressions for the mean and variance from Equations 2 and 3, the coefficient of variation (CV) is defined as shown in Equation 4:

$$CV = \frac{\sqrt{\text{Var}(X)}}{\mathbb{E}[X]} \quad (4)$$

Substituting the expressions for  $\mathbb{E}[X]$  and  $\text{Var}(X)$  from Equations 2 and 3 into the definition of CV in Equation 4, we obtain the following relationship for the log-normal distribution in Equation 5:

$$e^{\sigma^2} = 1 + CV^2 \rightarrow \sigma^2 = \log(1 + CV^2) \quad (5)$$

Given the *observed* mean  $M = \mathbb{E}[X]$  and using the identity from Equation 2 along with the expression for  $\sigma^2$  from Equation 5, we can solve for  $\mu$  as shown in Equation 6:

$$M = e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}} \rightarrow \mu = \log(M) - \frac{\sigma^2}{2} \quad (6)$$

Thus, once we choose a CV, we can determine  $\mu$  and  $\sigma$  entirely from  $M$ .

Alternatively, instead of the log-normal specification in Equation 1, we may assume that the firm-level variable  $X$  follows a gamma distribution with shape  $\alpha$  and scale  $\theta$ , as defined in Equation 7:

$$X \sim \Gamma(\alpha, \theta) \quad (7)$$

Under the gamma distribution specified in Equation 7, the expected value and variance of  $X$  are given by Equations 8 and 9, respectively:

$$\mathbb{E}[X] = \alpha\theta \quad (8)$$

$$\text{Var}(X) = \alpha\theta^2 \quad (9)$$

Using the expressions for the mean and variance from Equations 8 and 9, the squared coefficient of variation for the gamma distribution is given by Equation 10:

$$CV^2 = \frac{\text{Var}(X)}{(\mathbb{E}[X])^2} = \frac{\alpha\theta^2}{(\alpha\theta)^2} = \frac{1}{\alpha} \quad (10)$$

Rearranging Equation 10, we directly solve for the shape parameter  $\alpha$ , as shown in Equation 11:

$$\alpha = \frac{1}{CV^2} \quad (11)$$

Substituting the expression for  $\alpha$  from Equation 11 into the definition of the mean in Equation 8, and using the observed mean  $M = \mathbb{E}[X]$ , we solve for the scale parameter  $\theta$  as shown in Equation 12:

$$M = \alpha\theta \rightarrow \theta = M \cdot CV^2 \quad (12)$$

Thus, given  $M$  and  $CV$ , we find  $\alpha = 1/CV^2$  and  $\theta = M \cdot CV^2$ .

In the absence of microdata, the CV represents an analyst's assumption about firm-level heterogeneity. A low CV (e.g., 0.5) implies that firms are more homogeneous and clustered tightly around the mean production value. A high CV (e.g., 2.0) suggests extreme heterogeneity, with a wide dispersion of firm-level production values. We vary the CV across several scenarios to understand how increasing heterogeneity affects the range of possible outcomes.

Our primary interest lies in estimating the incremental gain in productivity if a firm transitions from one size class to another (e.g., from micro to small). Conceptually, we compare a random draw  $X_{from}$  from the "From" size-class distribution (parameterized by  $\mu$ ,  $\sigma$ , or  $\alpha$ ,  $\theta$ ) to a random draw  $X_{to}$  from the "To" size-class distribution. The increment is defined in Equation 13:

$$\Delta = X_{to} - X_{from} \quad (13)$$

Because we do not have pairwise firm-level data, we approximate this process via a Monte Carlo simulation:

1. For each simulation run  $i = 1, \dots, N_{sim}$ :
  - Draw  $X_{from,i}$  from the distribution defined by  $M_{from}$  and the chosen CV.
  - Draw  $X_{to,i}$  from the distribution defined by  $M_{to}$  and the same CV.
  - Compute the increment  $\Delta_i = X_{to,i} - X_{from,i}$ .
2. After  $N_{sim}$  simulations, we have a large sample  $\{\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_{N_{sim}}\}$ . This empirical distribution of  $\Delta$  allows us to estimate the expected incremental gain (mean  $\bar{\Delta} = \frac{1}{N_{sim}} \sum_{i=1}^{N_{sim}} \Delta_i$ ), the median incremental gain, which is the 50<sup>th</sup> percentile of  $\Delta_i$ , and various percentiles, such as the 5<sup>th</sup>, 25<sup>th</sup>, 75<sup>th</sup>, and 95<sup>th</sup> percentiles, to assess the distribution's spread and the range of plausible outcomes.

Thus, the simulation function calculates the incremental productivity ( $\Delta$ ) between two size classes by first deriving the mean productivity per enterprise in each size class. These means are used to parameterize the chosen statistical distribution based on the specified CV. For log-normal distributions, the parameters are the logarithmic mean and standard deviation, adjusted for variability. For gamma distributions, the shape and scale parameters are derived from the mean and CV. Using these parameters, large random samples of *value-added per employee* are generated for each size class, which simulates the possible range of outcomes. The difference between the simulated production values for the "to" and "from" size classes is then calculated for each simulation, which yields a distribution of  $\Delta$  values.

The simulation is applied iteratively across different CV levels, size transitions, and technology categories. The mean gain reflects the average incremental benefit across many simulations and can be interpreted as the expected outcome if a large number of firms were to move up a size class under these conditions. The median gain represents a "typical" or "central" scenario, which is less sensitive to extreme outliers than the mean. The percentiles (5<sup>th</sup>, 25<sup>th</sup>, 75<sup>th</sup>, 95<sup>th</sup>) illustrate the probability distribution of possible outcomes. For instance, a positive 5<sup>th</sup> percentile implies that even the relatively pessimistic cases are still profitable transitions, while a negative 5<sup>th</sup> percentile suggests that a nontrivial portion of firms might experience no net gain, or even a loss, under the chosen assumptions.

To ensure exact reproducibility, we initialize the random-number generator with a fixed seed before running any simulations, so that every rerun produces the identical sequence of Monte Carlo draws—and hence the same density curves, boxplots, and summary statistics. We then vary the coefficient of variation (CV) across three levels (0.5, 1.0, and 2.0) to represent increasing heterogeneity in value-added per employee: a larger CV produces fatter tails around the  $\Delta = 0$  peak, which reflects more dispersed firm-level productivity. Finally, we ran 100,000 replications for every CV level. This simulation length exceeds the thresholds suggested in Monte-Carlo error studies: Koehler et al. (2009) show that achieving a Monte-Carlo standard error  $\leq 0.05$  for the 97.5<sup>th</sup> percentile of a bootstrap distribution can require “just under 100,000” draws. Because tail percentiles converge far more slowly than central moments, using the same order of magnitude here ensures that the Monte-Carlo standard errors attached to our reported means, medians, and 5<sup>th</sup>–95<sup>th</sup> percentiles of  $\Delta$  are comfortably below 1 % of the point estimates, which provides the stability and precision demanded by policy evaluation.

### 3. RESULTS

The results presented in Table 3 and Table 4 offer a detailed analysis of the incremental gains in value-added per employee during transitions between firm sizes (Micro  $\rightarrow$  Small, Small  $\rightarrow$  Medium) across different technology levels and coefficients of variation. These tables model the assumed distribution of gains using both the log-normal and gamma distributions. Table 3 reveals a pronounced technology gradient in incremental value-added when the simulated shocks follow a log-normal distribution. Under low heterogeneity (CV = 0.5), the average gain for high-technology firms reaches TL 266,395 in the Micro  $\rightarrow$  Small transition and TL 360,537 in the Small  $\rightarrow$  Medium step, whereas their low-technology counterparts realize only TL 118,626 and TL 98,988, respectively. Increasing the coefficient of variation to 2.0 barely changes the average gains recorded by high-technology firms. For the Micro  $\rightarrow$  Small transition, the mean stands at TL 266,395 when CV = 0.5, rises marginally to TL 269,956 at CV = 1.0, and then settles at TL 258,946 at CV = 2.0. A similar stability appears for the Small  $\rightarrow$  Medium step, where the corresponding means are TL 360,537, TL 362,237, and TL 368,982. This near-constancy implies that the thicker right tail of the log-normal distribution largely offsets the growing frequency of adverse shocks as heterogeneity increases.

Measures of central tendency, however, are markedly less resilient. For high-technology firms, the median Micro  $\rightarrow$  Small gain contracts from TL 227,353 at CV = 0.5 to TL 164,592 at CV = 1.0 and plunges to TL 86,443 at CV = 2.0; the median for Small  $\rightarrow$  Medium falls in parallel from TL 307,147 to TL 221,749 and finally to TL 118,692. The widening gap between means and medians, therefore, signals a rising likelihood of zero or negative outcomes as dispersion intensifies. Consistent with this interpretation, the interquartile range for Micro  $\rightarrow$  Small broadens from [TL 62,489; TL 429,237] to [–TL 88,079; TL 403,818], while the 5<sup>th</sup> percentile deteriorates from –TL 174,771 to –TL 779,205 and the 95<sup>th</sup> percentile extends from TL 835,185 to TL 1,794,614. Low-technology firms display the same qualitative pattern from a markedly lower base. Their median Micro  $\rightarrow$  Small gain declines from TL 104,908 to TL 66,680 and TL 3,522 as CV rises, and the lower-tail risk deepens (5<sup>th</sup> percentile from –TL 120,708 to –TL 645,258) even though the mean hovers near TL 118,000. These results indicate that while expected gains are largely insensitive to additional heterogeneity, both the modal outcome and the distribution’s tails become considerably more volatile, an effect that is especially pronounced among firms operating with low technological intensity.

Figure 1 presents kernel-density estimates of the simulated incremental gain ( $\Delta$ , expressed in million TL) for each technology–size transition under successive coefficients of variation. When heterogeneity is low (CV = 0.5), the distributions are sharply peaked around zero and decay rapidly, which signals limited dispersion in value-added improvements. As CV rises to 1.0 and, especially, to 2.0, the curves flatten and widen, which indicates that a much larger share of probability mass migrates to the distributional tails. The expansion is asymmetric: the right tail thickens more than the left, most visibly for high- and medium-high-technology firms, thereby generating the positive skew that drives the mean upward even as the median falls (cf. Table 3). The box-and-jitter plots in Figure 2 reinforce this pattern. For every technology tier, the inter-quartile range broadens monotonically with the coefficient of variation, while whiskers lengthen and the incidence of extreme points escalates when CV = 2. The Small  $\rightarrow$  Medium transition among high-technology firms is illustrative: its inter-quartile span at CV = 2 is an order of magnitude larger than at CV = 0.5, and individual simulations exceed TL 150 million on the upside. Although the magnitude of these effects diminishes with technological intensity, even low-technology panels display a pronounced widening of their central and tail regions. Taken together, the two figures visually corroborate the tabulated results: increasing variability amplifies distributional spread, accentuates positive skewness, and elevates the probability of both large gains and sizable losses, with the phenomenon most acute in technologically advanced segments.

In the gamma specification (Table 4), the pattern of average incremental value-added broadly mirrors that obtained under the log-normal assumption: high-technology establishments still post the largest expected gains. At  $CV = 0.5$ , for example, the mean  $\Delta$  for the Micro  $\rightarrow$  Small transition equals TL 265,360, compared with TL 173,756 for medium-low- and TL 118,626 for low-technology producers. At this low level of heterogeneity, the gamma model places slightly more mass near the center of the distribution: the median gain for high-technology Micro  $\rightarrow$  Small is TL 234,410, which exceeds the log-normal counterpart of TL 227,353. The advantage diminishes quickly as dispersion rises. When the CV is lifted from 0.5 to 1.0, the median Micro  $\rightarrow$  Small gain for high-technology firms drops from TL 234,410 to TL 152,228; a further increase to  $CV = 2.0$  pushes the median down to just TL 10,311. Under the log-normal benchmark, the decline, although sharp, is less severe, with medians falling from TL 227,353 to TL 164,592 and then to TL 86,443. Dispersion also enlarges the spread of outcomes. The inter-quartile range broadens from TL 47,551–452,928 at  $CV = 0.5$  to –TL 127,081–416,200 at  $CV = 2.0$ . Tail behavior shifts in parallel: the 5th percentile slips from –TL 203,656 to –TL 1,203,648, while the 95th percentile climbs from TL 844,001 to TL 2,489,411. These movements show that higher heterogeneity simultaneously increases the likelihood of very large gains and of substantial losses, with the gamma distribution producing particularly pronounced tail risk.

Low-technology firms exhibit the same qualitative dynamics from a markedly lower base. Their median Micro  $\rightarrow$  Small gain diminishes from TL 104,908 at  $CV = 0.5$  to TL 66,680 at  $CV = 1.0$  and collapses to TL 3,522 at  $CV = 2.0$ , while the lower 5<sup>th</sup> percentile deteriorates to –TL 645,258, even though mean gains remain close to TL 118,000. Collectively, these results show that while the gamma and log-normal specifications yield comparable expectations across technology classes, they differ materially in their distributional implications: the gamma model produces a slightly more conservative center when variability is modest, yet it generates fatter tails as dispersion rises, which accentuates both downside and upside risk under high-heterogeneity regimes.

Figure 3 depicts kernel-density estimates for the gamma simulations. When the coefficient of variation is small ( $CV = 0.5$ ), the density functions are sharply peaked and narrowly concentrated around  $\Delta \approx 0$  million TL, which indicates limited dispersion in incremental value-added. As heterogeneity increases to  $CV = 1$  and  $CV = 2$ , the distributions flatten and widen, with mass shifting into both positive and negative tails; nevertheless, the right tail remains modestly thicker, especially for high- and medium-high-technology firms, which echoes the larger means reported in Table 4. Compared with their log-normal counterparts, the gamma curves are visibly tighter at low CV and broaden more gradually. The box-and-jitter plots in Figure 4 corroborate these patterns. At  $CV = 0.5$ , virtually all technology groups exhibit narrow inter-quartile ranges and only a handful of outliers. Raising the CV to 1 enlarges the IQRs and introduces a moderate number of extremes, while  $CV = 2$  produces a pronounced spread and a sizeable cluster of outliers, most conspicuously for the Small  $\rightarrow$  Medium transition among high-technology firms and for both transitions in the medium-high tier. Even so, the vertical range of these outliers is markedly smaller than in the log-normal case. Low-technology panels illustrate the same progression but from a considerably narrower base: at  $CV = 2$ , their IQRs remain modest, and extreme positive realizations rarely exceed 10 million TL, again consistent with the milder tail behavior documented in Table 4.

Taken together, the two figures visually reinforce the tabulated evidence. The gamma specification yields tightly clustered outcomes when firm-level heterogeneity is modest, and although variability rises substantially with CV, the resulting distributions remain more compact than under log-normal shocks. Consequently, the gamma model portrays a less extreme but still widening risk–return profile as production heterogeneity intensifies, particularly in technologically advanced segments.

**Table 3. The incremental gains in value-added per employee for transitions between firm sizes across different technologies and coefficients of variation (in Turkish Lira, assumed distribution of gains: Log-normal distribution)**

| <i>Technology</i> | <i>Transition</i> | <i>Coefficient of Variation</i> | <i>Mean</i> | <i>Median</i> | <i>Q5</i>     | <i>Q25</i>  | <i>Q75</i> | <i>Q95</i>   |
|-------------------|-------------------|---------------------------------|-------------|---------------|---------------|-------------|------------|--------------|
| High              | Micro → Small     | 0.5                             | 266,395.29  | 227,352.63    | -174,771.31   | 62,488.52   | 429,236.95 | 835,185.41   |
| High              | Small → Medium    | 0.5                             | 360,536.95  | 307,147.47    | -413,715.77   | 25,074.37   | 641,752.68 | 1,312,269.56 |
| Medium-high       | Micro → Small     | 0.5                             | 229,949.80  | 197,726.70    | -134,600.61   | 60,687.64   | 363,317.62 | 704,061.52   |
| Medium-high       | Small → Medium    | 0.5                             | 249,588.65  | 213,315.02    | -374,574.06   | -14,367.52  | 473,647.12 | 995,650.99   |
| Medium-low        | Micro → Small     | 0.5                             | 174,104.75  | 148,261.31    | -146,804.70   | 30,810.45   | 290,363.26 | 579,802.94   |
| Medium-low        | Small → Medium    | 0.5                             | 213,793.24  | 181,088.91    | -316,516.93   | -11,837.72  | 405,129.35 | 854,150.78   |
| Low               | Micro → Small     | 0.5                             | 117,398.44  | 100,415.53    | -108,028.89   | 17,931.19   | 199,851.17 | 400,239.39   |
| Low               | Small → Medium    | 0.5                             | 98,624.60   | 83,671.78     | -252,139.48   | -41,399.23  | 223,669.59 | 498,138.65   |
| High              | Micro → Small     | 1                               | 269,956.49  | 164,592.32    | -475,722.25   | -39,926.34  | 468,051.19 | 1,344,411.02 |
| High              | Small → Medium    | 1                               | 362,236.71  | 221,748.53    | -960,531.45   | -133,694.27 | 715,021.27 | 2,135,689.84 |
| Medium-high       | Micro → Small     | 1                               | 231,219.07  | 144,128.16    | -380,102.09   | -24,799.14  | 395,403.42 | 1,113,206.98 |
| Medium-high       | Small → Medium    | 1                               | 254,318.12  | 152,758.51    | -827,204.31   | -135,978.94 | 541,310.72 | 1,662,164.65 |
| Medium-low        | Micro → Small     | 1                               | 174,314.30  | 105,147.66    | -370,778.70   | -42,416.31  | 321,042.76 | 934,071.96   |
| Medium-low        | Small → Medium    | 1                               | 212,559.34  | 131,509.47    | -710,460.78   | -115,344.68 | 458,944.25 | 1,375,810.89 |
| Low               | Micro → Small     | 1                               | 119,651.29  | 74,117.82     | -261,460.70   | -30,982.56  | 223,040.29 | 644,582.16   |
| Low               | Small → Medium    | 1                               | 95,101.53   | 56,777.95     | -526,542.80   | -107,476.99 | 256,818.52 | 834,024.09   |
| High              | Micro → Small     | 2                               | 258,945.66  | 86,443.01     | -779,204.53   | -88,078.53  | 403,818.17 | 1,794,613.64 |
| High              | Small → Medium    | 2                               | 368,981.74  | 118,691.74    | -1,515,295.61 | -192,800.14 | 640,123.41 | 2,952,756.34 |
| Medium-high       | Micro → Small     | 2                               | 230,519.62  | 77,350.38     | -615,878.13   | -65,785.03  | 349,027.36 | 1,538,347.22 |
| Medium-high       | Small → Medium    | 2                               | 244,727.27  | 79,117.18     | -1,305,769.66 | -179,736.94 | 485,939.94 | 2,255,536.30 |
| Medium-low        | Micro → Small     | 2                               | 173,138.66  | 56,828.11     | -594,129.52   | -71,572.16  | 280,867.59 | 1,270,003.17 |
| Medium-low        | Small → Medium    | 2                               | 214,100.22  | 66,961.59     | -1,087,815.69 | -150,626.66 | 406,437.45 | 1,938,510.05 |
| Low               | Micro → Small     | 2                               | 117,308.56  | 38,654.34     | -427,949.59   | -50,654.98  | 194,422.87 | 899,718.49   |
| Low               | Small → Medium    | 2                               | 96,395.21   | 30,237.75     | -783,732.67   | -121,254.13 | 238,879.52 | 1,162,572.34 |

**Table 4. The incremental gains in value-added per employee for transitions between firm sizes across different technologies and coefficients of variation (in Turkish Lira, Assumed distribution of gains: Gamma distribution)**

| <i>Technology</i> | <i>Transition</i> | <i>Coefficient of Variation</i> | <i>Mean</i> | <i>Median</i> | <i>Q5</i>     | <i>Q25</i>  | <i>Q75</i> | <i>Q95</i>   |
|-------------------|-------------------|---------------------------------|-------------|---------------|---------------|-------------|------------|--------------|
| High              | Micro → Small     | 0.5                             | 265,359.91  | 234,410.28    | -203,656.46   | 47,551.15   | 452,928.24 | 844,000.56   |
| High              | Small → Medium    | 0.5                             | 360,076.10  | 315,338.35    | -455,203.15   | -2,748.07   | 678,442.93 | 1,322,653.33 |
| Medium-high       | Micro → Small     | 0.5                             | 231,583.90  | 205,521.79    | -155,666.07   | 49,335.51   | 386,064.86 | 708,560.51   |
| Medium-high       | Small → Medium    | 0.5                             | 249,809.17  | 219,113.79    | -401,872.43   | -33,533.75  | 504,238.72 | 1,001,871.82 |
| Medium-low        | Micro → Small     | 0.5                             | 173,755.61  | 153,736.64    | -167,273.29   | 19,425.13   | 308,076.57 | 581,889.05   |
| Medium-low        | Small → Medium    | 0.5                             | 213,274.35  | 189,091.60    | -346,590.49   | -26,767.56  | 431,265.55 | 849,046.12   |
| Low               | Micro → Small     | 0.5                             | 118,626.28  | 104,907.68    | -120,708.08   | 10,061.57   | 213,109.40 | 403,756.92   |
| Low               | Small → Medium    | 0.5                             | 98,988.38   | 87,866.52     | -264,218.41   | -52,661.48  | 239,184.53 | 500,560.02   |
| High              | Micro → Small     | 1                               | 266,879.21  | 152,227.57    | -588,757.41   | -97,453.78  | 548,039.71 | 1,462,321.96 |
| High              | Small → Medium    | 1                               | 358,063.04  | 196,879.44    | -1,151,292.85 | -237,880.74 | 836,371.24 | 2,334,172.48 |
| Medium-high       | Micro → Small     | 1                               | 230,375.52  | 131,891.74    | -465,076.30   | -75,108.23  | 460,789.42 | 1,224,601.23 |
| Medium-high       | Small → Medium    | 1                               | 249,708.18  | 136,942.30    | -982,056.32   | -217,527.86 | 640,454.53 | 1,805,153.92 |
| Medium-low        | Micro → Small     | 1                               | 176,684.53  | 100,057.99    | -446,592.07   | -81,953.46  | 377,230.08 | 1,031,990.56 |
| Medium-low        | Small → Medium    | 1                               | 215,882.04  | 117,447.20    | -828,785.54   | -180,498.36 | 543,672.02 | 1,538,786.35 |
| Low               | Micro → Small     | 1                               | 119,102.43  | 66,679.97     | -318,884.55   | -61,346.56  | 260,925.50 | 708,740.06   |
| Low               | Small → Medium    | 1                               | 98,590.49   | 52,094.75     | -596,568.81   | -149,390.94 | 313,721.29 | 928,346.96   |
| High              | Micro → Small     | 2                               | 263,013.46  | 10,311.45     | -1,203,648.22 | -127,081.33 | 416,199.92 | 2,489,410.60 |
| High              | Small → Medium    | 2                               | 354,362.82  | 10,685.04     | -2,294,753.62 | -260,506.33 | 638,744.61 | 4,069,641.14 |
| Medium-high       | Micro → Small     | 2                               | 233,707.01  | 9,435.65      | -968,612.82   | -97,939.14  | 351,901.92 | 2,128,514.01 |
| Medium-high       | Small → Medium    | 2                               | 247,750.01  | 6,195.72      | -1,940,926.55 | -227,684.02 | 494,445.77 | 3,261,353.96 |
| Medium-low        | Micro → Small     | 2                               | 174,765.04  | 5,712.54      | -906,261.08   | -100,639.48 | 288,789.56 | 1,778,496.30 |
| Medium-low        | Small → Medium    | 2                               | 202,457.35  | 4,641.81      | -1,651,304.43 | -198,223.22 | 413,229.45 | 2,626,203.18 |
| Low               | Micro → Small     | 2                               | 113,856.33  | 3,522.03      | -645,257.52   | -71,781.68  | 193,162.48 | 1,222,810.62 |
| Low               | Small → Medium    | 2                               | 93,339.36   | 1,724.19      | -1,155,426.13 | -144,767.86 | 246,103.26 | 1,627,323.17 |

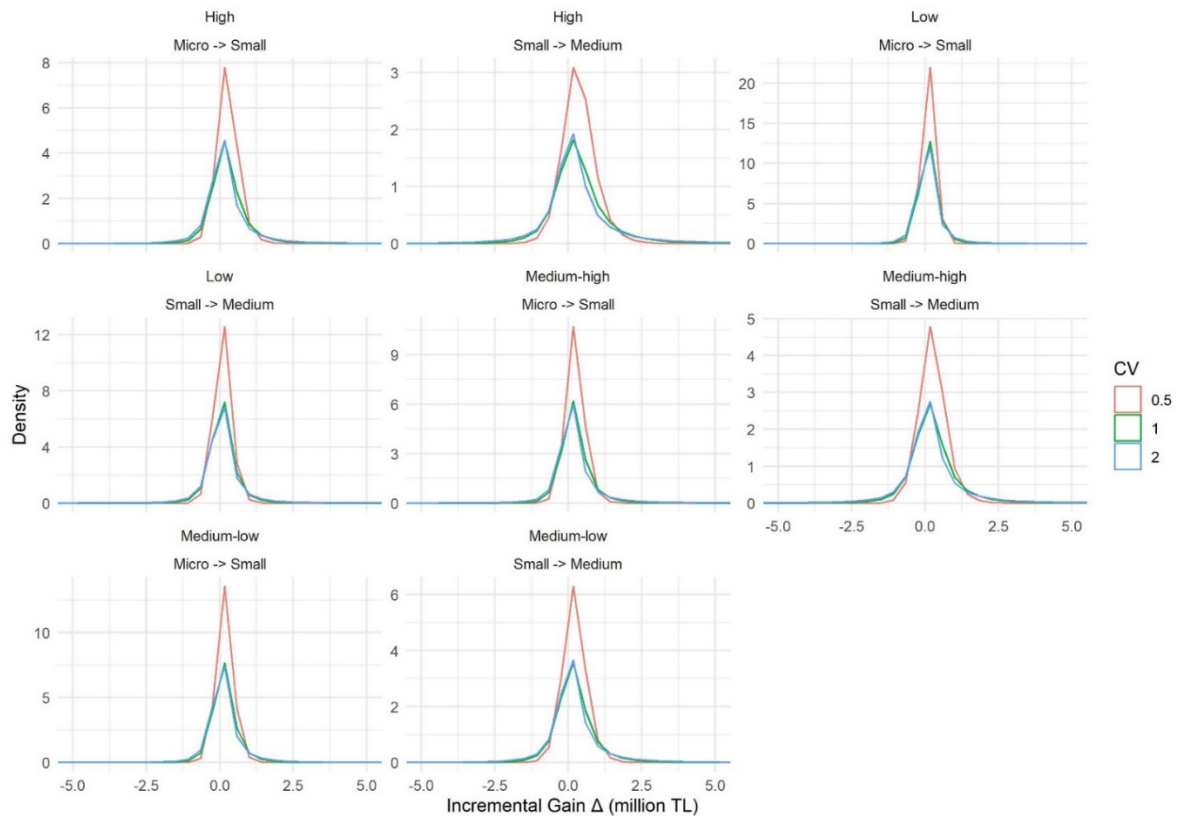


**Figure 1. Density plot of incremental gains in value-added per employee from transitions between firm sizes across different technologies and coefficients of variation (Assumed distribution of gains: Log-normal)**

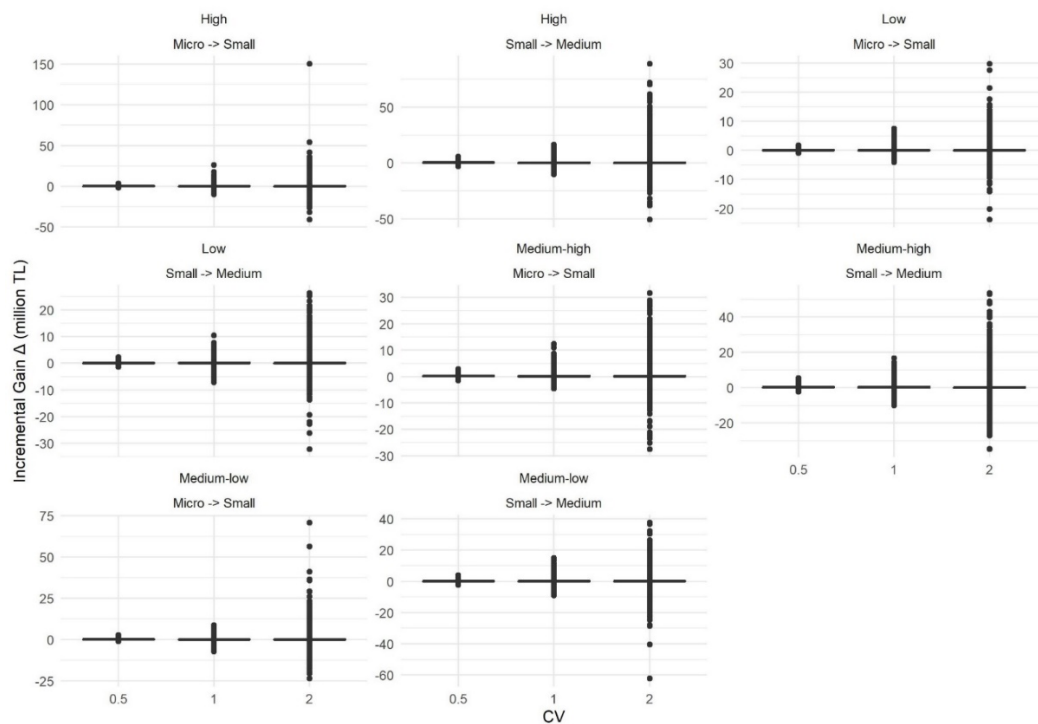


**Figure 2. Boxplot of incremental gains in value-added per employee from transitions between firm sizes across different technologies and coefficients of variation (Assumed distribution of gains: Log-normal)**

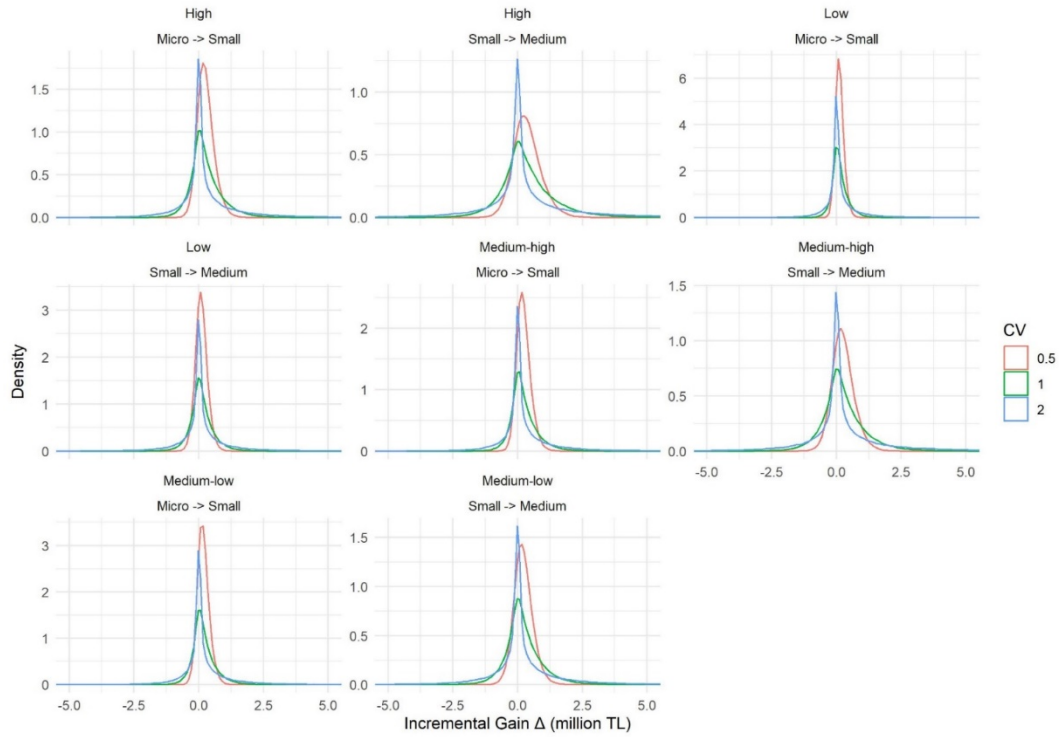


**Figure 3. Density plot of incremental gains in value-added per employee from transitions between firm sizes across different technologies and coefficients of variation (Assumed distribution of gains: Gamma)**

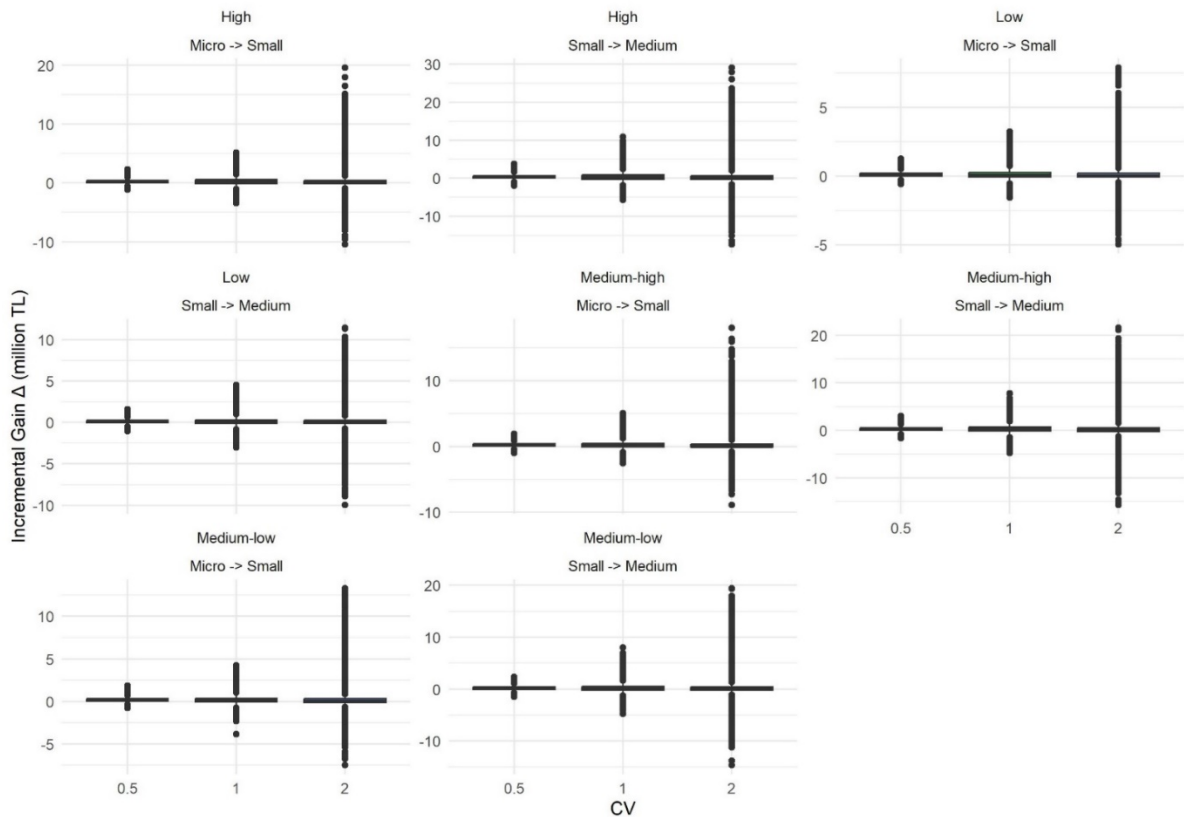


**Figure 4. Boxplot of incremental gains in value-added per employee from transitions between firm sizes across different technologies and coefficients of variation (Assumed distribution of gains: Gamma)**

#### 4. DISCUSSION and POLICY IMPLICATIONS

The simulation evidence confirms that productivity gains from growth are strongly stratified by technological intensity. Under modest heterogeneity ( $CV = 0.5$ ), high-technology firms realize mean incremental value-added on the order of TL 260–360 thousand when moving from Micro  $\rightarrow$  Small or Small  $\rightarrow$  Medium, whereas low-technology firms capture barely TL 100 thousand. These gaps reflect the broader pattern that high-knowledge SMEs systematically outperform low-tech peers once scale expands (Raes, 2021). Median gains follow the same ranking but fall much more steeply as dispersion rises: at  $CV = 2$ , the typical increase for a high-technology Micro  $\rightarrow$  Small transition collapses to roughly TL 10 thousand, and the lower quintile turns decisively negative. Low-technology enterprises experience an even sharper erosion, with fifth-percentile outcomes approaching –TL 650 thousand. These results indicate a central dilemma: although average returns to scaling remain positive, the probability of adverse outcomes escalates rapidly with heterogeneity, particularly in technologically less-advanced segments.

When heterogeneity is limited, broad-based or blanket incentives can be justified. For example, at  $CV = 0.5$ , the entire inter-quartile range for high-technology Micro  $\rightarrow$  Small upgrades lies above zero; a modest, untargeted subsidy is therefore unlikely to fund outright failures. By contrast, once  $CV$  reaches unity, the left tail of several transitions—most notably Small  $\rightarrow$  Medium among medium-high technology firms—extends deeply into negative territory. Recent OECD guidance stresses that such contexts call for conditional, milestone-based instruments rather than flat-rate grants (OECD, 2025: 8-12). In such settings, policy should shift from uniform to conditional instruments: performance-contingent grants tied to R&D or workforce-development milestones, credit guarantees that phase out if pre-specified productivity thresholds are missed, or tiered co-financing that increases with demonstrated learning effects.

For low-technology enterprises, the simulations suggest that scaling alone delivers limited and volatile pay-offs. International evidence now shows that digital capability, lean-process adoption, and knowledge-network participation must precede scaling if growth incentives are to be cost-effective (Sagala and Öri, 2024). The ECB's 2024 survey on digitalization and productivity similarly finds that productivity gains materialize only after complementary organizational changes, with laggard SMEs showing no uplift until digital skills are embedded firm-wide (ECB, 2024). The policy priority for this cohort should therefore be capability enhancement, such as adoption of digital tools, lean-production methods, or participation in cluster-based knowledge networks, before subsidizing physical expansion. Such sequencing raises the median gain and compresses the downside risk, which makes subsequent growth incentives more cost-effective. This strategy is consistent with recent findings that technology adoption disproportionately disadvantages low-skill workers, which indicates the critical role of upskilling and reskilling initiatives to bolster the productivity of less-advanced firms (Hötte et al., 2023).

The results for  $CV = 2$  reveal how sensitive risk assessments are to the statistical model chosen for the shocks. When incremental gains are drawn from a log-normal distribution, the simulated density has a very “fat” right tail. This statistical shape means that, although most firms achieve moderate outcomes, a non-trivial fraction realizes exceptionally large productivity gains. In policy terms, a support scheme evaluated under log-normal shocks will appear to create many “big winners.” By contrast, using a gamma distribution produces a narrower central hump and thinner tails. Extreme gains or losses still occur, but they are both less frequent and less extreme, while most firms remain clustered near the median outcome. Thus, simply switching distributional assumptions can change the apparent balance between upside potential and downside risk.

Because program performance looks better or worse depending on these assumptions, policymakers should stress-test any proposed scheme with multiple stochastic specifications rather than rely on a single “best-guess” distribution. Evaluation reports should present not only expected net benefits but also percentile-based risk metrics, such as the 5<sup>th</sup>, 25<sup>th</sup>, 75<sup>th</sup>, and 95<sup>th</sup> percentiles, to show how many firms may fail to benefit or may achieve outsized gains under each scenario. After a policy is launched, its real-world outcomes should be continuously monitored and broken down by technology tier, size transition, and the distribution originally assumed. Such disaggregated tracking allows officials to detect whether observed volatility exceeds the tolerance built into the design and to adjust subsidy rates, eligibility rules, or complementary capability-building measures before fiscal exposure grows too large.

The findings reinforce the OECD's call for “tailored” entrepreneurship and SME policies that recognize the diversity of firm trajectories. Blanket subsidies risk misallocation (Shane, 2009; Schoar, 2010), whereas segmentation by technological intensity and growth path, consistent with recent typologies proposed by Raes (2021), enables a more efficient match between instruments and needs. High-tech, high-growth ventures may warrant milestone-linked R&D support, while smaller, process-oriented firms may benefit more from workforce-upskilling vouchers or advisory services. Contemporary evidence on R&D persistence

underscores why financially healthier SMEs sustain innovation longer; firms with robust balance sheets exhibit significantly higher R&D survival rates, which validates the need for finance-contingent instruments (Chirita et al., 2025).

In sum, the simulations recommend a graduated support architecture. Where lower-tail outcomes remain negative even under conservative shock assumptions, subsidies should be paired with—if not preceded by—capability-building interventions. Conversely, transitions whose entire inter-quartile range remains positive (e.g., high-technology Micro → Small at  $CV \leq 1$ ) lend themselves to modest, broad-based incentives. By conditioning assistance on both the technology level and heterogeneity, policymakers can maximize aggregate productivity gains while containing fiscal and economic risk.

## 5. CONCLUSION

The present simulations indicate the centrality of technological intensity and size upgrading in determining the value-added gains realized by Turkish manufacturing SMEs. Across all stochastic scenarios, high-technology firms display the greatest scope for productivity improvements, whereas low-technology enterprises generate smaller and markedly more volatile returns, especially when heterogeneity rises. Scale effects are likewise salient: transitions from Small → Medium systematically yield larger expected gains—and wider risk envelopes—than moves from Micro → Small, which confirms that the productivity benefits of expansion accelerate with firm size. These patterns call for differentiated policy instruments that match firms' technological capabilities and risk profiles, which range from performance-contingent subsidies for high-tech upgraders to capability-building or cluster-based programs for low-tech producers whose downside risk remains pronounced.

Several caveats temper these conclusions. First, the analysis relies on aggregated size-class data; the attendant averaging may conceal important micro-level heterogeneity in managerial quality, market power, or supply-chain embeddedness. Second, although the juxtaposition of log-normal and gamma shocks provides a useful robustness check, both distributions are stylized proxies; richer firm-level panels would permit estimation of empirical shock processes and, by extension, more finely tuned policy stress tests.

Even so, the findings speak to practical debates. They strengthen the case for evidence-based industrial policies that segment the SME population by technology tier and growth trajectory rather than adopting one-size-fits-all interventions.

## Conflict of Interest

No potential conflict of interest was declared by the author(s).

## 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 author(s) 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

- Akcigit, U., Akgunduz, Y.E., Cilasun, S.M., Ozcan-Tok, E. and Yilmaz, F. (2020). "Facts on Business Dynamism in Turkey", *European Economic Review*, 128, 103490. <https://doi.org/10.1016/j.euroecorev.2020.103490>
- Arbelo, A., Arbelo-Pérez, M., and Pérez-Gómez, P. (2022). "Are SMEs Less Efficient? A Bayesian Approach to Addressing Heterogeneity Across Firms", *Small Business Economics*, 58(4), 1915-1929. <https://doi.org/10.1007/s11187-021-00489-2>
- Beck, T. and Demircuc-Kunt, A. (2006). "Small and Medium-Size Enterprises: Access to Finance as a Growth Constraint", *Journal of Banking & Finance*, 30(11), 2931-2943. <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2006.05.009>
- Cabral, L.M.B. and Mata, J. (2003). "On the Evolution of the Firm Size Distribution: Facts and Theory", *American Economic Review*, 93(4), 1075-1090. <https://doi.org/10.1257/000282803769206205>
- Chirita, B.M., Mánuez Castillejo, J.A., and Vicente-Chirivella, Ó. (2025). "Perform, Start, Continue R&D Activities: Do Financial Constraints Matter?", *Eurasian Business Review*, 15, 1-43. <https://doi.org/10.1007/s40821-024-00284-5>
- Coase, R. (1937). "The Nature of the Firm," *Economica*, 16(4), 386-405.
- Cortés, L.M., Lozada, J.M. and Perote, J. (2021). "Firm Size and Economic Concentration: An Analysis from A Log-Normal Expansion", *Plos One*, 16(7), e0254487. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254487>
- Coviello, N., Autio, E., Nambisan, S., Patzelt, H., and Thomas, L.D. (2024). "Organizational Scaling, Scalability, and Scale-Up: Definitional Harmonization and a Research Agenda", *Journal of Business Venturing*, 39(5), 106419. <https://doi.org/10.1016/j.jbusvent.2024.106419>
- Covin, J.G. and Slevin, D.P. (1989). "Strategic Management of Small Firms in Hostile and Benign Environments", *Strategic Management Journal*, 10(1), 75-87. <https://doi.org/10.1002/smj.4250100107>
- Cravo, T. A., Gourlay, A. and Becker, B. (2012). "SMEs and Regional Economic Growth in Brazil", *Small Business Economics*, 38, 217-230. <https://doi.org/10.1007/s11187-010-9261-z>
- Díaz, M.A. and Sánchez, R. (2007). "Firm Size and Productivity in Spain: A Stochastic Frontier Analysis," *Small Business Economics*, 30(3), 315-323. <https://doi.org/10.1007/s11187-007-9058-x>
- ECB (2024). "Digitalisation and Productivity", ECB Occasional Paper Series, No. 339.
- Elhusseiny, H.M. and Crispim, J. (2022). "SMEs, Barriers and Opportunities on Adopting Industry 4.0: A Review", *Procedia Computer Science*, 196, 864-871. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.12.086>
- Gherghina, Ş.C., Botezatu, M.A., Hosszu, A. and Simionescu, L.N. (2020). "Small and Medium-Sized Enterprises (SMEs): The Engine of Economic Growth Through Investments and Innovation", *Sustainability*, 12(1), 347. <https://doi.org/10.3390/su12010347>
- Hallberg, K. (2000). *A Market-Oriented Strategy for Small and Medium Scale Enterprises* (Vol. 63). World Bank Publications.
- Hodgson, G. M., Herman, S., and Dollimore, D.E. (2017). "Adaptability and Survival in Small- and Medium-Sized Firms", *Industrial and Corporate Change*, dtx039, <https://doi.org/10.1093/icc/dtx039>
- Hötte, K., Somers, M. and Theodorakopoulos, A. (2023). "Technology and Jobs: A Systematic Literature Review," *Technological Forecasting and Social Change*, 194, 122750. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122750>
- Ishikawa, A., Fujimoto, S. and Mizuno, T. (2022). "Statistical Properties of Labor Productivity Distributions", *Frontiers in Physics*, 10, 848193. <https://doi.org/10.3389/fphy.2022.848193>
- Klewitz, J., and Hansen, E.G. (2014). "Sustainability-Oriented Innovation of SMEs: A Systematic Review", *Journal of Cleaner Production*, 65, 57-75. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.07.017>
- Koehler, E., Brown, E. and Haneuse, S.J.P.A. (2009). "On the Assessment of Monte Carlo Error in Simulation-Based Statistical Analyses", *The American Statistician*, 63(2), 155-162. <https://doi.org/10.1198/tast.2009.0030>
- Krüger, J.J. (2006). "Using the Manufacturing Productivity Distribution to Evaluate Growth Theories", *Structural Change and Economic Dynamics*, 17(2), 248-258. <https://doi.org/10.1016/j.strueco.2005.12.002>
- Kumar, K.B., Rajan, R.G., and Zingales, L. (1999). "What Determines Firm Size?" *NBER Working Paper No. 7208*. National Bureau of Economic Research. <https://doi.org/10.3386/w7208>
- Lee, K.S., Lim, G.H. and Tan, S.J. (1999). "Dealing with Resource Disadvantage: Generic Strategies for SMEs", *Small Business Economics*, 12, 299-311. <https://doi.org/10.1023/A:1008085310245>
- Lehner, F. and Sundby, M.W. (2018). "ICT Skills and Competencies for SMEs: Results from a Structured Literature Analysis on the Individual Level", (Editor: C. Harteis), *The Impact of Digitalization in the Workplace* (Vol. 21, pp. 55-74). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-63257-5\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-63257-5_5)

- Lundvall, K. and Battese, G.E. (2000). "Firm Size, Age and Efficiency: Evidence from Kenyan Manufacturing Firms", *Journal of Development Studies*, 36(3), 146-163. <https://doi.org/10.1080/00220380008422632>
- Mason, C., and Brown, R. (2013). "Creating Good Public Policy to Support High-Growth Firms", *Small Business Economics*, 40, 211-225. <https://doi.org/10.1007/s11187-011-9369-9>
- Medrano-Adan, L., Salas-Fumás, V. and Sánchez-Asín, J.J. (2018). "Firm Size and Productivity from Occupational Choices", *Small Business Economics*, 53(1), 243-267. <https://doi.org/10.1007/s11187-018-0048-y>
- Musa, H., Krištofik, P., Medzihorský, J. and Klieštík, T. (2024). "The Development of Firm Size Distribution—Evidence from Four Central European Countries", *International Review of Economics & Finance*, 91, 98-110. <https://doi.org/10.1016/j.iref.2023.12.003>
- O'Regan, N., Ghobadian, A. and Galleary, D. (2006). "In Search of the Drivers of High Growth in Manufacturing SMEs", *Technovation*, 26(1), 30-41. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2005.05.004>
- OECD. (2019). "OECD SME and Entrepreneurship Outlook 2019", OECD Publishing, Paris. <https://doi.org/10.1787/34907e9c-en>
- OECD. (2021). "Understanding Firm Growth: Helping SMEs Scale Up, OECD Studies on SMEs and Entrepreneurship", OECD Publishing, Paris. <https://doi.org/10.1787/fc60b04c-en>
- OECD. (2025). "Better Regulation for the Green Transition Stress-Testing Toolkit", OECD Public Governance Policy Papers, OECD Publishing, Paris.
- Okubo, T. and Tomiura, E. (2014). "Skew Productivity Distributions and Agglomeration: Evidence from Plant-Level Data", *Regional Studies*, 48(9), 1514-1528. <https://doi.org/10.1080/00343404.2012.753143>
- Özbuğday, F.C. (2024). "SMEs as Victims of Competition Violations in the EU: An Empirical Investigation", *Journal of Business Economics and Management*, 25(6), 1161-1183. <https://doi.org/10.3846/jbem.2024.22726>
- Palmié, M., Parida, V., Mader, A., and Wincent, J. (2023). "Clarifying the Scaling Concept: A Review, Definition, and Measure of Scaling Performance and an Elaborate Agenda for Future Research", *Journal of Business Research*, 158, 113630. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.113630>
- Presidency of Strategy and Budget. (2020). The Eleventh Development Plan (2019-2023). [https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/07/Eleventh\\_Development\\_Plan\\_2019-2023.pdf](https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/07/Eleventh_Development_Plan_2019-2023.pdf) (Accessed: 10.09.2024)
- Presidency of Strategy and Budget. (2023). The Twelfth Development Plan (2024-2028). [https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2024/06/Twelfth-Development-Plan\\_2024-2028.pdf](https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2024/06/Twelfth-Development-Plan_2024-2028.pdf) (Accessed: 10.09.2024)
- Raes, S. (2021). "Understanding SME Heterogeneity: Towards Policy Relevant Typologies for SMEs and Entrepreneurship: An OECD Strategy for SMEs and Entrepreneurship", OECD. [https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2021/10/understanding-sme-heterogeneity\\_785f937d/c7074049-en.pdf](https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2021/10/understanding-sme-heterogeneity_785f937d/c7074049-en.pdf) (Accessed: 10.07.2024)
- Sagala, G.H. and Öri, D. (2024). "Toward SMEs Digital Transformation Success: A Systematic Literature Review", *Information Systems and e-Business Management*, 22(4), 667-719. <https://doi.org/10.1007/s10257-024-00682-2>
- Saunila, M. (2020). "Innovation Capability in SMEs: A Systematic Review of the Literature", *Journal of Innovation & Knowledge*, 5(4), 260-265. <https://doi.org/10.1016/j.jik.2019.11.002>
- Schoar, A. (2010). "The Divide Between Subsistence and Transformational Entrepreneurship", *Innovation Policy and the Economy*, 10, 57-81. <https://doi.org/10.1086/605853>
- Shane, S. (2009). "Why Encouraging More People to Become Entrepreneurs Is Bad Public Policy", *Small Business Economics*, 33(2), 141-149. <https://doi.org/10.1007/s11187-009-9215-5>
- Smallbone, D., Piasecki, B., Venesaar, U., Todorov, K. and Labrianidis, L. (1998). "Internationalisation and SME Development in Transition Economies: An International Comparison", *Journal of Small Business and Enterprise Development*, 5(4), 363-375. <https://doi.org/10.1108/eum000000006800>
- State Planning Organization. (1995). "The Seventh Five-Year Development Plan (1996-2000)", [https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/07/Seventh\\_Five\\_Year\\_Development\\_Plan\\_1996-2000.pdf](https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/07/Seventh_Five_Year_Development_Plan_1996-2000.pdf) (Accessed: 10.09.2024)
- State Planning Organization. (2001). "Long-Term Strategy and the Eighth Five-Year Development Plan (2001-2005)", [https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/07/Long-Term\\_Strategy\\_and\\_Eight\\_Five\\_Year\\_Development\\_Plan\\_2001-2005.pdf](https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/07/Long-Term_Strategy_and_Eight_Five_Year_Development_Plan_2001-2005.pdf) (Accessed: 10.09.2024)
- State Planning Organization. (2006). "The Ninth Five-Year Development Plan (2007-2013)", [https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2018/11/Ninth\\_Development\\_Plan\\_2007-2013.pdf](https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2018/11/Ninth_Development_Plan_2007-2013.pdf) (Accessed: 10.09.2024)
- State Planning Organization. (2014). "The Tenth Five-Year Development Plan (2014-2018)", [https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/07/The\\_Tenth\\_Development\\_Plan\\_2014-2018.pdf](https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/07/The_Tenth_Development_Plan_2014-2018.pdf) (Accessed: 10.09.2024)

- Surya, B., Menne, F., Sabhan, H., Suriani, S., Abubakar, H. and Idris, M. (2021). "Economic Growth, Increasing Productivity of SMEs, and Open Innovation", *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 7(1), 20. <https://doi.org/10.3390/joitmc7010020>
- Taymaz, E. (2005). "Are Small Firms Really Less Productive?", *Small Business Economics*, 25(5), 429-445. <https://doi.org/10.1007/s11187-004-6492-x>
- TurkStat. (2024). "Small and Medium Enterprise Statistics, 2023", <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Kucuk-ve-Orta-Buyuklukteki-Girisim-Istatistikleri-2023-53543&dil=1> (Accessed: 13.08.2024)
- Yang, C.H. and Chen, K.H. (2009). "Are Small Firms Less Efficient?", *Small Business Economics*, 32, 375-395. <https://doi.org/10.1007/s11187-007-9082-x>



## Demiryolu Makinistlerinin Zihinsel İş Yükünün Bulanık TOPSIS ve Bulanık COPRAS Teknikleriyle Analizi

Meryem Koçer<sup>1</sup> , Ömer Faruk Efe<sup>1</sup> 

### ÖZET

**Amaç:** Bu çalışmada, demiryollarında görev yapan makinistlerin zihinsel iş yükü analiz edilmiştir. Araştırmanın temel amacı, makinistlerin zihinsel iş yükünü etkileyen faktörleri belirleyerek, sürdürülebilir ve verimli bir çalışma ortamı oluşturulmasına katkı sağlamaktır.

**Yöntem:** Veri toplama aracı olarak NASA-TLX yönteminden faydalanılmış. Bu yöntemle dayalı oluşturulan anket formu, makinistlere uygulanmıştır. Çok fazla sayıda karar verici bulunması ve değerlendirmelerin, bulanık ifadeler ile yapılması nedeniyle analiz sürecinde ÇKKV (Çok Kriterli Karar Verme) yöntemi olan Bulanık TOPSIS ve Bulanık COPRAS yöntemleri kullanılmıştır.

**Bulgular:** Deneyim süresine göre oluşturulan 6-10 yıl, 11-15, 16-20 ve 21 yıl ve üzeri) çalışan gruplarında her iki karar verme yöntemine göre en yüksek zihinsel iş yükünün, İş4 (Tren seyri esnasında meydana gelen arıza ve acil durumlarla ilgili işleri yürütmek, basit arızaları gidermek vb.) görevinde yaşandığı tespit edilmiştir. Yük, Marmaray, YHT Metro birimlerinde çalışan gruplar ayrı ayrı ele alındığında, zihinsel iş yüküne sebep olan alternatifler alanlarına bakıldığında İş4'ün her üç grup açısından zihinsel iş yükünün ilk sırada olduğu görülmüştür.

**Özgünlük:** Bu çalışma, NASA-TLX, Bulanık TOPSIS ve Bulanık COPRAS yöntemlerini entegre ederek, demiryollarında çalışan makinistlerin zihinsel iş yükünü analiz eden özgün bir metodolojik yaklaşım sunmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Zihinsel İş Yükü, Bulanık Mantık, Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri, NASA-TLX.

## Mental Workload Analysis of Railway Drivers Through Fuzzy TOPSIS and Fuzzy COPRAS Methods

### ABSTRACT

**Purpose:** This study analyzes the mental workload of train drivers working in the railway sector. The primary objective is to identify the factors affecting their mental workload and to contribute to the creation of a sustainable and efficient working environment.

**Methodology:** The NASA-TLX method was employed as a data collection tool, and the survey questionnaire was administered to train drivers. Due to the presence of multiple decision-makers and the use of imprecise (fuzzy) expressions in evaluations, MCDM (Multi Criteria Decision Making) techniques specifically Fuzzy TOPSIS and Fuzzy COPRAS were employed for data analysis.

**Findings:** In the experience-based groups (6-10 years, 11-15 years, 16-20 years and over 21 years) both decision-making methods indicated that the task labeled as Job4 (such as managing tasks related to malfunctions and emergencies occurring during train operation, resolving minor faults, etc.) was perceived as the most mentally demanding. Similarly, when the groups working in Marmaray, freight and the other operational units were evaluated separately, Job4 consistently ranked first in terms of mental workload across all the groups.

**Originality:** This study presents an original methodological approach for analyzing the mental workload of train drivers in railway sector by combining the NASA-TLX, Fuzzy TOPSIS, and Fuzzy COPRAS methods.

**Keywords:** Mental Workload, Fuzzy Logic, Multi-Criteria Decision Making Techniques, NASA-TLX.

<sup>1</sup> Bursa Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa, Türkiye

Sorumlu Yazar-Corresponding Author: Meryem Koçer, kcmeryem@gmail.com

DOI: 10.51551/verimlilik.1533137

Araştırma Makalesi / Research Article | Geliş / Submitted: 14.08.2024 | Kabul / Accepted: 28.05.2025

Atıf/Cite: Koçer, M. ve Efe, Ö.F. (2025). "Demiryolu Makinistlerinin Zihinsel İş Yükünün Bulanık TOPSIS ve Bulanık COPRAS Teknikleriyle Analizi", *Verimlilik Dergisi*, 59(3), 609-624.

**EXTENDED ABSTRACT**

Rapid changes and innovations are taking place worldwide. In order for companies to survive, it is not only sufficient to invest in technology, but also applications for employees to work with high productivity should be addressed. Factors affecting productivity increase include the physical condition of the working environment, ergonomics of conditions, organizational ergonomics and job satisfaction.

The aim of ergonomics is to organise and implement the work by taking into account human abilities, physical and psychological conditions. Competition between companies is always felt, but the most important factor that can turn this situation into an advantage is human resources. It will be observed that the productivity and job satisfaction of motivated employees increase with appropriate ergonomic conditions. The research is designed to contribute to the literature on analysing the workloads of railway sector employees by using Fuzzy TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), Fuzzy COPRAS (Complex Proportional Assessment) and NASA-TLX (The NASA Task Load Index).

Workload, which is defined as the volume of work that the employee must perform in a certain period of time in a quality manner, the level of difficulty of the work and the working skills of the employee reveal the perception of workload. In this study, it is aimed to examine the workload felt by the machinist personnel working in the railways in terms of various factors. The sample group of the study consists of surveys conducted with 210 machinist personnel working in the railway sector. NASA-TLX method was utilised for data collection in the study, and the questionnaire created with this method was adapted and used for mechanic employees. Since there were a large number of decision makers in the study and the evaluation was made with fuzzy expressions, Fuzzy TOPSIS and Fuzzy COPRAS, which are MCDM (MultiCriteria Decision Making) techniques, were used in the analysis of the data in order to obtain a common result. The criteria accepted in NASA-TLX management were selected from the criteria applied in many studies in different sectors. While analysing the results, firstly, the answers given by all participants were examined, then the data were separated according to experience and business unit level and analysed, compared and interpreted with two different MCDM methods and recommendations were given. As a result of the research, as a result of analysing the answers given by all participants and the answers given after grouping the employees according to their experience and business units with both Fuzzy TOPSIS and Fuzzy COPRAS methods, it was seen that the work area with the highest cognitive load was Job4.

## 1. GİRİŞ

Dünya çapında hızlı değişim ve yenilikler yaşanmaktadır. Şirketlerin varlığını sürdürebilmesi için sadece teknolojiye yatırım yapılması yeterli olmamakla birlikte aynı zamanda çalışanların sürekli yüksek verimlilikte çalışmasına yönelik uygulamalar da ele alınmalıdır. Verimlilik artışını etkileyen faktörler arasında çalışma ortamının fiziki durumu, koşulların ergonomisi, organizasyon ergonomisi ve iş tatmini bulunmaktadır. İş sağlığı ve güvenliğinin yükselişinden bu yana, ergonomi organizasyon için daha önemli bir konu haline gelmiştir. Dünyadaki her şirket, işyerlerinin güvenliğini artırmayı daha fazla düşünmektedir (Pun,2011: 7; Koirala ve Nepal, 2022).

Ergonomi, Yunanca sağlık anlamına gelen nomos ve iş anlamına gelen ergo kelimelerinden gelmektedir. İnsanların nasıl çalıştığını, insanların kolayca adapte olabilmesi ve daha üretken olabilmesi için iş yerinin nasıl tasarlandığını incelemektedir. Çalışma ortamlarında ergonomi üç şekilde ele alınmaktadır. Bunlar; fiziksel ergonomi bilişsel ergonomi, örgütsel ergonomidir (Dalkılıç, 2021:18). Fiziksel ergonomi, fiziksel aktiviteye ilişkin bir kişinin anatomik, antropometrik, biyomekanik ve fizyolojik yönleriyle ilgilenmektedir. En çok ilgilenilen iş yeri ergonomisi alanıdır (Thomas ve diğerleri,2022). Örgütsel ergonomi, iş ortamında verim artırma amacıyla, iş ve çalışan arasındaki organizasyonel dengenin sağlanmasını konu edinmektedir (Yararel ve diğerleri, 2022). Bilişsel ergonominin merkezinde sistemin çalışması gereken daha geniş ortam, sistem için hem kısıtlamalar hem de fırsatlar sunan alan kavramı yer almaktadır.

İnsan hayatının devamlılığı için önemli bir meslek olan çalışma, bireyin zamanını değerlendirmesini, enerjisini faydalı hedeflere yönlendirmesini ve ruh sağlığını korumasına yardımcı olan bir faaliyettir (Yüksel, 2024, Araslar, 2021: 3). Çalışma hayatında olumlu ya da olumsuz olarak algılanan her durum, bireylerin yaşam kalitesini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, çalışma hayatı her zaman bireyler için öncelikli bir alan olmuş ve bilimsel araştırmaların odak noktalarından biri haline gelmiştir (Kayak, 2023:1). Belirli bir işin sürdürülebilirliğinin sağlanması yalnızca ekonomik bir kaynak yaratmakla sınırlı değildir. Aynı zamanda bireylerin yaşamlarını düzenleyici bir işlev de üstlenmektedir. Çalışma hayatında sorumlulukların ve görevlerin paylaşılması, dayanışmayı arttırmakta ve aidiyet duygusunun gelişimini teşvik etmektedir. Ayrıca, çalışma ortamı yalnızca bir iş yeri olarak değil, aynı zamanda bireylerin sosyal ilişkilerini geliştirebilecekleri ve psikolojik iyilik hallerini destekleyebilecekleri bir alan olarak değerlendirilmelidir (Araslar, 2021).

İnsanların yaşadığı iş yükünü bilimsel yöntemlerle tespit etmek, ölçmeye çalışıp doğru çözümler getirmek çok önemlidir. Çalışanın yükü fiziksel olabileceği gibi zihinsel de olabilmektedir (Kayak, 2023). Teknolojinin gelişmesi ve bilgisayar kullanımının artması birçok alanda uzmanlaşmanın önem kazanmasını, insanların ihtiyaç ve beklentilerinin değişmesini yeni birtakım iş alanları ve işler oluşmasını sağlamaktadır. Bu durumda işlerin yeniden tasarlanmasını gerektirmektedir (Akoğlu, 2021, Çelikten, 2025). Bu değişim sürdükçe şirketlerin görevlerinin yeniden tanımlanması, işe uygun çalışanların seçilerek işe alınması, ücretlerinin belirlenmesi ve performanslarının değerlendirilmesi amacıyla işin özelliklerinin belli olması gerekmektedir (Çelikten, 2005). Yapılan işin özelliklerini ortaya koyan iş analizi çalışmaları sayesinde şirketlerin işlerini daha sağlıklı yürütmesi, örgütsel olarak gelişmesi ve gerekiyorsa yapısal değişiklikler yapması kolaylaşmaktadır (Dağdeviren ve diğerleri, 2005, Ofluoğlu ve Bircan, 2007, Nourollahi-Darabad ve diğerleri, 2022).

Zihinsel iş yükünün değerlendirilmesi için farklı yöntemler geliştirilmiştir. NASA-TLX gibi yöntemler, diğer zihinsel iş yükü ölçüm araçlarına göre daha kullanıcı dostu olduğundan, bu tür araştırmalarda yaygın olarak tercih edilmektedir. Türkiye'deki zihinsel iş yükü üzerine yapılan araştırmalar sınırlı sayıdadır. (Emeç ve Akkaya, 2018, Tosun ve Yılmaz, 2023).

Demiryolu taşımacılığına artan talepler, demiryolu taşımacılığının temeli olan çalışan makinistlerin iş yükünü arttırmaktadır. Demiryolu taşımacılığında dikkatsizlik ve ihmallerden dolayı yapılan hatalar çoğu zaman can kayıplarına neden olmaktadır. Tren makinistliği; odaklanma, özen, yüksek seviyede teknik bilgi ve beceriye sahip olunması gereken bir iş dalı olduğu için işteki verim ve özen önem arz etmektedir. Demiryolu şirketleri hedeflerine ulaşmak için hem emek yoğun teknolojileri hem de gelişmiş teknik ekipmanları kullanmaktadır. Demiryolu şirketlerinin verimli ve etkin hizmetleri sunmaya çalışması teknik personelin önemini büyük ölçüde arttırmıştır. Çalışanların çalışma koşullarının iyileştirilmesi ve sorunlarının çözülmesi sunulan ulaşım hizmetinin kalitesinin artırılması açısından önemlidir. Bu nedenle tren makinistlerinin çalışma koşullarının değerlendirilmesine yönelik araştırmaların yapılması önemlidir. Bu bağlamda tren makinistlerinin iş yüküne ilişkin görüşleri, verilen hizmetin kalitesi açısından oldukça önemli görülmektedir (Ağzıtemiz ve Bardakçı, 2021). Bu çalışmada demiryolu sektöründe faaliyet gösteren demiryolu tren işletmesindeki farklı deneyime ve iş birimine sahip makinistlerin hissettikleri zihinsel iş yükünün ölçülmesi, karşılaştırılması ve analiz edilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada bilişsel iş yükü tanımı, bilişsel iş yükü ölçüm yöntemleri, ÇKKV (Çok Kriterli Karar Verme) yöntemleri gibi konulara değinilmiştir. NASA-TLX yöntemi kullanılarak anket çalışması uygulanmıştır. NASA-TLX yöntemine ek olarak ÇKKV

yöntemlerinden faydalanılmıştır. Makinistlerin algıladıkları iş yükünü etkileyen faktörler analiz edilmeye çalışılmıştır. Bu faktörlerin incelenmesinin makinistlerin performanslarına etki eden faktörlerin saptanmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Çalışmanın sonucunda, makinistlerin iş adımlarının hangi aşamalarında daha fazla çaba sarf ettiği ve zihinsel iş yükü açısından zorlandığı belirlenmiştir. Bu doğrultuda çalışmanın temel amacı, demiryolu sektöründe kritik bir role sahip olan makinistlerin zihinsel iş yükünü önceliklendirmek, grup karar verme süreçlerindeki farklılıkları anlamak ve bu süreçlerin yorumlanması yoluyla iş akış süreçlerine katkıda bulunmaktır.

Bu çalışmada, makinistlerin günlük görevlerinin hangi aşamalarında ne düzeyde iş yükü hissettiklerini analiz etmek amaçlanmıştır. Çalışmanın giriş bölümünde araştırmanın amacı açıklanmış, ikinci bölümde ise konuya ilişkin literatür incelemesi yapılmıştır. Üçüncü bölümde, araştırmada kullanılan materyal ve yöntemler detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Dördüncü bölümde, karar verme süreci incelenmiş ve ÇKKV yöntemine ayrıntılı olarak yer verilerek, araştırma bulguları sunulmuştur. Son bölümde ise elde edilen analiz sonuçları yorumlanmış ve çeşitli önerilerde bulunulmuştur.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Pasaribu ve diğerleri (2022), yapmış olduğu çalışmada çevrimiçi dersler sırasında öğrencilerin zihinsel iş yükünü ve yorgunluğunu değerlendirmeyi amaçlamıştır. Bu çalışmanın sonuçları öğrencilerin algıladıkları zihinsel iş yükünün yüksek kategoride, yorgunluğun ise orta kategoride olduğunu göstermiştir.

Grabarek (2002), yapmış olduğu çalışmada elektrikli bir lokomotifte sürücü çalışma yerinin ergonomik analizi için bir yöntem geliştirmeyi amaçlayan araştırmayı ele almıştır.

Ağzitemiz ve Bardakçı (2021), yapmış olduğu çalışmada tren makinistlerinin algıladıkları iş yüklerinin çeşitli kriterlere göre değişkenliğini inceleyerek elde edilen sonuçlarla literatüre katkı sağlamaya çalışmıştır. Çalışmada, tren makinistlerinin iş yükü algı düzeylerine yönelik yapılan analizler sonucunda; işçi makinistlerin iş yükü algı düzeylerinin memur olan makinistlere göre daha fazla olduğu saptanmıştır.

Sennaroğlu ve Celebi (2018), yapmış olduğu çalışmada ÇKKV yöntemlerini kullanarak askeri havaalanı için yer seçimi problemini çözmeyi amaçlamıştır. Bu çalışmada, kriterlerin ağırlıklarını belirlemek için AHP, alternatifleri sıralamak ve en iyi alternatifi seçmek için PROMETHEE ve VIKOR birlikte kullanılmış ve iki yöntemde de aynı lokasyon en iyi alternatif olarak önerilmiştir.

Efe ve diğerleri (2015), yapmış olduğu çalışmada, alternatifler arasından ergonomik olarak uygun olan telefon seçimi için çok kriterli grupkarar verme yöntemlerinden biri olan TOPSIS metodunun sezgisel bulanık ortamda genişletilmesi önerilmiştir.

Kayak (2023), yapmış olduğu çalışmada NASA-TLX ve Taguchi yöntemlerinden faydalanarak bir Ar-ge merkezindeki çalışanların zihinsel yüklerini ölçerek, sonuçları konjoint analizden elde edilen ağırlıklarla çarparak benzer sonuçlar üretilip üretilmediğini saptamayı amaçlamıştır.

Restuputri (2021) yapmış olduğu çalışmada insan faktörü ölçeği ile işçi performansı arasındaki ilişkiyi belirlemiş ve insan faktörü ölçeğinde işçi performansını etkileyebilecek en baskın faktörleri belirlemek için demiryolu ergonomisi anketini kullanmıştır. Analiz sonuçlarına göre performans üzerinde en yüksek katsayıya sahip değişken iş tatminidir.

Taherdoost ve Madanchian (2023), yapmış olduğu çalışmada ÇKKV alanlarında yayınlanan çalışmalara ilişkin çeşitli bilgiler ve istatistikler sunmuştur. ÇKKV yöntemlerinde kullanılan kavramlar, parametreler tanımlanmıştır. Sunulan istatistiklerde ÇKKV yöntemlerinin kullanım oranları da ele alınmış olup çalışmamızda yöntem belirlerken yol gösterici olmuştur.

Dobson (2015), yapmış olduğu çalışmada, demiryolunda insan faktörlerinin ve ergonominin gelişimini gözlemlemiştir. Kullanıcıyı desteklemek için bir iş sisteminin, ekipmanın, ortamın ve görevlerin tasarımına insan faktörlerinin entegrasyonu, operatörlerin dar zaman dilimleri içinde verimli ve güvenli bir şekilde tepki vermesini sağlamak için kritik öneme sahiptir.

Kuşaklı (2024), yapmış olduğu çalışmada hemşirelerin iş gücü verimliliğine ilişkin tutumları ve etkileyen faktörler incelenmiştir.

Ulus vd. (2024), çalışmalarında bir otomotiv tedarik şirketinde çalışan ofis çalışanlarının fiziksel ve zihinsel iş yükünü incelemiştir. Çalışmada ROSA, Cornell kas iskelet sistemi rahatsızlık anketi ve NASA-TLX yöntemlerinden faydalanılmıştır.

Yazgan ve diğerleri (2021), yapmış olduğu çalışmada bilişsel iş yükünün belirlenerek ölçüm yöntemlerinin önemi açıklanmıştır.

Can ve diğerleri (2015) yaptığı çalışmada bir devlet hastanesinde yaşanan istifa sayılarındaki artışın sebepleri incelenerek, bunların iyileştirilmesi için hastane yönetimine öneriler sunulması amaçlanmıştır. Bu şekilde kurumda yaşanan personel değişiminin azalacağı ve kurumun daha etkin bir şekilde çalışabileceği düşünülmektedir. Çalışmada SWAT ve JSS ölçeği kullanılarak iş yükü konusunda literatüre katkı sağlanmıştır.

### 3. METOT

Karar verme pek çok alternatifin değerlendirilmesi ve bunlar arasından en iyi tercihin yapılma süreci olarak tanımlanabilir. Yani karar terimi sonuç anlamına gelmektedir. Karar verme terimi belirtilen sonuca ulaşma sürecini tanımlamaktadır (Güngör ve Özcan, 2022). Karar verme, karmaşık bir zihinsel süreç olarak, çeşitli yönleri dikkate alarak istenen sonucu belirlemeyi amaçlayan bir problem çözme programıdır (Taherdoost ve Madanchian, 2023).

ÇKKV aşamalarını şeffaf ve tutarlı olarak yapılandırmaya ve resmileştirmeye yönelik yöntemlerden oluşan çok adımlı bir süreçtir (Langemeyer ve diğerleri, 2016). Etkili kararlar alabilmek için öncelikle karar verme kavramının tanımlanması gerekmektedir (Çoşkun, 2020). Bir sorun için çok sayıda alternatif olduğunda, en uygun maliyet kriterine sahip, çevreye en az etki eden ve enerji verimliliği yüksek olan alternatifin bulunması önemlidir. Bu, ÇKKV yönteminin alternatifleri karşılaştırma aracı olarak kullanılmasıyla sağlanabilir.

Her ÇKKV yönteminin, alternatiflerin sıralandığı farklı hesaplama aşamaları bulunmaktadır ve belirli yöntemlerle aynı girdi verilerini kullanarak uygulama yapılması sonucunda aynı veriler elde edileceğini iddia etmek mümkün değildir (Ishizaka ve Nemery, 2013). ÇKKV bir kararda çeşitli potansiyel adaylar arasından en iyi alternatifin seçimini içeren kararlarla ilgilenmektedir. Her karar, birden fazla faktörün, yani kriterlerin dengelenmesini gerektirir ve bu bazen açıkça, bazen de bilinçli olarak dikkate alınmadan yapılmaktadır. Karar, iki veya daha fazla iyi tanımlanmış alternatif arasında basit bir seçim olabilir; ancak genellikle karar problemleri, farklı bakış açılarını yansıtan karmaşık ve çelişkili nitelikteki bilgileri kapsayan oldukça karmaşık problemlerdir (Triantaphyllou, 2000).

Çalışmada, NASA-TLX yöntemi kriterlerinden faydalanan anket çalışması kişisel etkileri ortadan kaldırmak için online olarak çalışanlara uygulanmıştır. Oluşturulan anketin giriş kısmında anketin yapılış amacı açıklanmıştır. Ayrıca soruların rahat algılanması için örnekler vererek, soru bazında açıklamalar yapılarak katılımcıların soruları daha rahat cevaplamasına katkı sağlanmıştır. Katılımcıların verdiği cevaplardan elde edilen sonuçlar ÇKKV yöntemlerinden Bulanık TOPSIS ve Bulanık COPRAS yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir.

İlk olarak ankete katılanlara demografikler özelliklere yönelik hazırlanmış olan toplam altı adet soru (çalışma süresi, yaş, eğitim, çalışma statüsü, iş birimi, medeni hal) yöneltilmiştir. 7.sorudan itibaren ise anket katılımcılarının rutin işlerini kriterler bazında değerlendirmeleri istenmiştir. Sonrasında makinistlerden NASA-TLX yöntemindeki kriterleri ağırlıklandırması beklendiğinden 13.soru yöneltilmiştir.

Çalışanlardan değerlendirmesi istenilen işler aşağıda liste halinde verilmiştir. Bu işler belirlenirken makinistlerin tren sevgi için günlük rutin olarak yaptığı daha detaylı olan işler sırasıyla ele alınmıştır. Ayrıca işler seçilirken ankete çok sayıda kişinin katılacağı göz önünde bulundurularak tüm makinist grupları (yük, marmaray vb.) için ortak işler olmasına özen gösterilmiştir.

İş1: İş alma işlemlerini yürütmek (astlarına eğitim vermek, günlük çalışma çizelgesini hazırlamak vb.)

İş2: Cer aracını ve treni servise hazırlamak (cer aracı kontrolleri, cer aracı çalıştırmak, trene enerji vermek vb.)

İş3: Tren seyir hizmetlerini yürütmek (Dizi ve cer aracını kontrolünü, yol işaretlerini kontrolünü yapmak vb.)

İş4: Tren seyri esnasında meydana gelen arıza ve acil durumlarla ilgili işleri yürütmek (basit arızaları gidermek vb.)

İş5: Tren seyrinden sonra cer aracının teslim edilmesini yürütmek (tamir defterini doldurmak, cer aracını depoya / görevliye teslim etmek)

İş6: Depo ve manevra işlemlerini yürütmek (yedek makinistlik nöbeti tutmak, depo manevrası yapmak vb.)

#### 3.1. NASA-TLX

NASA-TLX yöntemi, NASA-Ames Araştırma Merkezi'nden Sandra G. Hart ve San Jose Eyalet Üniversitesi'nden Lowell E. Staveland tarafından 1998 yılında geliştirilmiştir. Anket şeklinde olan bu yöntem, iş yükü ölçümlerinden daha kolay ancak daha hassas olan subjektif ölçümlere olan ihtiyacın ortaya çıkmasından yola çıkarak geliştirilmiştir (Surtiningtyas ve diğerleri, 2022).

İnsanın bilişsel iş yükü performansını derinden etkileyebilir ve bu nedenle birçok sistemin tasarımında ve işletilmesinde önemli bir husustur (Bolton ve diğerleri, 2023). NASA-TLX yöntemi, işlerinde çeşitli faaliyetlerde bulunmak zorunda olan çalışanların karşılaştıkları bilişsel iş yükünü analiz etmek için kullanılan bir yöntemdir (Ramadhana, 2021). Çalışmamızda önceki bölümlerde ele alınan ölçüm yöntemlerinden biri olan NASA-TLX yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir. Çalışmamızda diğer yöntemlere göre daha doğru sonuçlar vermesi ve yaygın kabul görmesi nedeniyle subjektif ölçüm yönteminden biri olan NASA-TLX yöntemi seçilmiştir. Subjektif bilişsel iş yükünü ölçen NASA-TLX'in çok boyutlu ölçüm, hızlı ve düşük araştırma maliyetleriyle veri sunma süreci gibi faydaları vardır (Pasaribu ve diğerleri, 2022).

NASA-TLX yöntemi ile bilişsel iş yükünü ölçmenin adımları:

**1. Derecelendirme Verme:** Ölçümde derecelendirme, bir değer aralığı (0-5) ile 6 boyutlu bilişsel iş yükü ölçeklerinden oluşan bir anketten hesaplanır.

NASA-TLX, altı farklı ölçüm cihazı kullanarak zihinsel iş yükünü ölçen çok boyutlu bir yöntemdir. Zihinsel, fiziksel, zamansal, performans, efor ve konfor düzeyi olmak üzere altı kriter bulunmaktadır. Bu kriterler kısaca şu şekilde ifade edilmiştir;

Zihinsel talep, işte ihtiyaç duyulan zihinsel ve algısal faaliyetlerin talepleri olarak tanımlanmaktadır. (örnek: düşünme, karar verme, hesaplama, hatırlama, görme, arama).

- Fiziksel talep, işte ihtiyaç duyulan fiziksel aktivitedir. (örnek: itme, çekme, döndürme, kontrol etme, koşma ve diğerleri).
- Zamansal talep, iş veya işin unsuru sırasında hissedilen zaman baskısıdır.
- Performans, iş hedeflerine ulaşmada başarıdır.
- Çaba, iş performansı düzeyine ulaşmak için gerekli olan zihinsel ve fiziksel olarak harcanan çabadır.
- Güvenlik, tatmin, zindelik, rahatlık ve kendini tatmin duygusu ile sahada hüsrana düzeyi, güvensizlik, umutsuzluk, gücenme, stresli ve dikkati dağılmış çalışırken hissedilir [33].

**2. Ağırlık:** Anketin ağırlık ölçümünde kriter ağırlıklarını belirlemek için katılımcılara ekstra hazırlanmış kriterlerin bulunduğu bir soru yöneltilmiş katılımcıların verdiği cevaplardan yola çıkarak ağırlıklandırma yapılmıştır.

**3. Ortalama Ağırlık İş Yükünün Hesaplanması:** Ankete katılan personelin yaptıkları kriter değerlendirmelerinin ortalaması alınıp kriter ağırlıkları saptanmıştır.

### 3.2. Bulanık TOPSIS

Bulanık TOPSIS belirsizlik altında alternatiflerin seçilmiş bir kriter veya kriterler bazında değerlendirilip sınıflandırıp en ideal seçime katkı sağlayan yöntemlerdendir (Efe ve diğerleri, 2015).

Niteliksel ve niceliksel kriterler açısından Bulanık TOPSIS yöntemi ile değerlendirme yapmak mümkündür. Bulanık TOPSIS fazlasıyla esnek yapıdadır. Karar vericilerin farklı kararlar verdiği durumlarda, grup kararı gerektiren problemlerin çözümü için Bulanık TOPSIS yöntemi oldukça uygundur. Değişik kriterler açısından alternatiflerin kriter önemini ve kriter değerini belirlemek amacıyla karar verici dilsel değişkenleri kullanmaktadır. Alternatiflerin en iyisinin seçim kararını ve değişik dil değerlendirmelerini sağlamak amacıyla çok kriterli bulanık karar yöntemi gereklidir. Bulanık sayılardan, bulanık modellerde belirtilen dilsel değişkenleri tanımlamak amacıyla faydalanılmaktadır (Beki, 2022).

**Adım 1:** Karar vericiler tarafından karar matrisi oluşturulur.

**Adım 2:** Normalize karar matrisi oluşturulur. Bunu yaparken her bir  $x_{ij}$  değerinin karesi alınır ve sütun toplamı oluşturulur. Her bir  $x_{ij}$  değer bu sütun toplamına bölünüp normalize karar matrisi oluşturulur.

**Adım 3:** Normalize karar matrisinin her bir değeri  $w_{ij}$  gibi kriter ağırlıklarıyla çarpılıp ağırlıklandırılmış normalize matrisi elde edilmektedir.  $W_{ij}$  değerlerinin toplamı bir olmalıdır.

**Adım 4:** İdeal çözümlerin bulunması Maksimizasyon amaçlanıyorsa her bir sütundaki en büyük değerler alınarak pozitif ideal çözüm değerleri her bir sütuna ait minimum değerler alınıp negatif ideal çözüm değerleri saptanır. Eğer minimizasyon amaçlanıyorsa tam tersi işlem yapılarak değerler bulunur.

**Adım 5:** Pozitif ve negatif ideal noktalara uzaklıklar Eşitlik 1 ve Eşitlik 2 'deki formül ile belirtilmiştir.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v^+)^2} \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (1)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v^-)^2} \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (2)$$

**Adım 6:** Daha sonra her alternatif için pozitif ideal çözüme uzaklıklar toplanıp  $d_i^*$  ve negatif ideal çözüme uzaklıklar toplanıp  $d_i^-$  değerleri saptanır. İdeal çözüme yakınlık Eşitlik 3 yardımıyla hesaplanır. İdeal çözüme yakınlık  $C_i^*$  ile simgelenmiştir (Arslan, 2010:23).

$$C_i^* = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad (3)$$

### 3.3. Bulanık COPRAS

Karar problemleriyle ilişkili doğal belirsizlik, etkili karar vermeyi engellemektedir. Literatürde karar verme sürecinde belirsizliği ortadan kaldırmak için bulanık kümeler, şekiller ve sistemlerin değişik ÇKKV yöntemleriyle birlikte kullanıldığı birçok çalışma bulunmaktadır. COPRAS yöntemi, belirsizlikten dolayı etkili karar verememeyi ortadan kaldırmak için bulanık mantığın entegre edilmesiyle tasarlanan Bulanık COPRAS yöntemi şeklinde de kullanılabilir. Bulanık COPRAS yöntemi bulanık sayılardan oluşan performans değerlerini kullanır. Karar verme probleminin subjektif yargılar içerdiği durumlarda etkili karar vermeyi mümkün kılan Bulanık COPRAS yönteminde dil ölçekleri kullanılmaktadır. Örneğin personel seçim kararında adayları (alternatifleri) kesin rakamlarla görünüş kriterlerine göre değerlendirmek yerine, “iyi”, “kötü”, “çok iyi”, “çok kötü” vb. değerlendirmek için dil bilimin kullanılması kararın daha etkili olmasını sağlar. Bulanık COPRAS yönteminde bulanık sayılar üzerinde COPRAS yönteminin adımları esas alınarak işlemler gerçekleştirilir (Yıldırım, 2016:105).

**Adım 1:** Karar vericiler tarafından karar matrisi oluşturulur.

**Adım 2:**  $w_j$  ile ifade edilen kriter ağırlıkları belirlenir.

**Adım 3:** Kriter ağırlıkları ve karar matrisindeki sayıların çarpılması sonucu ağırlıklandırılmış bulanık karar matrisi elde edilir.

**Adım 4:** Eşitlik 4 yardımıyla kriter ağırlıkları ve alternatif değerleri için durulaştırılmış karar matrisi hesaplanır. Denklemde bulunan değerlerden  $l$  bulanık sayılarla oluşturulan karar matrisindeki ilk değeri,  $m$  ikinci değeri,  $u$  ise üçüncü değeri ifade etmektedir.

$$\text{Durulaştırılmış sayılar} = \frac{(u-l)+(m-l)}{3} + l \quad (4)$$

**Adım 5:** Durulaştırılmış karar matrisinden Eşitlik 5 ile normalize karar matrisi oluşturulur.

$$\frac{x_{ij}}{\sum_{j=1}^n x_{ij}} \quad (5)$$

**Adım 6:** Alternatifler bazındaki bütün fayda kriterlerinin değerleri Eşitlik 6'daki gibi toplanarak  $S_i^+$  değeri, alternatifler bazındaki bütün maliyet kriterlerinin değerleri Eşitlik 7'deki gibi toplanarak  $S_i^-$  değeri bulunur.

$$S_i^+ = \sum_{j=1}^n x_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

$$S_i^- = \sum_{j=1}^m x_{ij} \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (7)$$

**Adım 7:** Her alternatif için Eşitlik 8 kullanılarak görece önem düzeyleri Eşitlik 9 kullanılarak performans indeks değerleri belirlenir. Alternatifler arasında görece önem değeri en yüksek olan alternatif en iyi olarak belirlenir

$$Q_i = S_i^+ + \frac{\sum_{i=1}^n S_i^-}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{S_i^-}} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

$$P_i = \frac{Q_i}{Q_{imax}} * 100 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

### 4. BULGULAR

Bu çalışmada demiryolu taşımacılığında faaliyet gösteren bir işletmedeki makinist personelin iş yükünün zihinsel boyutları ele alınmıştır. Çalışma sonucunda personelin iş adımlarının hangi aşamasında daha çok çaba sarf ettiği ve zihinsel açıdan zorlandığı belirlenerek değerlendirilmesi amaçlanmıştır. NASA-TLX yöntemi kriterlerinde faydalanarak anket çalışması oluşturularak kişisel etkileri kaldırmak için online oluşturulan form üzerinden çalışanlara uygulanmıştır. Katılımcıların verdiği cevaplardan elde edilen sonuçlar Bulanık TOPSIS ve Bulanık COPRAS yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir.

Ülkemizde faaliyet gösteren demiryolu tren işletmesinde makinist olarak çalışan personellerin deneyimlerine, çalıştıkları iş birimine göre zihinsel iş yükü düzeylerinin görevlerinin hangi aşamalarında farklılaştığı üzerine bir inceleme yapılmıştır. Çalışmanın amacı demiryolu sektöründe kritik personel olan makinistin zihinsel iş yükünü önceliklendirmek ve grup karar vermedeki farklılıkları anlamak ve yorumlamaktır. Araştırmanın uygulama bölümünde; NASA-TLX ölçeğindeki zihinsel iş yükü kriterlerinden

faýdalanılmış, makinist personelin yaptıkları kriter değerlendirmelerinin ortalaması alınıp kriter ağırlıkları saptanmış ve ÇKKV yöntemlerinden olan Bulanık TOPSIS ve Bulanık COPRAS yöntemi kullanılarak alternatif işlerin değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışma online anket yoluyla, işletmedeki 221 makinist personele yapılmıştır. Elde edilen anket çalışmaları incelendiğinde 11 tanesinin eksik ve hatalı olması nedeniyle 210 anketle uygulama yapılmıştır (Kurtgün, 2022:47).

Araştırmanın uygulama bölümünde; NASA-TLX ölçeğindeki zihinsel iş yükü kriterlerinden faydalanılmış, makinist personelin yaptıkları kriter değerlendirmelerinin ortalaması alınıp kriter ağırlıkları saptanmış ve ÇKKV yöntemlerinden olan Bulanık TOPSIS ve Bulanık COPRAS yöntemi kullanılarak alternatif işlerin değerlendirilmesi yapılmıştır.

Karar vericilerden oluşan küme ve değerlendirmede kullanılacak kriterler belirlenir. Daha sonra alternatif ve kriter belirlenmesinde kullanılacak sözel değişkenler belirlenir. Karar vericiler sözel değişkenleri kullanarak alternatifleri değerlendirir. Sözel değişkenlerin bulanık sayı karşılıkları bulunur. Kriterler ve alternatifler için çalışmada yer alan personel tarafından alternatif işler için yaptığı değerlendirmelerden yola çıkılarak Tablo 1'deki karar matrisi oluşturulmuştur.

**Tablo 1. Değerlendirme sonuçlarının üçgensel bulanık sayılarla gösterilmesi**

|      | <i>Zihinsel Talep</i> | <i>Fiziksel Talep</i> | <i>Çaba</i> | <i>Performans</i> | <i>Zamansal Talep</i> | <i>Başarısızlık Hissi</i> |
|------|-----------------------|-----------------------|-------------|-------------------|-----------------------|---------------------------|
| İş 1 | 0,2548                | 0,1845                | 0,1917      | 0,2464            | 0,4881                | 0,2143                    |
|      | 0,4619                | 0,3714                | 0,3726      | 0,4548            | 0,7333                | 0,4012                    |
|      | 0,6798                | 0,5988                | 0,5976      | 0,6762            | 0,9060                | 0,6214                    |
| İş2  | 0,2702                | 0,1964                | 0,2262      | 0,3012            | 0,5167                | 0,2143                    |
|      | 0,4726                | 0,3762                | 0,4226      | 0,5226            | 0,7655                | 0,4012                    |
|      | 0,6917                | 0,5964                | 0,6452      | 0,7298            | 0,9179                | 0,6179                    |
|      | 0,2821                | 0,2159                | 0,2464      | 0,3167            | 0,5226                | 0,2369                    |
| İş3  | 0,4964                | 0,3988                | 0,4452      | 0,5345            | 0,7679                | 0,4226                    |
|      | 0,7083                | 0,6146                | 0,6524      | 0,7417            | 0,9179                | 0,6345                    |
|      | 0,3361                | 0,2786                | 0,3095      | 0,3750            | 0,5048                | 0,2976                    |
| İş4  | 0,5574                | 0,4821                | 0,5238      | 0,6024            | 0,7500                | 0,5024                    |
|      | 0,7512                | 0,6917                | 0,7262      | 0,7940            | 0,9083                | 0,6976                    |
|      | 0,1607                | 0,1262                | 0,1655      | 0,1952            | 0,4881                | 0,1762                    |
| İş5  | 0,3476                | 0,2929                | 0,3512      | 0,4012            | 0,7310                | 0,3500                    |
|      | 0,5821                | 0,5321                | 0,5833      | 0,6298            | 0,8976                | 0,5762                    |
|      | 0,2333                | 0,1881                | 0,2583      | 0,2845            | 0,5202                | 0,2095                    |
| İş6  | 0,4405                | 0,3750                | 0,4679      | 0,5071            | 0,7667                | 0,3917                    |
|      | 0,6655                | 0,5976                | 0,6845      | 0,7214            | 0,9167                | 0,6095                    |

Zihinsel ve fiziksel talep, çaba, performans, zamansal talep, başarısızlık hissi olmak üzere altı kriter bazında değerlendirmeler yapılmış olup karar vericilerin bu kriterleri değerlendirmelerinin bulanık sayı karşılıkları alınmıştır. Bu bulanık sayıların da ortalaması alınarak oluşturulan kriter ağırlıkları Tablo 2'de gösterilmiştir.

Karar vericiler işleri 6 kriter için değerlendirmiştir. Bu nedenle ek olarak karar vericilerden kriterleri ağırlıklandırması beklenmiş ek olarak ankette bununla ilgili soru sorulmuştur. Karar vericilerin verdiği sözel cevapların bulanık sayı karşılıkları alınmıştır. Bu bulanık sayıların da ortalaması alınarak oluşturulan kriter ağırlıkları Tablo 2'de gösterilmiştir.

**Tablo 2. Kriter ağırlıkları**

|              | <i>Zihinsel Talep</i> | <i>Fiziksel Talep</i> | <i>Çaba</i> | <i>Performans</i> | <i>Zamansal Talep</i> | <i>Başarısızlık Hissi</i> |
|--------------|-----------------------|-----------------------|-------------|-------------------|-----------------------|---------------------------|
| Tüm          | 0,3333                | 0,3071                | 0,3583      | 0,3548            | 0,3952                | 0,4024                    |
| katılımcılar | 0,5464                | 0,5238                | 0,5845      | 0,5821            | 0,6214                | 0,6250                    |
|              | 0,7405                | 0,7274                | 0,7798      | 0,7726            | 0,8060                | 0,7917                    |

#### 4.1. Demografik Özelliklere İlişkin Bulgular

Uygulanan anket sonucu incelendiğinde ankete 221 kişi katılmış olup 210 tanesi değerlendirmeye alınmıştır. 210 kişinin %45'inin çalışma süresinin 5 yılın altında olduğu, %11'inin bulunduğu pozisyonda deneyiminin 6-10 yıl arası olduğu bilinmektedir. Bu çalışmaya katılan çalışanların çoğunun deneyiminin 5 yıl altında olduğu görülmektedir. Ayrıca katılım sağlayan kişilerin %22'si, 21 yıl üzeri gibi çalışma süresiyle uzun deneyim süresine sahiptir (Tablo 3).

Anket verilerine ilişkin yaş analizi yapıldığında çalışanların %55' inin 35 yaş altında olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum deneyime ilişkin analizde katılımcıların %56'sının çalışma süresinin 10 yıl altında olması ile ilişkilendirilebilir. Bu çalışmaya katılan 210 çalışanın %63'ünün evli olduğu ve %37'sinin bekar olduğu bilinmektedir (Tablo 3).

**Tablo 3. Demografik bulgulara ilişkin veriler**

| <i>Demografik Değişken</i> | <i>Kategori</i>    | <i>Sıklık</i> | <i>Yüzde</i> |
|----------------------------|--------------------|---------------|--------------|
| Çalışma süresi             | 0-5 yıl            | 95            | 45           |
|                            | 6-10 yıl           | 23            | 11           |
|                            | 11-15 yıl          | 20            | 10           |
|                            | 16-20 yıl          | 25            | 12           |
|                            | 21 yıl ve üzeri    | 47            | 22           |
| Yaş                        | 18-25              | 35            | 15           |
|                            | 26-35              | 85            | 40           |
|                            | 36-45              | 38            | 18           |
|                            | 46-55              | 29            | 14           |
|                            | 56 -64             | 27            | 13           |
| Eğitim düzeyi              | İlköğretim         | -             | -            |
|                            | Lise               | 7             | 0,35         |
|                            | Meslek lisesi      | 8             | 0,4          |
|                            | Ön lisans          | 135           | 64           |
|                            | Lisans             | 55            | 26           |
| Çalışma statüsü            | Yüksek lisans      | 5             | 0,25         |
|                            | Doktora            | -             | -            |
|                            | İşçi makinist      | 128           | 61           |
|                            | Memur makinist     | 82            | 39           |
|                            | Yük makinisti      | 81            | 39           |
| İş birimi                  | Marmaray makinisti | 70            | 33           |
|                            | Yolcu makinisti    | 20            | 10           |
|                            | YHT makinisti      | 1             | -            |
|                            | Metro makinisti    | 38            | 18           |

#### 4.2. Bulanık TOPSIS ile Veri Analizi

Yapılan çalışmada karar vericilerin alternatif işlere vermiş olduğu puanlar ve kriter ağırlıklandırmasının analizi yapılırken Bulanık TOPSIS yönteminden faydalanılmıştır. Bu yöntem kullanılarak katılımcıların vermiş oldukları puanlamalardan yola çıkılarak en az iş yükü hissedilen iş saptanmıştır.

Bulanık TOPSIS adımları takip edilerek tüm katılımcıların yapmış oldukları Tablo 1 ve Tablo 2'deki kriter ve alternatif değerlendirmelerden yola çıkılarak her bir iş için görece uzaklık değerleri hesaplanır. Katılımcılar çalışma deneyimi, iş birimine göre gruplandırılarak tekrardan Bulanık TOPSIS adımları uygulanarak her grup için görece uzaklık değerleri hesaplanarak gruplar arası farklılaşma var mı analiz edilmiştir (Çakır, 2016).

Bulanık TOPSIS ile veriler analiz edilirken çalışmanın daha anlaşılır olması adına tüm katılımcılar bazında İş1 için zihinsel talep kriteri için elde edilen değerler örneklendirilecektir. Tablo 1'deki değerler incelendiğinde İş1 için zihinsel talep bazında değerler sırasıyla 0,2548; 0,4619 ve 0,6798 olarak görülmektedir. Tablo 2'deki değerler incelendiğinde İş1 için zihinsel talep kriter ağırlıkları sırasıyla 0,3333; 0,5464 ve 0,7405 olarak görülmektedir. Karar vericilerin işlere verdiği değerler ağırlıklarla çarpılarak ağırlıklı değerler bulunur. Çarpım sonucunda sırasıyla 0,0849; 0,2524 ve 0,5033 değerleri elde edilir.

$A^* = ((0.05, 0.05, 0.05))$  ve  $A^- = ((0.56, 0.56, 0.56))$  olarak bulanık pozitif ideal çözüm ve bulanık negatif ideal çözümler tanımlanır. İş1 için 1.denklem ve 2.denklem yardımıyla  $A^* = 0,2845$  ve  $A^- = 0,3252$  olarak bulanık pozitif ideal çözüm ve bulanık negatif ideal çözümlere olan uzaklıklar bulunur.

Tüm kriterler bazında İş1 için  $A^*$  ve  $A^-$  sırasıyla Tablo 4'deki şekilde bulunmuştur.

**Tablo 4. Pozitif ve negatif ideal çözüme uzaklıklar**

| Kategori           | A*     | A <sup>-</sup> |
|--------------------|--------|----------------|
| Zihinsel Talep     | 0,2845 | 0,3252         |
| Fiziksel Talep     | 0,2463 | 0,3157         |
| Zamansal Talep     | 0,2521 | 0,3555         |
| Performans         | 0,3682 | 0,2851         |
| Çaba               | 0,3453 | 0,3558         |
| Başarısızlık Hissi | 0,2645 | 0,3224         |

İş1 için  $d_i^*$  ve  $d_i^-$  değerleri saptanır. ( $A^-$  değerleri tüm işler için toplanır ve aynı şekilde  $A^*$  tüm işler için toplanır.)

İş1 için  $d_i^*$  ve  $d_i^-$  sırasıyla 1,7609 ve 1,9597'dir.  $d_i^*$  ve  $d_i^-$  toplamı 3,7206 olarak saptanır.  $CC_1$  değeri ise  $\frac{1,9597}{3,7206}=0,5267$  olarak hesaplanır. Tüm gruplar için Bulanık TOPSIS adımları uygulanarak hesaplanan görece önem düzeyleri olan  $C_i$  değerleri Tablo 5'te verilmiştir.

Tüm katılımcılar için alternatif işlerin görece uzaklık değerleri incelendiğinde İş5 (Tren seyrinden sonra cer aracının teslim edilmesini yürütmek) için hesaplanan değerinin en yüksek olduğu ve bu işin en iyi alternatif olduğu görülmektedir. Başka bir ifadeyle İş5'in ankete katılan tüm çalışanlar üzerinde oluşturduğu iş yükü etkisi diğer iş adımlarına göre daha azdır. İş4'ün oluşturduğu zihinsel iş yükü diğer işlere göre daha fazladır. Zihinsel iş yüküne göre işler analiz edildiğinde sıralamanın İş4 > İş3 > İş6 > İş2 > İş1 > İş5 şeklinde olduğu görülmektedir. Ayrıca İş1, İş2 ve İş6'nın oluşturduğu etkinin benzer olduğu görülmektedir.

Ankete katılanlar çalışma yılına göre analiz edildiğinde, 221 kişinin %45'inin 0-5 yıl arası deneyimi olması, iş birimi olarak analiz edildiğinde ise en çok yük servisinde çalışan makinist bulunması nedeniyle özellikle bu iki gruba ait görece uzaklık değerlerine bakılarak yapılan inceleme yorumlarına yer verilmiştir. Ankete katılan çalışanlar deneyimine göre analiz edildiğinde 0-5 yıl arası deneyime sahip olanların verdiği cevaplara göre İş5'in en iyi alternatif olduğu görülmektedir. İş4'ün oluşturduğu zihinsel iş yükü diğer işlere göre daha fazladır. Zihinsel iş yüküne göre işler analiz edildiğinde sıralamanın İş4>İş6>İş3>İş1>İş2>İş5 şeklinde olduğu görülmektedir. Ayrıca İş3, İş4 ve İş6'nın oluşturduğu etkinin benzer olduğu yine İş1'in ve İş2'nin işlerinde oluşturdukları etkinin yakın sonuçlarda olduğu görülmektedir.

İş birimi olarak katılımcılar gruplandığında yük makinistlerinin verdiği cevaplar incelenip analiz edildiğinde İş5'in en iyi alternatif olduğu görülmektedir. İş4'ün oluşturduğu zihinsel iş yükü diğer işlere göre daha fazladır. Zihinsel iş yüküne göre işler analiz edildiğinde sıralamanın İş4 > İş2 > İş3 > İş1 > İş6 > İş5 şeklinde olduğu görülmektedir.

#### 4.3.Bulanık COPRAS ile Veri Analizi

Yapılan çalışmada karar vericilerin alternatif işlere vermiş oldukları puanlar ve kriter ağırlıklandırmalarının analizi yapılırken Bulanık COPRAS yönteminden faydalanılmıştır. Bu yöntem kullanılarak katılımcıların vermiş oldukları puanlamalardan yola çıkılarak en az iş yükü hissedilen iş saptanmıştır. Sonuçlar Bulanık TOPSIS sonucu elde edilen bulgularla karşılaştırılmıştır.

Tüm katılımcıların verdiği Tablo 1 ve Tablo 2'deki kriter ve alternatif değerlendirmelerden yola çıkılarak COPRAS yöntemi adımları takip edilerek veriler analiz edilmiştir. Her alternatif için görece önem düzeyleri ve fayda dereceleri hesaplanır. Fayda derecesi en yüksek alternatif en iyi alternatiftir Katılımcılar çalışma deneyimi, iş birimine göre gruplandırılarak tekrardan Bulanık COPRAS adımları uygulanarak her grup için görece önem düzeyleri ve fayda dereceleri hesaplanarak gruplar arası farklılaşma var mı analiz edilmiştir (Türkmen ve Demirel, 2022).

Bulanık COPRAS ile veriler analiz edilirken çalışmanın daha anlaşılır olması adına tüm katılımcılar bazında İş1 için zihinsel talep kriteri için elde edilen değerler örneklendirilecektir.

Tablo 1'deki değerler incelendiğinde İş1 için zihinsel talep bazında değerler sırasıyla 0,2548; 0,4619 ve 0,6798 olarak görülmektedir. Tablo 2'deki değerler incelendiğinde İş1 için zihinsel talep kriter ağırlıkları sırasıyla 0,3333; 0,5464 ve 0,7405 olarak görülmektedir. Tablo 1'deki İş1 için değerler 4.denklem yardımıyla durulaştırılır. Sonuç olarak İş1'in zihinsel talep bazında durulaştırılmış karşılığı 0,4655 olarak bulunur. Tablo 2'deki İş1 için değerler 4.denklem yardımıyla durulaştırılır. Sonuç olarak zihinsel talep kriteri için İş1'in durulaştırılmış kriter ağırlığı 0,5401 olarak bulunur.

Durulaştırılmış Tablo 1 ve Tablo 2'deki değer çarpılarak ağırlık karar matrisi değeri  $0,4655 \times 0,5401 = 0,2514$  olarak hesaplanır. Eşitlik 5'ten faydalanarak; normalize karar değeri  $0,2514 / 1,519 = 0,1664$  olarak hesaplanır. Buradaki 1,519 değeri zihinsel talep bazında İş1'den İş6'ya kadar ağırlıklı karar matrisi değerlerinin toplamı sonucu bulunmuştur.

Eşitlik 6 ve 7 yardımıyla  $S_i^+$  ve  $S_i^-$  İş 1 için sırasıyla 0,1525 ve 0,7920 şeklinde hesaplanır. (Başarısızlık hissi fayda bazlı diğer kriterler maliyet bazlı olarak ele alınmıştır.) Tüm işler için  $S_i^-$  değerleri hesaplanarak toplamı alınır ve 5 olarak bulunur. Sonrasında tüm işler için  $S_i^-$  değerlerinin tersleri alınarak toplanır ve 7,2883 olarak bulunur. Eşitlik 8 yardımıyla performans indeks değerleri (Q1) İş1 için 1,0187 bulunur  $(0,1525+(5/(0,7920*(1/7,2883)))$ .

Her iş için ayrı ayrı performans indeks değeri bulunarak maksimum Q değeri 1,1378 olarak saptanır. Q1 değeri maksimum Q değerine bölünerek her alternatif için görece önem düzeyleri(P) hesaplanır.  $P=(1,0187/ 1,1378)*100=89,5260$  olarak hesaplanır. Tüm gruplar için Bulanık COPRAS adımları uygulanarak hesaplanan fayda dereceleri olan  $P_i$  değerleri Tablo 5'te verilmiştir.

Ankete katılan tüm çalışanların vermiş olduğu cevaplar Bulanık COPRAS yöntemi ile analiz edildiğinde İş5'in en iyi alternatif olduğu görülmektedir. İş4'ün oluşturduğu zihinsel iş yükü diğer işlere göre daha fazladır. Zihinsel iş yüküne göre işler analiz edildiğinde sıralamanın İş4 > İş3 > İş6 > İş2 > İş1 > İş5 şeklinde olduğu görülmektedir. Ayrıca İş2 ve İş6'nın oluşturduğu etkinin benzer olduğu görülmektedir.

Ankete katılanlar çalışma yılına göre analiz edildiğinde 221 kişinin %45'nin 0-5 yıl arası deneyimi olması, iş birimi olarak analiz edildiğinde ise en çok yük servisinde çalışan makinist bulunması nedeniyle özellikle iki gruba ait fayda dereceleri değerlerine bakılarak yapılan inceleme yorumlarına yer verilmiştir.

Ankete katılan çalışanlar deneyimine göre analiz edildiğinde 0-5 yıl arası deneyime sahip olanların verdiği cevaplara göre İş5'in en iyi alternatif olduğu görülmektedir. İş4'ün oluşturduğu zihinsel iş yükü diğer işlere göre daha fazladır. Zihinsel iş yüküne göre işler analiz edildiğinde sıralamanın İş4 > İş6 > İş3 > İş1 > İş2 > İş5 şeklinde olduğu görülmektedir. İş3 ve İş6'nın iş yükü etkilerinin ayrıca benzer olduğu da analiz edilmiştir.

İş birimi olarak katılımcılar gruplandırıldığında yük makinistlerinin verdiği cevaplar incelenip analiz edildiğinde İş5'in en iyi alternatif olduğu görülmektedir. İş4'ün oluşturduğu zihinsel iş yükü diğer işlere göre daha fazladır. Zihinsel iş yüküne göre işler analiz edildiğinde sıralamanın İş4 > İş2 > İş3 > İş1 > İş6 > İş5 şeklinde olduğu görülmektedir.

**Tablo 5. Bulanık TOPSIS ve Bulanık COPRAS Uygulama sonucuna ait  $C_i$  ve  $P_i$  değerleri**

| Sınıflandırma Kategorisi  | Yöntem  | İş1     | İş2     | İş3     | İş4     | İş5    | İş6     |
|---------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|
| Tüm katılımcılar          | $(C_i)$ | 0,5267  | 0,5238  | 0,5161  | 0,4923  | 0,5508 | 0,5219  |
|                           | $(P_i)$ | 89,526  | 87,3745 | 84,9738 | 78,0138 | 100    | 87,4305 |
| 0-5 yıl deneyim           | $(C_i)$ | 0,5209  | 0,5222  | 0,5095  | 0,5008  | 0,5426 | 0,5090  |
|                           | $(P_i)$ | 92,8272 | 92,8425 | 88,986  | 86,5491 | 100    | 88,6337 |
| 6-10 yıl deneyim          | $(C_i)$ | 0,5203  | 0,4987  | 0,4963  | 0,4607  | 0,5744 | 0,5322  |
|                           | $(P_i)$ | 83,8328 | 79,3495 | 78,5478 | 72,6369 | 100    | 86,652  |
| 11-15 yıl deneyim         | $(C_i)$ | 0,5192  | 0,5268  | 0,5117  | 0,4814  | 0,5520 | 0,5263  |
|                           | $(P_i)$ | 90,0403 | 91,1725 | 87,5336 | 80,9467 | 100    | 91,7415 |
| 16-20 yıl deneyim         | $(C_i)$ | 0,5388  | 0,5497  | 0,5348  | 0,4804  | 0,5607 | 0,5455  |
|                           | $(P_i)$ | 91,5255 | 94,5321 | 90,7769 | 79,0721 | 100    | 94,4255 |
| 21 yıl üstü deneyim       | $(C_i)$ | 0,5380  | 0,5256  | 0,5322  | 0,5018  | 0,5508 | 0,5302  |
|                           | $(P_i)$ | 93,7771 | 90,6623 | 92,7102 | 83,9364 | 100    | 93,2005 |
| Yük makinisti             | $(C_i)$ | 0,5134  | 0,4974  | 0,5017  | 0,4726  | 0,5546 | 0,5312  |
|                           | $(P_i)$ | 88,6495 | 85,3848 | 86,2546 | 80,6776 | 100    | 93,4953 |
| Marmaray makinisti        | $(C_i)$ | 0,5416  | 0,5439  | 0,5335  | 0,5006  | 0,5607 | 0,5162  |
|                           | $(P_i)$ | 92,1989 | 92,7996 | 88,4141 | 79,7869 | 100    | 83,4879 |
| Yolcu+Metro+YHT makinisti | $(C_i)$ | 0,5297  | 0,5372  | 0,5175  | 0,5138  | 0,5381 | 0,5246  |
|                           | $(P_i)$ | 96,4497 | 99,3605 | 92,1279 | 90,6704 | 100    | 94,2927 |

## 5. SONUÇ

Yapılan çalışmada ilk aşamada NASA-TLX yönteminde faydalanarak oluşturulan anket çalışması çalışanlara uygulanmıştır. Sonrasında işe ÇKKV yöntemi olan Bulanık TOPSIS ve Bulanık COPRAS yöntemleriyle veriler analiz edilmiş çalışanlarda en çok zihinsel yük hissettiren iş alanı saptanmıştır. Her çalışma grubu için iş yükü hissedilen işin aynı olması hangi aşamalarda iyileştirme ve değişiklik yapılacağı konusunda yol gösterici olacaktır. Her ne kadar çalışanların deneyim ve iş birimlerine göre gruplandırılarak verdikleri cevapların analizde en çok zihinsel etki hissedilen işin aynı olduğu görülse de etki görülen ikinci, üçüncü işlerde gruplar arası farklılaşmalar da olduğu da görülmektedir. Bu farklılaşmalarda anket katılımcılarının iş birimlerinin değişmesi, her iş birimi için iş alanının yani sürüş hattının farklı olması dolayısıyla çalışma koşullarının değişmesi etkili olabilmektedir. Ayrıca çalışma sürelerinin farklı olabilmesi, görev başlangıç ve bitiş saatlerinin önceden belli olmaması veya çalışma çizelgelerinin değişkenlik

göstermesi, vardiyalı çalışma olması gibi durumlar da iş yükünü farklılaştıran etkenler arasındadır. Çalışmada kullanılmış olan kriterler analiz edildiğinde ise çalışanların verdiği cevaplardan yola çıkılarak zaman faktörü ve başarısızlık hissi faktörleri üzerinde daha çok durdukları ve bu kriterlerin çalışma süresinde daha çok etki oluşturduğu anlaşılmıştır.

Tüm katılımcıların dikkate alındığı uygulama sonuçlarına bakıldığında, grup karar verme yöntemleri incelendiğinde en fazla iş yükü hissedilen alternatifin İş4 (Tren seyri esnasında meydana gelen arıza ve acil durumlarla ilgili işleri yürütmek) olduğu görülmüştür. Sadece 0-5 yıl arasında deneyime sahip katılımcılar dikkate alındığında da İş4 yine ilk sırada yer almaktadır. 6-10 yıl, 11-15 yıl, 16-20 yıl ve 21 yıl üzeri deneyime sahip çalışanlar için oluşturulan gruplara ayrı ayrı bakıldığında, her iki karar verme yöntemi sonuçlarına göre en fazla iş yükü hissedilen işin yine İş4 olduğu anlaşılmıştır. Marmaray ve diğer iş birimindeki gruplar ayrı ayrı incelendiğinde, zihinsel iş yüküne sebep olan alternatifler arasında İş4'ün yine üç grup için de ilk sırada olduğu gözlemlenmiştir. Bu bulgular doğrultusunda, arıza ve acil durumlarla ilgili uygulanan adımlara yönelik kurum içi eğitimlerin artırılması gereklidir. Ayrıca, personelle yüz yüze görüşerek iş yükünün bu aşamada oluşmasının alt nedenleri araştırılabilir ve düzeltici faaliyetler planlanabilir.

Anketler bir ya da iki yerine gruplar halinde doldurularak subjektifliğin önüne geçmeye çalışılmıştır. Grupta kriterler ve alternatif ağırlıklar belirlense de insan kaynaklı belirsizlik bir ölçüde engellenebilmektedir. Bu nedenle bulanık mantık teorisinin karar verme sürecine dahil edilmesi gerekmiştir. Örnekleme, kullanılan kriterler ve alternatifler yönlendirmek amacıyla oluşturulmuştur. Sonuçların güvenilirliği ve değişkenliği, farklı yöntem ve yöntemlerin karşılaştırılması yoluyla gözlemlenebilir. Alınacak kararların veya hali hazırda alınmış olan kararların grupları ne ölçüde etkileyebileceği ve düzeltici faaliyetler belirlenebilir. Ramak kala olaylar, olası geri bildirim veya olay yoğunlukları, bu yoğunlukların hangi alternatif altında meydana geldiği ve bu durumun en çok hangi grubu etkilediği göz önünde bulundurularak düzeltici ve önleyici faaliyetler yapılabilir. Bu nedenle iş yükünü minimum düzeyde ve dengede tutacak yöntem ve yöntemlerin geliştirilmesi, güvenilir sürüşün yanı sıra makinistlerin çalışma yeteneği ve motivasyonunun artırılması açısından da oldukça önemlidir. Yapılan çalışmada demiryolu çalışanlarından makinist personelle dijital ortamda anket uygulaması yapılmış ve sonuçlar analiz edilerek en çok iş yükü oluşturan faktörler saptanmaya çalışılmıştır.

Yapılan çalışmanın demiryolu sektöründe zihinsel iş yükü analizinde ÇKKV yöntemi olan Bulanık TOPSİS ve Bulanık COPRAS yaklaşımının birlikte kullanılması yönünden literatüre katkı sunması beklenmektedir. Önerilen yöntem karar vericilerin belirsizlik ortamında karar vermelerine yardımcı olmakla birlikte birçok farklı alanda uygulanabilmektedir. Bulanık PROMETHEE, VIKOR gibi diğer ÇKKV yöntemleri, demiryolu çalışanlarının zihinsel iş yükü analizi için gelecekteki araştırmalarda kullanılabilir. Sonuç olarak, karmaşık ortamlarda karar vermek, subjektif gözlemlerden ve deneyimlerden kaynaklanan belirsizlikler nedeniyle oldukça zorlu bir süreçtir. Bu tür belirsizliklerin etkili bir şekilde temsil edilmesi ve daha doğru kararlar alınabilmesi açısından bulanık küme yaklaşımı etkili bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Sayısal verilerin ifade edilmesinin zor olduğu durumlarda, sözel değişkenlerin kullanılması pratik ve uygun bir çözüm sunmaktadır. Dolayısıyla, alternatiflerin kriterlere ve önem ağırlıklarına göre değerlendirilmesinde, sayısal ifadeler yerine sözel değişkenlerin kullanılması bulanık karar teorisinin değerli bir çerçeve sunduğunu göstermektedir.

Bu çalışmada elde edilen bulgular mevcut demiryolu ulaşım sistemi üzerinde iyileştirme stratejilerinin geliştirilmesinin yanı sıra, güvenliği artıracak ve uygunsuz iş yükü düzeylerine atfedilen potansiyel kaza riskini azaltacak çalışma ortamlarının tasarlanması için temel olarak kullanılabilir. Farklı sektörlerde çalışanların zihinsel iş yükünü analiz etmeye yönelik çalışmalar yapılabilir.

#### **Yazar Katkıları /Author Contributions**

*Meryem Koçer:* Kavramsallaştırma, Metodoloji, Analiz, Makale Yazımı-rijinal taslak *Ömer Faruk Efe:* Metodoloji, Makale Yazımı-inceleme ve düzenleme

*Meryem Koçer:* Conceptualization, Methodology, Analysis, Writing-original draft *Ömer Faruk Efe:* Methodology, 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**

Bu çalışma için Bursa Teknik Üniversitesi Etik Kurulu'nun 07.05.2024 tarihli ve 4 numaralı kararı ile onay alınmıştır.

*For this study, the approval of the Ethics Committee of Bursa Technical University was obtained with the decision dated 07.05.2024 and numbered 4.*

#### **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 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

- Ağzitemiz, R. ve Bardakçı, S. (2021). "Demiryolu Tren İşletmelerinde Görev Yapan Makinistlerin İş Yükü Algılarının İncelenmesi", *Sosyal Bilimlerde Nicel Araştırmalar Dergisi*, 1(2), 3-29.
- Akoğlu Kozak, M. (2001). "Konaklama İşletmelerinde İş Analizi", *Anadolu Üniversitesi Yayınları*, Eskişehir, 3-118.
- Araslar, A. (2021). "İş Yükü ile İş-yaşam Dengesinin İşten Ayrılma Niyeti Üzerine Etkisi", *Yayınlanmamış Doktora Tezi*, Bursa Uludağ Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Bursa.
- Arslan, M. (2010). "Bulanık TOPSIS Metodu ile Türk Şeker Fabrikalarının Performansının Değerlendirilmesi", *Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Atıcı Ulusu, H., Gencer, M. ve Gündüz, T. (2024). "Assessment of Musculoskeletal Disorders and Mental Workload among Office Workers in the Automotive Industry", *SIGMA*, 42(5):1519-31. <https://dx.doi.org/10.14744/sigma.2024.00117>
- Beki, B. (2022). "Otomotiv Sektöründe TOPSIS, ORESTE, Bulanık TOPSIS ve Bulanık ORESTE Yöntemleri İle Proje Seçimi", *Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi*, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Bolton M.L., Biltekoff E. ve Humphrey L., (2023). "The Mathematical Meaninglessness of the NASA Task Load Index: a Level of Measurement Analysis", *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 53(3), 590- 599. <https://doi.org/10.1109/THMS.2023.3263482>
- Can, G.F., Atalay, K.D., Eraslan, E. ve Özçakmak, B.C. (2015). "Bir Devlet Hastanesinde Yaşanan İstifa Sayılarındaki Artışın Nedenlerinin Araştırılması", *Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 3(3), 583-590.
- Coşkun, Ü. (2020). "Karar ve Karar Verme Süreci", *Ulakbilge Sosyal Bilimler Dergisi*, 8(53), 1181-1191.
- Çakır, E. (2016). "Bulanık COPRAS Yöntemi ile Elektronik Belge Yönetim Sistemi (EBYS) Yazılımı Seçimi: Bir Belediye Örneği", <https://akademiksunum.com/index.jsp?modul=document&folder=b75d8f4ad0b4d84e7bccdb68544439aec8eff>, (Erişim Tarihi: 14.06. 2024).
- Çelikten, M. (2005). "Neden İş Analizi Yapılmalıdır?", *Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 1(18), 127-135.
- Dağdeviren, M., Eraslan, E. ve Kurt, M. (2005). "Çalışanların Toplam İş Yükü Seviyelerinin Belirlenmesine Yönelik Bir Model ve Uygulaması", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 20(4), 517-525.
- Dalkılıç, T. (2021). "Fiziksel Ergonomik Risk Faktörlerinin İş Yükü Algısı ile İlişkisi: Tekstil Sektörüne Yönelik Bir Uygulama", *Yüksek Lisans Tezi*, İzmir Ekonomi Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İzmir.
- Dobson, K. (2015). "Human Factors and Ergonomics in Transportation Control Systems", *Procedia Manufacturing*, 3, 2913-2920. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.815>
- Efe, B., Boran, F. ve Kurt, M. (2015). "Sezgisel Bulanık TOPSIS Yöntemi Kullanılarak Ergonomik Ürün Konsept Seçimi". *Mühendislik Bilimleri Ve Tasarım Dergisi*, 3(3), 433-440.
- Emeç, Ş. ve Akkaya, G. (2018). "Sağlık Sektöründe Zihinsel İş Yükü Değerlendirmesi ve Bir Uygulama", *Ergonomi*, 1(3), 156-162. <https://doi.org/10.33439/ergonomi.470474>
- Grabarek I. (2002). "Ergonomic Diagnosis of the Driver's Workplace in an Electric Locomotive". *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 8(2), 225-42. <https://doi.org/10.1080/10803548.2002.11076526>
- Güngör, S. ve Özcan, U. (2022). "Karar Kuramı ve Karar Verme", *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (33), 119- 125. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1035682>
- Ishizaka, A. ve Nemery, P. (2013). "Multi-Criteria Decision Analysis: Methods and Software", John Wiley&Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118644898>
- Kayak, M. (2023). "NASA-TLX Yönteminde Ağırlıkların Belirlenmesinde Konjoint Analizinin Kullanımı", *Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi*, Balıkesir Üniversitesi, FBE, Balıkesir.
- Koirala, R. ve Nepal, A. (2022). "Literature Review on Ergonomics, Ergonomics Practices, and Employee Performance", *Quest Journal of Management and Social Sciences*, 4, 273-288. <http://dx.doi.org/10.3126/qjmss.v4i2.50322>
- Kurtgün, M. (2022). "Bulanık VIKOR yöntemi ile Zihinsel İş Yükünün Belirlenmesi", *Yüksek Lisans Tezi*, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir
- Langemeyer J., Gomez-Baggethun E., Haase D., Scheuer S. ve Elmqvist T. (2016). "Bridging the Gap Between Ecosystem Service Assessments and Land-Use Planning through Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA)", *Environmental Science & Policy*, 62, 45–56. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.02.013>

- Nourollahi-Darabad M., Afshari D. ve Gomari A.E. (2022). "The Relationship Between Lifestyle and Mental Workload With the Prevalence of Musculoskeletal Discomfort: A Case Study in the Automotive Industry", *Journal of Occupational Hygiene Engineering*, 9:102 – 110. <http://dx.doi.org/10.52547/johe.9.2.102>
- Ofluoğlu, G. ve Bircan, H. (2007). "Sağlık Hizmetlerinde İş Analizinin Etkileri ve Zonguldak Atatürk Devlet Hastanesi Uygulaması", *Kamu-İş*, 9, 75-118.
- Pasaribu, I. A., Yeni Vera, Sulaiman, ve Sari, R. A. (2022). "NASA-TLX and SOFI Methods as a Tool for Measuring Students Mental Load and Failure During Online Learning Basic Neurology Physiotherapy Courses", *Science Midwifery*, 10(4), 3112-3121. <https://doi.org/10.35335/midwifery.v10i4.774>
- Pun, K. (2011). "Current Situation of Occupational Safety and Health in Nepal", *General Federation of Nepalese Trade Unions*, 80(1),1-86.
- Ramadhana H., Nasution H. ve Absah Y. (2021). "Mental Workload Analysis Using NASA-TLX Method at Bank Xyz - Medan Balai Kota Consumer Loan Unit", *International Journal of Research and Review*, 8(12), 2454-2237. <http://dx.doi.org/10.52403/ijrr.20211275>
- Restuputri, D. P., Elvera, A. R., Nugraha, A. ve Masudin, I. (2021). "Ergonomic Approach on Rai Industry Workers Using Rail Ergonomics Questionnaire", *IEOM Society International*, 14(16), 3797-3812.
- Sennaroglu B. ve Varlik Celebi G. (2018). "A Military Airport Location Selection By AHP Integrated PROMETHEE and VIKOR Methods", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 59, 160–173. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.12.022>
- Surtiningtyas S., Purwaningtyas D. ve Putriekapuja R., (2022). "Systematic Literature Review of Workload Calculation Using NASA-TLX", *International Journal of Progressive Sciences and Technologies*, 34(2), 178-190.
- Taherdoost, H. ve Madanchian, M. (2023). "Multi-criteria Decision Making (MCDM) Methods and Concepts", *Encyclopedia*, 3(1), 77-87. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia3010006>
- Thomas, C.D., Eno, G.U. ve Usoro, M.U. (2022). "Ergonomics and Organizational Sustainability: a Study of Peacock Paint Limited, Ikot Ekan, Etinan lga Akwa Ibom State", *International Journal of Business and Management Review*, 10(4), 7594.
- Tosun, S. ve Yılmaz, İ. (2023). "Uzman ve Pratisyen Doktorların Zihinsel İş Yüklerinin Nasa-Tlx Yöntemi ile Karşılaştırılması". 3. 2023. <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10477459>
- Triantaphyllou, E. (2000). "Multi-Criteria Decision Making Methods: A Comparative Study", Baton Rouge, Springer, US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-3157-6>
- Türkmen, M. ve Demirel, A. (2022). "SWARA Ağırlıklı Bulanık COPRAS Yöntemi ile Tedarikçi Seçimi", *Alanya Akademik Bakış*, 6(1), 1739-1756. <https://doi.org/10.29023/alanyaakademik.986700>
- Yararel, B., Arslan, K., Kılıç, S. ve Arpacı, G.S. (2022). "Ofis Tasarımında Ergonomik Koşullarının Sağlanmasının Önemi", *Ergonomi*, 5(2), 84-97. <https://doi.org/10.33439/ergonomi.1111957>
- Yazgan, E., Sert, E. ve Şimşek, D. (2021). "Overview of Studies on the Cognitive Workload of the Air Traffic Controller", *International Journal of Aviation Science and Technology*, 2(01), 28-36. <https://doi.org/10.23890/IJAST.vm02is01.0104>
- Yıldırım, B.H. (2016). "Fuzzy Grey COPRAS Yöntemleri ile Çok Kriterli Karar Verme Uygulaması", Yayımlanmamış Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Yılmaz Kuşaklı, B. (2024). "Hemşirelerin İş Gücü Verimliliğine İlişkin Tutumları ve Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi", *Verimlilik Dergisi*, 58(3), 399-412. <https://doi.org/10.51551/verimlilik.1434115>
- Yüksel, İ. (2004). "Çalışma Yaşamı Kalitesinin Tipik ve Atipik İstihdam Açısından İncelenmesi", *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 5(1), 47-58.



**KOBİ'lere Yönelik Ar-Ge Desteklerinin İnovasyon Kapasitesi Üzerindeki Etkinliği: İllere Dayalı Yatay Kesit Veri Analizi\***Emine Bayrak Urasoğlu<sup>1</sup> , Necmettin Çelik<sup>2</sup> **ÖZET****Amaç:** Çalışmanın amacı, KOSGEB'in KOBİ'lere yönelik uyguladığı Ar-Ge (Araştırma-Geliştirme) ve İnovasyon Programının illerin yenilik performansı üzerindeki etkilerini araştırmaktır.**Yöntem:** Ekonometrik modeller, KOSGEB Ar-Ge ve İnovasyon Programı kapsamında destek ödemesi yapılan 2010-2021 dönemine ve Türkiye'nin 81 iline dayalı kümülatif kesit verileri kapsamaktadır. İllerin kümülatif patent, faydalı model, marka ve tasarım tescilleri bağımlı değişken; kümülatif KOSGEB destek tutarları ise bağımsız değişken olarak dikkate alınmıştır. İllerin kümülatif kişi başına düşen gelir düzeyi, üniversite başına düşen öğretim elemanı sayısı ve teknopark sayısı ise, diğer açıklayıcı değişkenlerdir. Bu değişkenler arasındaki ilişki, En Küçük Kareler (OLS) tahmincisine dayalı Yatay Kesit Veri Analizi yardımıyla analiz edilmiştir.**Bulgular:** Ar-Ge ve inovasyon desteklerinin patent tescili başta olmak üzere, sırasıyla, faydalı model, tasarım ve marka tescilleri gibi çıktı temelli inovasyon göstergeleri üzerinde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı etkilerinin olduğuna dair bulgular elde edilmiştir. Bununla birlikte, illerin inovasyon kapasitesi üzerindeki en önemli ve pozitif yönlü belirleyicisinin gelir düzeyi olduğu; üniversite başına düşen öğretim elemanı sayısının aksine teknopark sayısının inovasyon kapasitesini arttırdığı görülmektedir.**Özgünlük:** Çalışmada KOBİ'lere sağlanan Ar-Ge ve inovasyon desteklerinin patent tescillerinin yanı sıra tasarım, faydalı model ve marka tescilleri gibi inovasyon göstergeleri üzerindeki etkileri de incelenmiştir. 81 il düzeyindeki analizle bölgesel ilişki incelenebilmiş ve gözlem sayısındaki artışa bağlı olarak bulguların dirençliliği artırılmıştır.**Anahtar Kelimeler:** Ar-Ge Destekleri, İnovasyon, KOBİ, Yatay Kesit Veri Analizi.**JEL Kodları:** C21, O31, O32.**Effectiveness of R&D Supports for SMEs on Innovation Capacity: A Provincial Cross-Sectional Data Analysis****ABSTRACT****Purpose:** The study aims to investigate the effectiveness of the R&D and Innovation Program supported by KOSGEB on provinces' innovation performance.**Methodology:** Econometric models cover cumulative cross-section data based on the 2010-2021 period for which support payments were made under the KOSGEB R&D and Innovation Program and 81 provinces of Türkiye. The cumulative patent, utility model, trademark, and design registrations are dependent variables; the cumulative KOSGEB supports are independent variable. GDP per capita, number of scholars per universities, and number of techno-parks are other independent variables. Therefore, Cross-Section Data Analysis depending Ordinary Least Squares (OLS) Methodology was chosen as the methodology.**Findings:** R&D and Innovation supports have positive and statistically significant effects on output-based innovation indicators, primarily on patent registrations followed by utility model, design, and trademark registrations respectively. In addition, gross domestic product per capita has the highest positive impact on innovation. Moreover, instead of the number of scholars per universities, techno-parks have positive and statistically significant impacts.**Originality:** The effectiveness of the R&D and innovation supports was analyzed by utility model, trademark, and design registrations as well as patent registrations. In addition, with the analysis conducted at the level of 81 provinces, regional relationship could be examined and the robustness of the findings was increased thanks to the increasing number of observations.**Keywords:** R&D Supports, Innovation, SEMs, Cross-Sectional Data Analysis.**JEL Codes:** C21, O31, O32.

\* Bu çalışma, Emine Bayrak Urasoğlu tarafından İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü'nde Doç. Dr. Necmettin Çelik danışmanlığında yürütülen "Türkiye'de Ar-Ge ve İnovasyon Kapasitesi Açısından KOSGEB'in Etkinliği" başlıklı Yüksek Lisans Tezi'nden türetilmiştir.

<sup>1</sup> KOSGEB İzmir Müdürlüğü, İzmir, Türkiye

<sup>2</sup> İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, İzmir, Türkiye

Sorumlu Yazar-Corresponding Author: Emine Bayrak Urasoğlu, emineurasoglu@gmail.com

DOI: 10.51551/verimlilik.1636799

Araştırma Makalesi / Research Article | Geliş / Submitted: 14.02.2025 | Kabul / Accepted: 30.05.2025

Atıf/Cite: Bayrak Urasoğlu, E. ve Çelik, N. (2025). "KOBİ'lere Yönelik Ar-Ge Desteklerinin İnovasyon Kapasitesi Üzerindeki Etkinliği: İllere Dayalı Yatay Kesit Veri Analizi", *Verimlilik Dergisi*, 59(3), 625-646.

**EXTENDED ABSTRACT**

R&D activities and innovation have become indispensable tools for economic growth and international competitiveness today. However, their high cost structures prevent Small and Medium-sized Entrepreneurs (SMEs) in particular from giving them the necessary importance. It reveals the importance of public support for the innovation capacity of SMEs. Indeed, most of the studies in the literature indicate that R&D support increase innovation. Accordingly, it is understood that R&D support can be an essential policy tool in increasing the innovation performance of SMEs that benefit relatively less from economies of scale. In addition, the fact that SMEs, which have a significant share in terms of firms and labor force in Türkiye, have low and medium-low technology patterns reveals the necessity of R&D supports in order for SMEs to transform into a more innovative structure. For this purpose, many support programs are implemented by KOSGEB in Türkiye. However, their effectiveness is uncertain.

It is very important for SMEs, which are dominant in the economy, to carry out R&D and innovation activities and support these activities in order for countries to be effective in the global economy. However, the effectiveness of R&D supports for SMEs is controversial both theoretically and empirically. On the other hand, national literature is insufficient. Therefore, the aim of this study is to empirically investigate the impact of the R&D and Innovation Program, one of the KOSGEB supports between 2010 and 2021, on the innovation performance of 81 provinces.

The impacts of R&D and innovation supports provided by KOSGEB in the period 2010-2021 over 81 provinces, on output-based innovation proxies that are patent registrations, utility model registrations, trademark registrations and design registrations were analyzed by Cross Sectional Data Analysis based on the Ordinary Least Square (OLS) Estimator. In empirical analysis, GDP per capita, the number of scholars per university, the number of technoparks were also considered as other important determinants of innovation.

Empirical findings indicate that a 10% increase in KOSGEB R&D and innovation support increases patent registration rates by 6.9%. As these supports for SMEs increase, utility model registrations, design registrations and trademark registrations, which are other output-based indicators of innovation, also increase. Accordingly, it is revealed that a 10% increase in the KOSGEB R&D and Innovation support increases the utility model registration rates, design registration rates and trademark registration rates by 6.5%, 4.4% and 6.2%, respectively. In addition, unlike the number of scholars per university, technoparks have statistically significant and positive impacts on the innovation performance of provinces in terms of patent and trademark registrations.

As a result of the study, it is seen that KOSGEB supports are most effective on patent registrations, followed utility model, trademark, and design registrations, respectively. It arises from the differences in the characteristics of patent, utility model, trademark, and design process. While patents are more directed towards the invention of new products in the industrial field, the utility model is directed towards invention that consist of a new technique that can be integrated into industry and do not exceed the currently existing method. However, trademark allows the products and services produced by a company to be distinguished from the products and services produced by other companies (TPE, 2007-2011;12-16) while design allows the visual design on the whole or a certain part of a product to be distinguished (TPE, 2018-2022;8). From this perspective, it is understood that patent and utility model are the direct targets of R&D supports in terms of their nature. Therefore, it can be evaluated that the supports directly affect patent and utility model while they indirectly affect other innovation indicators. Moreover, in order to increase innovation performance of the provinces, university-industry cooperation programs and the number of active technoparks should be increased in all provinces.

In the study, variables such as urbanization rate, digitalization, and technological infrastructure, which are considered as other determinants of innovation in the literature, could not be used because they cannot be expressed as cumulative values. If the KOSGEB statistics can be obtained annually, it would be possible to analyze a similar study with wider set of independent variables and using more advanced estimation methods. Finally, in future studies, investigating the effectiveness of KOSGEB's other innovation programs such as TEKMER Support Program and the R&D, P&D and Innovation Support Program on related macro-aggregates will fill the gap in the national literature and provide a holistic perspective on the effectiveness of KOSGEB practices, allowing the development of alternative policy recommendations for KOSGEB supports.

## 1. GİRİŞ

Küreselleşen ve gelişen dünyada ülkeler, büyüme ve ekonomik kalkınma amaçlarını gerçekleştirebilmek için iktisadi ve mali konular üzerinde çalışmalar yapmaktadır. 21. yüzyılda önemi giderek artan Ar-Ge ve inovasyon faaliyetleri, sürdürülebilir ekonomik büyüme ve kalkınmanın sağlanabilmesi için önemli bir unsur haline gelmiştir. Başka bir ifadeyle, günümüzde, ülkelerin iktisadi gelişmişlik seviyelerini ülkelerin büyüme sürecindeki temel unsurlardan biri olan (Romer, 1990) inovasyon<sup>3</sup> ve teknolojik faaliyetler sonucu elde ettikleri yeni mal, hizmet veya süreçler belirlemektedir. Günümüzde, teknolojik performansı belirlemede gösterge olarak değerlendirilebilecek olan Ar-Ge harcamaları, ülke ekonomisinin büyüme performansını ve ülkenin uluslararası alanda rekabet edebilirlik gücünü belirleyen bir faktör haline gelmiştir (Saygılı, 2003: 70). Ampirik literatürdeki çalışmaların (Özer ve Çiftçi, 2009; Dam ve Bülent, 2016; Kutbay, 2017; Baykul, 2018) bulguları da yeniliğin önemini net bir şekilde ortaya koymaktadır. Bu doğrultuda hem özel sektör hem de kamu sektörü tarafından yenilik faaliyetlerine önem verilmeye başlanmış ve Ar-Ge ve inovasyon harcamaları için bütçeler oluşturulmuştur. Özel sektörün kendi imkanları ile gerçekleştirdiği harcamalarının yanında kamu tarafından Ar-Ge ve inovasyona yönelik teşvik ve destekler sağlanması yoluna gidilmiştir. Böylelikle son yıllarda birçok ülkede yapılan yasal düzenlemeler ile ülkelerin Ar-Ge harcamalarının ve dolayısıyla inovasyon kapasitesinin artırılması, ekonomi politikaları çerçevesinde öncelikli alanlar arasında yer almıştır.

Bununla birlikte, ekonomilerin inovasyon kapasitelerinin ve inovasyonun iktisadi büyüme süreçleri üzerindeki etkinliğinin artabilmesi, bilgi dışsallıkları, kümelenme, üniversite-sanayi iş birliği, kalifiye işgücü havuzu ve beşerî sermaye gibi birçok unsura bağlıdır. Bu noktada, inovasyon süreçleri üzerinde etkili olan unsurların başında, bilgi dışsallıkları gelmektedir.<sup>4</sup> Bilgi dışsallıkları, yeni bilginin, onu üretenin kontrolü dışında, yayılmasını (Turkcan, 2015) ya da transferini ifade etmektedir. Özellikle bilgi dışsallıklarının sağlanabildiği durumlarda, yeni bilgi ve teknolojiler daha az maliyetle üretilebilmekte; buna bağlı olarak, inovasyonun ekonomi üzerindeki etkileri daha belirgin hale gelmektedir. Bilgi dışsallıkları ise, teknolojik yakınlık, coğrafi yakınlık ve üniversite-sanayi iş birliği gibi unsurlara göre değişkenlik göstermektedir. Literatürde, bilgi dışsallıklarının benzer teknolojilere sahip olan (Fischer ve diğerleri, 2006; Maggioni ve Uberti, 2009) ve aynı ya da birbirine yakın lokasyonlarda yer alan (Anselin ve diğerleri, 1997; Anselin ve diğerleri, 2000; Varga, 2000; Rodriquez, 2014) benzer endüstrilerdeki (Fischer ve diğerleri, 2006) firmalar arasında, farklı teknolojilere sahip olan ve birbirinden uzak lokasyonlarda yer alan farklı endüstrilerdeki firmalara nazaran, daha yüksek ve güçlü olacağı vurgulanmaktadır (Autant ve LeSage, 2011). Bu durum, aynı endüstri içinde benzer teknolojilere sahip olan firmaların coğrafi olarak aynı lokasyonda kümelenmelerinin, özellikle kalifiye işgücü havuzu ve işgücünün hareketliliği (Antonelli, 2000), üniversite-sanayi-teknoloji bölgeleri iş birliği (Antonelli, 1994; Anselin ve diğerleri, 1997; Anselin ve diğerleri, 2000; Fischer ve Varga, 2003; Montoro-Sancez ve diğerleri, 2011) gibi kanallar aracılığıyla, bilgi dışsallıklarını hızlandırarak inovasyonun ekonomi üzerindeki etkinliğini arttırdığını ortaya koymaktadır.

Bununla birlikte, inovasyon faaliyetlerinin Türkiye ekonomisinde olduğu gibi dünya genelinde de ağırlıklı paya sahip olan Küçük ve Orta Ölçekli İşletmelerin (KOBİ) bünyesinde yaygınlaştırılması, inovasyonun ekonomi üzerindeki etkinliği arttıracak bir diğer husustur. Bu açıdan bakıldığında, benzer endüstrilerde yer alan ve benzer teknolojilere sahip olan KOBİ'lerin mekânsal olarak birbirlerine ve bilginin üretildiği üniversite ve teknopark gibi merkezlere yakın olmalarını sağlayacak kümelenme örüntüleri, KOBİ'lerin inovasyon kapasitelerinin artırılmasında ciddi bir öneme sahiptir. Ancak, tüm bu uygun ortam ve koşullar sağlansa dahi, yeni bir bilginin üretilmesinin yüksek Ar-Ge harcamalarına bağlı olarak maliyetli bir süreç olması, sermayesi sınırlı olan KOBİ'lerin mali açıdan desteklenmeleri gerektiğini gündeme getirmektedir. Başka bir ifadeyle, bilgi dışsallıkları, kümelenme, üniversite-sanayi işbirliği, kalifiye işgücü havuzu ve beşerî sermaye birikimi gibi unsurların yanı sıra KOBİ'lerin inovasyon kapasitesi üzerinde etkili olan ve ulusal literatürün aksine uluslararası literatürde sıkça tartışılan bir diğer husus, özellikle KOBİ'lere yönelik kamusal Ar-Ge ve İnovasyon destekleridir (Koga, 2005; Wu, 2005; Zhu, 2006; Corchuelo ve Martínez-Ros, 2010; Ernst ve Spengel, 2011; Lokshin ve Mohnen, 2012; Czarnitzki ve diğerleri, 2010; Ambrammal ve Sharma, 2014; Doh ve Kim, 2014; Guo ve diğerleri, 2016; Bronzini ve Piselli, 2016; Liu ve diğerleri, 2016; Bösenberg ve Egger, 2017; Svoboda, 2017; Czarnitzki ve Hussinger, 2018; Sterlacchini ve Venturini, 2019; Chen ve Yang, 2019; Seçilmiş ve Konu, 2019; Hottenrott, 2020; Köseoğlu ve Erdem, 2021).

<sup>3</sup> İnovasyon kavramı, OECD Oslo Kılavuzu'nda, "İşletme içi uygulamalarda, işyeri organizasyonunda veya dış ilişkilerde yeni veya önemli derecede iyileştirilmiş ürün (mal veya hizmet) veya süreç, yeni bir pazarlama yöntemi ya da yeni bir organizasyonel yöntemin gerçekleştirilmesi" TUBİTAK (2005) şeklinde tanımlanmıştır. Belirtilen geniş tanımdan anlaşılacağı üzere, inovasyon tanımının sadece yeni teknolojik ürün ya da süreçler olmadığı, bunların yanında yeni pazarlama yöntemleri ve örgütsel faaliyetler ile ilişkili olduğu anlaşılmaktadır.

<sup>4</sup> Bilgi dışsallıkları, mevcut bir bilginin, benzer ya da farklı yeni bir bilginin üretiminde kullanılabilir olmasını; başka bir ifadeyle, bir araştırma faaliyeti neticesinde elde edilen bir bilgi ya da teknolojinin başka bir araştırma faaliyetinin girdisi olmasını ifade etmektedir (Antonelli, 2003).

Ar-Ge ve inovasyon faaliyetleri bilimsel, teknolojik ve ticari açıdan birçok belirsizlik barındırmakta ve proje sonuçlarına ulaşılabilmesi oldukça zaman alabilmektedir (Barış ve Farıma, 2024). Bu durum, inovasyon yapmak istenmesine karşın belirsizlik sürecinin sebep olduğu yüksek maliyetleri karşılayabilecek maddi gücü olmayan KOBİ'leri yenilik yapmaktan uzaklaştırmakta ya da yalnızca kamu kaynağı sayesinde yenilik faaliyetlerini gerçekleştirebilmelerini (Erden, 2009) gündeme getirmektedir. Bu açıdan bakıldığında, küçük ölçekli olmanın KOBİ'ler için maliyet dezavantajları yaratması ve KOBİ'lerin Ar-Ge kapasitesinin sınırlı olması gibi sebepler kamusal Ar-Ge ve inovasyon desteklerinin gerekçeleri arasında bulunmaktadır (Doh ve Kim, 2014). Literatürdeki çalışmaların büyük bir kısmı, Ar-Ge desteklerinin gerek firma ölçeğinde gerekse de endüstri, bölge ya da ulusal ekonomi ölçeğinde yenilik potansiyelini arttırdığına dair bulgular ortaya koymaktadır. Buna göre, Ar-Ge ve inovasyon destekleri, firmaların yenilikçi çalışmaları yürütmek için ihtiyaç duyulan kaynaklara ulaşmalarını kolaylaştırarak pozitif yenilikçi çıktıların meydana gelmesini sağlayabilmektedir (Şahin, 2024). Öte yandan kamu tarafından gerçekleştirilen Ar-Ge faaliyetleri inovasyon üzerinde yaygın olmasa da coğrafi veya bilimsel alanla ilgili pozitif dışsallıklar oluşturmakta ve kamu faaliyetlerine bağlı olan özel sektörü motive etmektedir (Erden, 2009). Bu açıdan bakıldığında, Ar-Ge ve inovasyon faaliyetlerine yönelik desteklerin, ölçek ekonomilerinden görece daha az avantaj sağlayan özellikle KOBİ'lerin yenilik performansının artırılmasında, önemli bir politika aracı olabileceği anlaşılmaktadır.

Öte yandan, TÜİK'in 2022 yılı Küçük ve Orta Büyüklükteki Girişim İstatistiklerinden derlenen istatistiklere göre, Türkiye'de KOBİ'lerin %56,4'ü düşük teknoloji düzeyinde; %32'si ise, orta-düşük teknoloji düzeyinde faaliyet göstermektedir. Yüksek ve orta-yüksek teknoloji düzeyinde faaliyet gösteren KOBİ'lerin oranı ise, yalnızca %12,03 ile sınırlıdır (TÜİK, 2022). Bu açıdan bakıldığında, özellikle girişim sayısı ve istihdam sayısı açısından ekonomi genelinde ciddi bir paya sahip olan KOBİ'lerin belirgin bir şekilde düşük ve orta-düşük teknolojiye dayalı üretim kollarında faaliyet gösterdikleri; bununla birlikte, yüksek ve orta-yüksek teknoloji düzeyinde faaliyet gösteren KOBİ'lerin oldukça az olduğu anlaşılmaktadır. 2022 yılındaki patent tescillerinin ise, yalnızca %22,7'sinin KOBİ'ler tarafından alındığı ve KOBİ'lerin başvuru başına düşen patent tescil oranının yaklaşık %40 olduğu görülmektedir. Bu durum, Türkiye'de daha ziyade düşük ve orta-düşük teknoloji düzeyinde faaliyet gösteren KOBİ'lerin yenilik yaratma kapasitesi ve performanslarının düşük olduğunu ortaya koymaktadır. Bu açıdan bakıldığında, KOBİ'lerin daha yenilikçi bir yapıya dönüşebilmelerine yönelik uygulanan Ar-Ge ve inovasyon destek politikalarının, Türkiye özelinde, önemi ve gerekliliği anlaşılmaktadır. Bunun doğal bir sonucu olarak, On İkinci Kalkınma Planı'nda (2024-2028), KOBİ'lerin verimlilik düzeylerinin yanı sıra dış ticaret kapasiteleriyle birlikte yenilikçi ve rekabetçi seviyelerinin artırılması, teknoloji ihracatı gerçekleştirebilme ve yüksek teknoloji faaliyet alanlarında bulunma yetilerinin geliştirilmesi hedeflenmektedir (T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2023). Bu hedeflerin sağlanabilmesi noktasında ise, KOBİ ve girişimcileri yenilikçi ve rekabetçi, ikiz dönüşüm ve ihracat odaklı bir yapıya kavuşturarak sürdürülebilir bir ekonomik gelecek inşa etme misyonuna sahip bir kuruluş olarak karşımıza (KOSGEB) Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeleri Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı çıkmaktadır (KOSGEB, 2024-2028: 1). Öyle ki, KOSGEB'in hedef kitlesi olan KOBİ'lere yönelik belirlemiş olduğu stratejik planın On İkinci Kalkınma Planı'nın hedefleriyle tutarlı olduğu anlaşılmaktadır.

KOSGEB, özellikle KOBİ'lerin inovasyon potansiyellerini arttırmak noktasında, çeşitli programlar uygulamaktadır. Bunlardan en önemlileri, Ar-Ge ve İnovasyon Destek Programı, TEKMER Destek Programı, Ar-Ge, Ür-Ge ve İnovasyon Destek Programı'dır. KOSGEB tarafından KOBİ'lere yönelik uygulanmış programlardan biri olan Ar-Ge ve İnovasyon Programı kapsamında, 2010-2021 dönemi boyunca, girişimcilerin ve işletmelerin yeni üretilecek ya da geliştirme ihtiyacı olan mevcut ürün, süreç veya hizmetin üretilmesi, ürün kalitesinin ya da ürün standardının artırılması ya da maliyet düşürücü özellikte yeni yöntemler ve teknikler ile yenilikçi ve teknolojiye dayalı üretim tekniklerinin geliştirilmesi gibi konularda Ar-Ge ve inovasyon özelliği taşıyan projelere 501 Milyon TL destek ödemesi yapılmıştır (KOSGEB, 2020: 3, KOSGEB, 2022: 7). Ancak, KOSGEB tarafından KOBİ'lere yönelik sağlanan bu Ar-Ge ve inovasyon desteklerinin ne derece etkin olduğu; başka bir ifadeyle, firmaların yenilikçi kapasitelerini artırıp arttırmadığı, ulusal ampirik literatürün yetersizliği sebebiyle, tartışma konusudur. Öte yandan, KOBİ ve girişimcilere yönelik verilen destek ve teşviklerin etkinliğinin analiz edilebilmesi için kapsamlı bir izleme sistemi kurulması gerekliliği, yine On İkinci Kalkınma Planı'nın maddeleri arasında yer almaktadır (T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2023).

Bu kapsamda çalışmada, KOSGEB tarafından 2010-2021 yılları arasında ve 81 il düzeyinde KOBİ'lere yönelik sağlanan Ar-Ge ve inovasyon desteklerinin illerin patent, faydalı model, tasarım ve marka tescilleri gibi çıktı temelli inovasyon göstergeleri üzerindeki etkilerinin OLS Tahmincisine dayalı Kesit Veri Analizi yardımıyla incelenmesi amaçlanmaktadır. Başka bir ifadeyle, On İkinci Kalkınma Planı'nın (T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2023) KOBİ'lerin yenilik performansının artırılmasına yönelik hedeflerinin gerçekleştirilebilmesinde, benzer stratejik hedeflere sahip olan KOSGEB'in ne derece başarılı olabildiğinin araştırılması amaçlanmaktadır.

Çalışmada inovasyon göstergesi olarak patent tescillerinin yanı sıra faydalı model, tasarım ve marka tescillerinin de dikkate alınması, ulusal literatürdeki ciddi bir eksikliği gidermektedir. Nitekim ulusal literatürdeki çalışmaların büyük bir kısmında, Türk Patent ve Marka Kurumu (TPE) İstatistiklerine göre yenilik performansı içerisindeki payı nispeten daha düşük olan patent tescillerinin dikkate alındığı; buna karşın, payları daha yüksek olan diğer tescil türlerinin göz ardı edildiği anlaşılmaktadır. Öyle ki, 2010-2021 dönemi dikkate alındığında, çıktı temelli yenilik göstergeleri arasında %63'lük payla marka tescillerinin birinci sırada geldiği; bunu sırasıyla, %33'lük payla tasarım tescillerinin izlediği; faydalı model ve patent tescillerinin oranının ise, yalnızca %2 olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, çalışmanın il düzeyinde analizler içermesi, gözlem sayısındaki artışa bağlı olarak özellikle KOSGEB Desteklerine dair veri kısıtının olumsuz etkilerinin azaltılmasını ve daha dirençli bulgular sunulmasını sağlamaktadır.

Bu doğrultuda çalışmada, ilk olarak, KOBİ'lerin Türkiye ekonomisindeki yeri, yenilik göstergeleri ve Ar-Ge ve İnovasyon Programı kapsamında verilen desteklerin dağılımı incelenmiştir. Sonrasında, Ar-Ge ve inovasyona yönelik desteklerin etkinliğine dair ampirik literatür sentezlenmiştir. Son olarak, yapılan ekonometrik analiz neticesinde elde edilen bulgular doğrultusunda politika önerileri sunulmuştur.

## 2. KOBİ'LERİN TÜRKİYE EKONOMİSİNDEKİ YERİ ve KOSGEB DESTEKLERİ

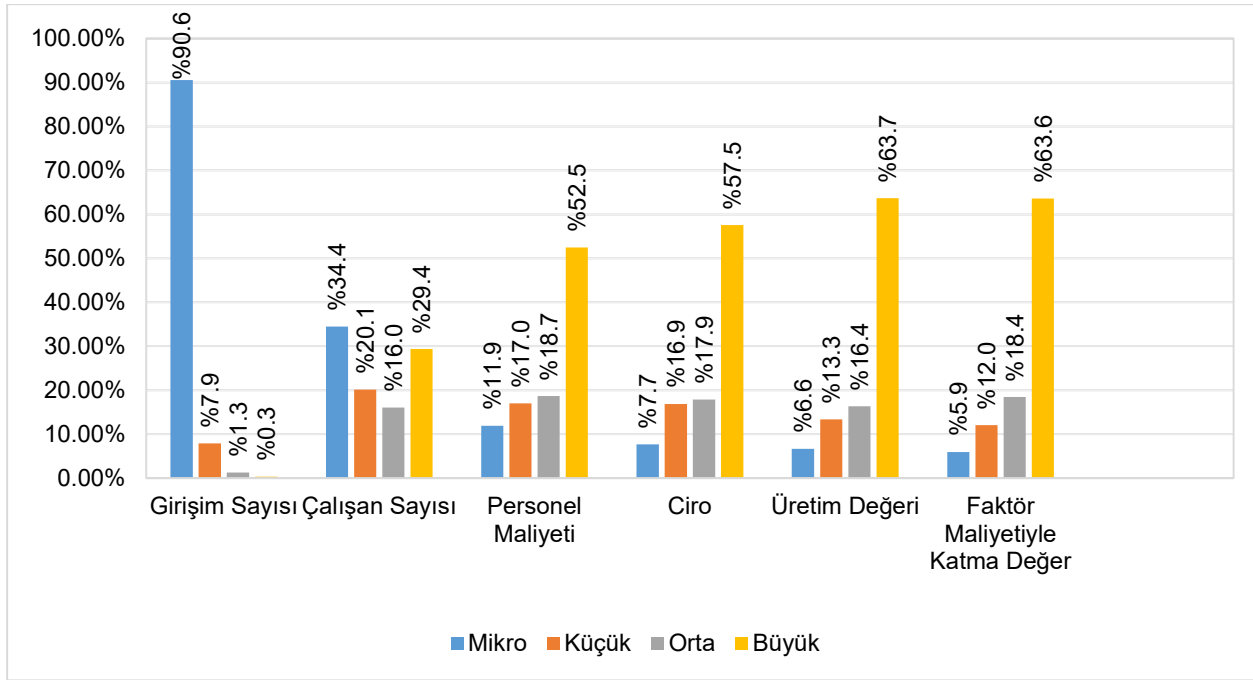
Küreselleşme süreciyle birlikte tek tip ve kitlesel üretim modeli yerine çeşit ekonomisi üretim modelinin ön plana çıkması ve büyük ölçekli işletmelerin bu çeşitliliğe ve rekabet ortamına uyum sağlama sürecinde karşılaştıkları sorunlar, KOBİ'lerin<sup>5</sup> sayılarının artmasına sebep olmuştur (Özdemir ve diğerleri, 2011). Nitekim değişimlere daha kolay uyum sağlayabilen, esnek, dinamik ve krizlere karşı daha dayanıklı yapıları, KOBİ'lerin öneminin dünya genelinde artmasını beraberinde getirmektedir. Bununla birlikte, KOBİ'lerin işgücüne sağladıkları katkı dolayısıyla tüm dünyada özel sektörün önemli bir yapıtaşı haline geldiği anlaşılmaktadır (Al-Mahrouq, 2010). Ancak, KOBİ'lere atfedilen bu önem, KOBİ'lerin verimlilikleri ve rekabet düzeylerinin; başka bir açıdan, inovasyon ve teknoloji kapasitelerinin yüksek olmasıyla ilişkilidir. Aksi durumda, KOBİ'lerin bulundukları piyasanın gerisinde kalmasından kaynaklı piyasadan çekilmeleri gündeme gelmektedir (Polat ve diğerleri, 2023).

### 2.1. Türkiye Ekonomisinde KOBİ'ler ve İnovasyon Kapasiteleri

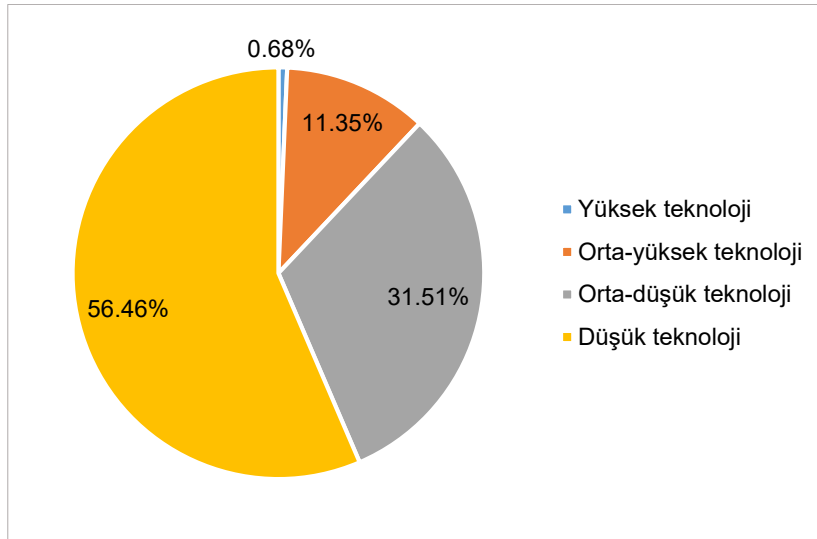
Küreselleşme ve Avrupa Birliği uyum süreciyle birlikte Türkiye'de KOBİ'lerin varlığı daha çok önem kazanmaya başlamıştır. TÜİK'in Küçük ve Orta Büyüklükteki Girişim İstatistiklerine göre, Türkiye'de KOBİ'ler 2022 yılında toplam girişim sayısının %99,7'sini; istihdamın ise, %70,6'sını; buna karşın, cironun %42,5'ini, üretim değerinin ise, %36,3'ünü karşılamaktadır. KOBİ'lerin kendi aralarındaki dağılıma bakıldığında ise, Şekil 1'den anlaşılabileceği üzere, girişim sayısı ve istihdam sayısı açısından ilk sırada mikro ölçekli işletmeler gelmekte iken diğer göstergeler açısından ölçek küçüldükçe paylarının azaldığı anlaşılmaktadır. Bu doğrultuda, personel maliyeti, ciro, üretim değeri ve faktör maliyetiyle katma değer gibi göstergelerden en fazla paya büyük ölçekli işletmelerin sahip olduğu; bunu sırasıyla, orta ölçekli, küçük ölçekli ve mikro ölçekli işletmelerin izlediği görülmektedir. Bu açıdan bakıldığında, personel maliyeti, ciro, üretim değeri ve katma değer gibi unsurlar açısından büyük ölçekli firmaların; ancak girişim ve istihdam sayıları açısından ise, KOBİ'lerin Türkiye ekonomisinde ciddi bir öneme sahip olduğu anlaşılmaktadır.

Bununla birlikte, imalat sanayindeki KOBİ'lerin teknoloji düzeyleri incelendiğinde ise, Şekil 2'ye göre, Türkiye'deki KOBİ'lerin %56,46'sının düşük teknoloji; %31,51'inin ise, orta düşük teknoloji yoğun sektörlerde faaliyet gösterdikleri anlaşılmaktadır. Buna karşın, orta yüksek ve yüksek teknoloji yoğun sektörlerde faaliyet gösteren KOBİ'lerin payı, yalnızca %12,03'tür. Bu açıdan bakıldığında, özellikle girişim sayısı ve istihdam potansiyeli açısından yüksek paya sahip olan KOBİ'lerin belirgin bir şekilde düşük ve orta-düşük teknolojiye yoğun sektörlerde faaliyet gösterdikleri; yüksek ve orta-yüksek teknoloji düzeyinde faaliyet gösteren KOBİ'lerin ise, oldukça az olduğu anlaşılmaktadır.

<sup>5</sup> KOBİ tanımı her ülkede farklılık göstermekle birlikte, Türkiye'de, ortak bir KOBİ tanımı oluşturulabilmesi adına 2005 yılında "Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmelerin Tanımı, Nitelikleri ve Sınıflandırılması Hakkında Yönetmelik" yayınlanmıştır. Buna göre, KOBİ kavramı, mikro, küçük ve orta büyüklükteki işletmeleri ifade etmektedir. Mikro İşletmeler (0-9 çalışan), yıllık 10 kişiden az çalışanı olan ve yıllık net satış hasılatı veya mali bilançosundan herhangi birisi On Milyon Türk Lirasını aşmayan işletmelerdir. Küçük İşletmeler (10-49 çalışan), yıllık 50 kişiden az çalışanı olan ve yıllık net satış hasılatı veya mali bilançosundan herhangi birisi Yüz Milyon Türk Lirasını aşmayan işletmelerdir. Son olarak, Orta Büyüklükteki İşletmeler (50-249 çalışan) ise, yıllık 250 kişiden az çalışanı olan ve yıllık net satış hasılatı veya mali bilançosundan herhangi birisi Beş Yüz Milyon Türk Lirasını aşmayan işletmelerdir (Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmeler Yönetmeliği, Mayıs 2023, 32201)

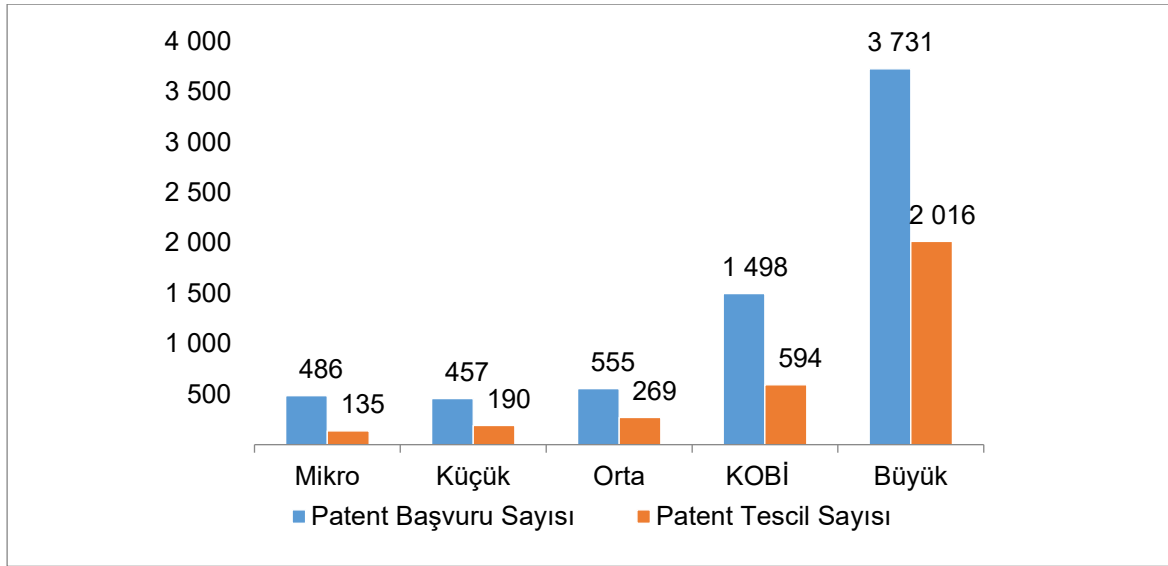


Şekil 1. Temel göstergelerin firma ölçeklerine göre dağılımı (%) (TÜİK, 2022)



Şekil 2. İmalat sanayindeki KOBİ'lerin teknoloji düzeyine göre dağılımları (%) (TÜİK, 2022)

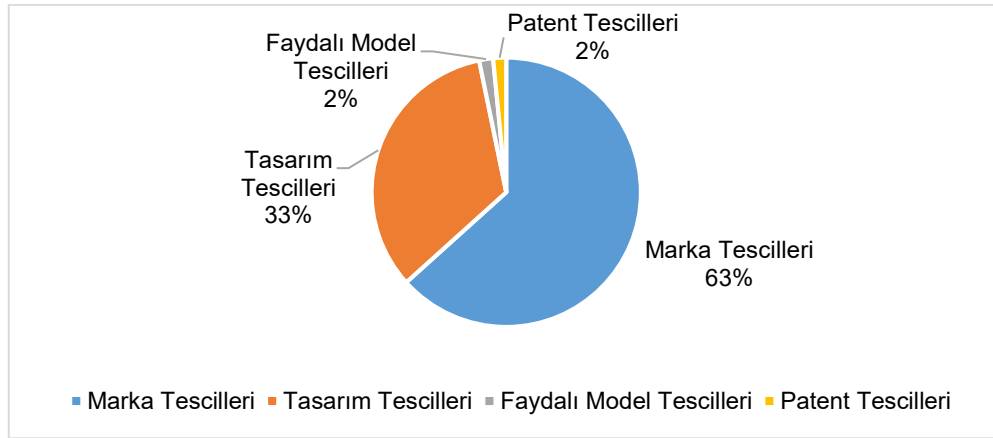
Sonuç olarak, Türkiye'de KOBİ'lerin emek yoğun ve düşük teknoloji yoğun üretim desenlerine sahip olduğu; yenilikçi yapılarının ise, yetersiz kaldığı anlaşılmaktadır. Nitekim günümüzde teknoloji ve yenilik potansiyelinin önemli bir göstergesi olarak kabul edilen patent tescil sayıları incelendiğinde, 2022 yılı verilerini içeren Şekil 3'ten de anlaşılabileceği üzere, patent tescillerinin %77,2'si büyük ölçekli firmalar tarafından gerçekleştirilmiş; KOBİ'lerin toplam patent tescilleri içindeki payı ise, %22,7 ile sınırlı kalmıştır. Ayrıca, büyük ölçekli firmaların başvuru başına düşen patent tescil oranı %54 iken; KOBİ'lerde bu oran, yaklaşık %40'tır. Buna ek olarak, KOBİ'lerin ölçek büyüklükleri azaldıkça yenilik potansiyeli ve performansları da azalmaktadır. Buna göre, 2022 yılı başvuru başına düşen patent tescil oranı göz önüne alındığında, bu oran orta ölçekli işletmelerde %48,4; küçük ölçekli işletmelerde %41,5; mikro işletmelerde ise, %27,7'dir. Bu açıdan bakıldığında, KOBİ'lerin yenilik potansiyelinin yanı sıra yenilik performansının da büyük ölçekli firmalara nazaran yetersiz olduğu; ölçek küçüldükçe KOBİ'lerin yenilik potansiyeli ve performansının daha da azaldığı anlaşılmaktadır.



Şekil 3. Büyüklük gruplarına göre patent başvuru ve tescil sayılarının dağılımı (TÜİK, 2022)

## 2.2. KOSGEB Ar-Ge ve İnovasyon Destekleri ve İllerin İnovasyon Kapasitesi

Türkiye genelinde, 2010-2021 yılı ortalama değerleri dikkate alındığında, Şekil 4'ten de görülebileceği üzere, çıktı temelli yenilik göstergeleri arasında %63'lük payla marka tescillerinin birinci sırada geldiği; bunu sırasıyla, %33'lük payla tasarım tescillerinin ve %2'ser payla faydalı model ve patent tescillerinin izlediği görülmektedir. Bu açıdan bakıldığında, Türkiye genelinde, yenilik faaliyetlerinin belirgin bir şekilde marka ve tasarım tesciline dayandığı; faydalı model ve patent tescillerinin göreceli payının oldukça düşük olduğu anlaşılmaktadır.



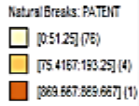
Şekil 4. Türkiye'de çıktı temelli yenilik göstergelerinin yüzdesel dağılımı (2010-2021 Ortalamaları İtibarıyla) (TPE, 2010-2021)

Bununla birlikte, Şekil 6-9'dan görülebileceği üzere, İstanbul, Ankara, İzmir, Bursa ve Kocaeli patent tescillerinde; Konya, faydalı model tescilinde; Antalya, Gaziantep ve Konya, marka tescillerinde; Gaziantep ve Kayseri ise, tasarım tescillerinde öne çıkmaktadır. Bununla birlikte, patent tescillerinin %50'sine, marka tescillerinin %48,8'ine, tasarım tescillerinin %43,7'sine ve faydalı model tescillerinin %41'ine sahip olan İstanbul'un belirgin bir şekilde Türkiye'nin yenilikte öncü ili olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca, Ankara'nın, tasarım tescil sayıları hariç, diğer çıktı temelli yenilik göstergeleri itibarıyla ikinci sırada geldiği; Bursa ve İzmir'in de göreceli konumları itibarıyla ön sıralarda olduğu görülmektedir. KOSGEB desteklerinin dağılımı incelendiğinde ise, 2010-2021 yılları ortalama değerleri itibarıyla, İstanbul'un %20,1 payla en yüksek destek ödemesinin yapıldığı il olduğu; bununla birlikte, Ankara, İzmir, Kocaeli ve Bursa'nın destek ödemesi açısından en fazla paya sahip olan diğer iller olduğu görülmektedir. Elde edilen bilgiler doğrultusunda, İstanbul, Ankara, İzmir ve Bursa'nın yenilik göstergeleri açısından en yüksek paya sahip olduğu; ayrıca, bu illerin KOSGEB destekleri açısından bakıldığında da benzer sıralamaya sahip olması sebebiyle, KOSGEB destekleri ile yenilik göstergeleri arasında pozitif yönlü bir ilişki olabileceği anlaşılmaktadır.



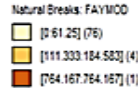
**Şekil 5. İllerin Faydalanmış Oldukları KOSGEB Destek Tutarları (2010-2021 Ortalamaları - ₺)**

Kaynak: KOSGEB (2022) istatistikleri üzerinden Yazarlar tarafından oluşturulmuştur.



**Şekil 6. İllerin Patent Tescil Sayıları (2010-2021 Ortalamaları)**

Kaynak: TPE istatistikleri üzerinden Yazarlar tarafından oluşturulmuştur



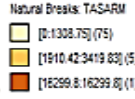
**Şekil 7. İllerin Faydalı Model Tescil Sayıları (2010-2021 Ortalamaları)**

Kaynak: TPE istatistikleri üzerinden Yazarlar tarafından oluşturulmuştur



**Şekil 8. İllerin Marka Tescil Sayıları (2010-2021 Ortalamaları)**

Kaynak: TPE istatistikleri üzerinden Yazarlar tarafından oluşturulmuştur.



**Şekil 9. İllerin Tasarım Tescil Sayıları (2010-2021 Ortalamaları)**

Kaynak: TPE istatistikleri üzerinden Yazarlar tarafından oluşturulmuştur.

### 3. LİTERATÜR ÖZETİ

Yeniliğin iktisadi büyüme ve çeşitli makro büyüklükler üzerindeki etkilerini inceleyen literatürün yanı sıra yeniliğin iktisadi belirleyicilerini inceleyen oldukça yaygın bir literatürün de olduğu görülmektedir. Bu literatür incelendiğinde, en genel haliyle, yeniliğin girdi temelli belirleyicilerinden biri olan Ar-Ge harcamalarını dikkate alan ve yeniliğin çıktı temelli göstergelerinden biri olan patent tescillerini ve/veya yeni ürün çıktısını dikkate alan literatür olmak üzere ikiye ayrıldığı görülmektedir. Bu açıdan bakıldığında, yeniliği patent tescilleri ve/veya yeni ürün miktarı gibi gösterge değişkenler üzerinden sayısallaştıran çalışmaların daha çok sayıda olduğu anlaşılmaktadır. Bununla birlikte, göreceli olarak az sayıda da olsa, patent sayılarının yanı sıra faydalı model, tasarım ve marka gibi yeniliğin diğer çıktı temelli göstergelerinin kullanıldığı çalışmalar (Doh ve Kim, 2014; Şenel, 2023) da bulunmaktadır.

Yeniliğin en önemli belirleyicilerinden biri olan Ar-Ge ve inovasyon desteklerinin gerek uluslararası gerekse de ulusal literatürde yaygın bir şekilde tartışıldığı ve bu çalışmaların bulguları itibarıyla oldukça homojen olduğu görülmektedir. Buna göre, Ar-Ge ve inovasyon desteklerinin Ar-Ge harcamaları, yeni ürün sayısı ve patent sayıları gibi göstergeler aracılığıyla yenilik üzerindeki etkinliğini inceleyen Koga (2005), Wu (2005), Zhu (2006), Corchuelo ve Martínez-Ros (2010), Ernst ve Spengel (2011), Lokshin ve Mohnen (2012), Czarnitzki ve diğerleri (2010), Doh ve Kim (2014), Göçer ve diğerleri (2014), Cin ve diğerleri (2016), Guo ve diğerleri (2016), Bronzini ve Piselli (2016), Liu ve diğerleri (2016), Bösenberg ve Egger (2017), Svoboda (2017), Czarnitzki ve Hussinger (2018), Sterlacchini ve Venturini (2019), Chen ve Yang (2019), Hottenrott (2020) ve Köseoğlu ve Erdem (2021) gibi çalışmaların bulgularının pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı olduğu; buna karşın, Ambrammal ve Sharma (2014) ve Seçilmiş ve Konu (2019) gibi az sayıda çalışmanın bulgularının istatistiksel olarak anlamsız olduğu görülmektedir. Benzer bir durum Türkiye özelindeki çalışmalar açısından da geçerlidir. Buna göre, Özçelik ve Taymaz (2008), Ela (2019), Ezanoğlu ve Çetin (2021), Şenel (2023) gibi çalışmalar, Ar-Ge ve inovasyon desteklerinin patent sayıları ya da Ar-Ge yoğunluğu göstergeleri aracılığıyla yenilik performansı üzerindeki etkilerinin pozitif yönlü ve istatistiksel olarak anlamlı olduğuna dair bulgular sunmaktadır.

Bu açıdan bakıldığında, firmaların yenilik faaliyetlerine yönelik Ar-Ge ve inovasyon desteklerinin yeniliğin artırılması noktasında etkin bir politika aracı olduğu anlaşılmaktadır. Bununla birlikte, bu etkinliğin firmaların

ölçek düzeylerine ve/veya teknoloji boyutlarına göre farklılaşabileceği; ancak, bu farklılıklara dair literatür bulgularının tartışmalı olduğu görülmektedir. Nitekim Koga (2005), Corchuelo ve Martínez-Ros (2010), Chen ve Yang (2019) gibi çalışmaların bulguları, firmaların ölçek düzeyleri arttıkça Ar-Ge ve inovasyon desteklerinin etkinliğinin arttığını; Lokshin ve Mohen (2012), Bronzini ve Piselli (2016), Liu ve diğerleri (2016), Sterlacchini ve Venturini (2019), Köseoğlu ve Erdem (2021), Ezanoğlu ve Çetin (2021) gibi çalışmaların bulguları ise, bu desteklerinin mikro ve küçük ölçekli işletmelerde, büyük ölçekli işletmelere nazaran, daha yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Son olarak, Corchuelo ve Martínez-Ros (2010), yüksek teknoloji alanlarında faaliyet gösteren firmalara yönelik desteklerin yenilik performansı üzerindeki etkinliğinin daha yüksek olduğuna dair bulgular sunmaktadır.

Son olarak, gelir düzeyinin yeniliğin bir diğer önemli belirleyicisi olduğu literatürde yaygın olarak kabul görmektedir. Buna göre, Wu (2005) gibi uluslararası ve Tüylüoğlu ve Saraç (2012), Akduğan ve Doğan (2022) gibi ulusal çalışmaların bulguları, gelir düzeyi ile yenilik performansı arasında pozitif yönlü ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğu yönündedir. Bununla birlikte, yeniliğin diğer belirleyicilerinden biri olarak Ar-Ge personel sayısı, teknisyen sayısı, üniversite sayısı, teknopark sayısı, araştırmacı sayısı ve/veya eğitim düzeyi gibi beşerî sermaye birikimine dair gösterge değişkenler de literatürde yaygın bir şekilde dikkate alınmaktadır. Bu çalışmalardan, Wu (2005), Tüylüoğlu ve Saraç (2012), Doh ve Kim (2014), Ezanoğlu ve Çetin (2021) gibi çalışmalar beşerî sermaye ile yenilik arasında pozitif yönlü bir ilişkiye dair bulgular sunarken Abay ve Akgüngör (2023) gibi çalışmalar herhangi bir anlamlı ilişki saptayamamıştır.

Genel olarak değerlendirilecek olursa, gerek Ar-Ge harcamaları; gerekse de patent ve yeni ürün çıktısı gibi göstergeler üzerinden sayısallaştırılan yeniliğin en önemli ve pozitif yönlü belirleyicilerinin gelir düzeyi, beşerî sermaye birikimi ve Ar-Ge ve inovasyon destekleri olduğu anlaşılmaktadır. Literatürdeki bu çalışmalara ilişkin detaylı bilgiler Tablo 1'de yer almaktadır.

Öte yandan çalışma kapsamında KOSGEB tarafından KOBİ'lere sağlanan Ar-Ge ve inovasyon desteklerinin patent tescillerinin yanı sıra tasarım, faydalı model ve marka tescilleri gibi inovasyon göstergeleri üzerindeki etkileri 81 il düzeyinde incelenmiştir.

Tablo 1. Literatür özeti

| Yazar(lar)                       | Kapsam-                                                                | Yöntem                                                       | Gösterge / Değişken                                | Bulgular                                                                                                                                                                                            |
|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Wu (2005)                        | Dönem:1979-1995<br>Kesit: 13 ülke                                      | Sabit Etkiler Panel Modeli                                   | Firma Başına Düşen Ar-Ge Harcamaları               | Ar-Ge kredi programları daha fazla Ar-Ge harcaması yapılması üzerinde etkilidir.                                                                                                                    |
| Koga (2005)                      | Dönem:1989-1998<br>Kesit: Japonya'da 904 İmalatçı Firma                | OLS                                                          | Ar-Ge Yatırımları                                  | Özellikle büyük ölçekli firmalarda daha etkili olan vergi teşvikleri Batı ülkelerine nazaran daha az etkilidir.                                                                                     |
| Zhu ve diğerleri (2006)          | Dönem:1993-2002<br>Kesit: Şangay 32 İmalat Sektörü                     | Genelleştirilmiş Momentler Metodu (GMM)                      | Ar-Ge Harcamaları                                  | Devlet destekleri Ar-Ge yatırımlarını pozitif etkilemektedir.                                                                                                                                       |
| Clausen (2009)                   | Dönem:1999-2001<br>Kesit: Norveç                                       | İki Aşamalı En Küçük Kareler (TSLS)                          | Özel Ar-Ge Harcamaları                             | Pazar desteklerinden uzak olan destekler Ar-Ge harcamaları ve Ar-Ge kalitesini arttırmaktadır.                                                                                                      |
| Czarnitzki ve diğerleri (2010)   | Dönem: 1997-1999<br>Kesit: Kanada Firmaları                            | Parametrik Olmayan Eşleştirme Yaklaşımı                      | Yeni Ürün Satışı, Yeni Ürün Sayısı                 | Vergi teşvikleri ek inovasyon çıktısına yol açmaktadır.                                                                                                                                             |
| Corchuelo ve Martínez-Ros (2010) | Dönem:1998-2002<br>Kesit: İspanya                                      | Eşleştirme Metodu ve İki Aşamalı Heckman Yöntemi             | Ar-Ge Faaliyetleri                                 | Vergi teşviklerinin büyük ve ileri teknoloji düzeyinde faaliyet gösteren işletmelerin yenilik aktivitelerini arttırdığı yönünde bulgular elde edilmiştir.                                           |
| Ernst ve Spengel (2011)          | Dönem: 1998-2007<br>Kesit: Avrupa Ülkeleri                             | Sabit Etkiler Panel Modeli, Logit Model, Binomial Model (NB) | Patent Sayıları                                    | Vergi teşvikleri Ar-Ge yatırımlarını arttırmaktadır.                                                                                                                                                |
| Tüylüoğlu ve Saraç (2012)        | Dönem: 1998-2007<br>Kesit: Gelişmiş Gelişmekte Olan Ülkeler            | Dinamik En Küçük Kareler (EKK) Yöntemi                       | Yerli Patent Başvuru Sayıları                      | Gelişmiş ülkelerde inovasyonun Ar-Ge ve beşerî sermaye yatırımlarına bağlı olduğu; gelişmekte olan ülkelerde ise, gelişmiş ülkelere yapılan bilgi transferi yoluyla ortaya çıktığı anlaşılmaktadır. |
| Lokshin ve Mohnen (2012)         | Dönem: 1996-2004<br>Kesit: Hollanda                                    | GMM                                                          | Ar-Ge Maliyetleri                                  | Ar-Ge teşvikleri firmaların Ar-Ge yatırımlarını teşvik etmede etkilidir.                                                                                                                            |
| Göçer ve diğerleri (2014)        | Dönem: 1999-2013<br>Kesit: Seçili Ülkeler                              | Panel Nedensellik ve Eşbütünleşme                            | Patent Başvuru Sayısı                              | Vergi teşviklerinden Ar-Ge harcamalarına, Ar-Ge harcamalarından da inovasyona doğru pozitif yönlü bir ilişki olduğu belirlenmiştir.                                                                 |
| Doh ve Kim (2014)                | Dönem: 2010<br>Kesit: Kore                                             | Havuzlanmış Panel Model (POLS)                               | Patent, Faydalı Model, Tasarım ve Marka Tescilleri | Kamu tarafından sağlanan teşviklerin KOBİ'lerin inovasyonu üzerinde pozitif etkileri olduğu sonucuna ulaşılmıştır.                                                                                  |
| Ambrammal ve Sharma (2014)       | Dönem:1995-2010<br>Kesit: Hindistan                                    | İki Aşamalı Hekman Yöntemi                                   | Verilen Patent Sayıları                            | Patent politikalarındaki değişiklikler Ar-Ge ve Ar-Ge yoğunluğunu etkilemektedir. Ancak, Hindistan'da Ar-Ge faaliyetleri ile patentler arasında ilişki bulunmamaktadır.                             |
| Liu ve diğerleri (2016)          | Dönem:2012<br>Kesit: Çin imalat sektöründe faaliyet gösteren 729 firma | Eğilim Skor Eşleşmesi                                        | Ar-Ge Yoğunluğu                                    | Kamu Ar-Ge destekleri Ar-Ge yatırımlarını pozitif yönde etkilemektedir. Özellikle küçük, mali açıdan kısıtlı ve özel sektöre ait firmalar üzerinde daha etkilidir.                                  |
| Bronzini ve Piselli (2016)       | Dönem: 2004-2005<br>Kesit: Kuzey İtalya'da 1246 Firma                  | Negatif Binomial Regresyon Analizi                           | Patent Başvuru Sayıları                            | Destek programı destekten yararlanan firmaların patent başvurularını pozitif yönlü etkilemekte; özellikle küçük ölçekli firmalarda pozitif yönlü bu etkiler daha belirgin olmaktadır.               |
| Guo ve diğerleri (2016)          | Dönem: 1998-2007<br>Kesit: Çin                                         | TSLS                                                         | Patent Sayısı Yeni Ürün Satışı ve İhracatı         | Teşviklerden yararlanan firmaların yararlanmayanlara göre daha yüksek teknolojiye sahip ticarileşmiş inovatif ürünler ürettiğine dair bulgulara ulaşılmıştır.                                       |

Tablo 1. (Devamı)

| Yazar(lar)                       | Kapsam-                                                                   | Yöntem                                                  | Gösterge / Değişken                           | Bulgular                                                                                                                                                                                                                         |
|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cin ve diğerleri (2017)          | Dönem: 2000-2007<br>Kesit: Kore'de 23 endüstri; 39,084 firma              | Tobit/Logit Dinamik Panel Model                         | Ar-Ge Harcamaları ve Katma Değer Verimliliği  | KOBİ'lere yönelik Ar-Ge teşvikleri, KOBİ'lerin Ar-Ge harcamaları ve verimlilikleri üzerinde etkilidir.                                                                                                                           |
| Bösenberg ve Egger (2017)        | Dönem: 1996-2012<br>Kesit: 106 Ülke                                       | Poisson ve Negatif Binomial Regresyon Analizi           | Patent Sayıları                               | Teşviklerin patent sayısını ve patent alımını artırdığı, patent satımını azalttığı sonucuna ulaşılmıştır.                                                                                                                        |
| Svoboda (2017)                   | Dönem: 2013<br>Kesit: 28 OECD ülkesi                                      | OLS                                                     | Patent/GSYİH Oranı                            | Araştırma ve geliştirme desteklerine yönelik vergi teşviklerinin direkt kamu fonlarından daha etkin olduğuna dair bulgular elde edilmiştir.                                                                                      |
| Czarnitzki ve Hussinger (2018)   | Dönem:1992-2000<br>Kesit: Almanya                                         | Probit Model                                            | Patent Başvuru Sayıları                       | Özel ve kamusal teşviklerin Ar-Ge'nin patent sayısı ve kalitesi üzerinde pozitif bir etkisi bulunmaktadır.                                                                                                                       |
| Sterlacchini ve Venturini (2019) | Dönem: 2007-2009<br>Kesit: Fransa, İtalya, İspanya, Birleşik Krallık      | Probit Model                                            | Ar-Ge Yoğunluğu                               | Ar-Ge vergi teşviklerinin sadece küçük firmalar üzerinde Ar-Ge yoğunluğunu arttırmada istatistiksel olarak anlamlı etkileri olduğuna dair bulgular elde edilmiştir.                                                              |
| Seçilmiş ve Konu (2019)          | Dönem: 2016<br>Kesit: OECD ülkeleri                                       | OLS                                                     | Global İnovasyon Endeksi                      | İnovasyon ile Ar-Ge teşvikleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olmadığını ortaya koymaktadır.                                                                                                                   |
| Chen ve Yang (2019)              | Dönem: 2010-2012<br>Kesit: Çin Firmaları                                  | Binary Lojistik Model                                   | Patent Sayıları                               | Firmalara uygulanan vergi teşviklerinin firmaların inovasyona yönelik girdi ve çıktılarını arttırdığı; ancak bu etkinin imalatçı ve büyük ölçekli firmalarda ortaya çıktığı sonucuna ulaşılmıştır.                               |
| Hottenrott (2020)                | Dönem: 2005-2012<br>Kesit: Almanya                                        | Probit Model                                            | Patent Sayıları                               | Teşviklerin yatırımları artırma konusunda kredilerden daha uygun olduğuna dair bulgular elde edilmiştir.                                                                                                                         |
| Köseoğlu ve Erdem (2021)         | Dönem: 2005-2016<br>Kesit: 302 Firma<br>Ar-Ge yatırımcısı firma           | Panel Kantil Regresyon ve Sistem GMM                    | İnovasyon Etkinliği Skorları                  | Nispeten daha küçük ölçekli, genç, hızlı büyüyen ve yenilikçi "süperstar" firmalar tarafından gerçekleştirilecek inovasyonun firma büyümesi üzerindeki etkisinin diğerlerine kıyasla çok daha büyük olduğu sonucuna varılmıştır. |
| Akdoğan ve Doğan (2022)          | Dönem:1981- 2019<br>Kesit: OECD ülkeler                                   | Panel Vector Autoregressive (VAR) Model                 | Patent Başvuru Sayıları                       | Ar-Ge harcamalarının inovasyonu etkileyen temel faktörlerden biri olduğu sonucuna ulaşılmıştır.                                                                                                                                  |
| Özçelik ve Taymaz (2008)         | Dönem:1992-2001<br>Kesit: Türkiye İmalat Firmaları                        | Tobit Model                                             | Ar-Ge Yoğunluğu                               | Ar-Ge destekleri özel Ar-Ge yatırımlarını hızlandırma etkisiyle pozitif olarak etkilemektedir.                                                                                                                                   |
| Ela (2019)                       | Dönem: 2008-2017<br>Kesit: Türkiye                                        | Korelasyon Analizi                                      | Patent Sayıları                               | Ar-Ge vergi teşvikleri ve patent sayıları arasında pozitif yönde ve güçlü bir ilişki olduğu saptanmıştır.                                                                                                                        |
| Ezanoğlu ve Çetin (2021)         | Dönem:2015 yılı girişim anketi<br>Kesit: Türkiye'ye ait 6006 firma verisi | Logit Regresyonu                                        | Yenilik Yapma İkili Değişken                  | Firmaların kamu desteği almalarının yanında destek miktarı ve desteği veren kurumun da firmaların yenilik yapma olasılığını artırdığı sonucuna ulaşılmıştır.                                                                     |
| Abay ve Akgüngör (2023)          | Dönem: 1978-2017<br>Kesit: Türkiye NUTS-3 Bölgeleri                       | Doğrusal Olasılık Modeli (LPM)                          | Patent sayıları                               | Teknopark ve üniversite sayısı ile bölgelerin teknolojik çeşitliliği arasında ilişki bulunamamıştır.                                                                                                                             |
| Şenel (2023)                     | Dönem: 2010-2020<br>Kesit: Türkiye IBBS-2 Bölgeleri                       | Sabit Etkiler Panel Modeli, Rassal Etkiler Panel Modeli | Patent, Faydalı Model ve Marka Başvuru Sayısı | KOSGEB tarafından verilen toplam destek miktarı, girişimcilik ve Ar-Ge desteklerinin, patent, faydalı model, marka başvurularıyla pozitif ilişkisi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.                                                 |

## 4. EKONOMETRİK ANALİZ

### 4.1. Veri

Çalışmada, KOSGEB tarafından 2010-2021 yılları arasında destek ödemesi yapılmış olan Ar-Ge ve İnovasyon Programının Türkiye'nin 81 ilinin yenilik performansı üzerindeki etkisi incelenmektedir. Seçilmiş ve Konu (2019) çalışmasında olduğu gibi yatay kesit olarak kurgulanan ekonometrik modelde, bağımlı değişken olarak, Ambrammal ve Sharma (2014) çalışmasında olduğu gibi, yeniliğin çıktı temelli göstergelerinden biri olan patent tescil verileri dikkate alınmıştır. Bunun yanı sıra, Doh ve Kim (2014) ve Şenel (2023) çalışmasında olduğu gibi, Türkiye'de payları daha yüksek olan; buna karşın, ulusal literatürde sıklıkla göz ardı edilen, faydalı model tescilleri, marka tescilleri ve tasarım tescilleri gibi inovasyon göstergeleri de alternatif modellerde diğer bağımlı değişkenler olarak dikkate alınmıştır. Başvuru sayısı yerine tescil sayılarının dikkate alınmasının sebebi, TÜİK Küçük ve Orta Büyüklükteki Girişim İstatistiklerine göre, KOBİ'lerin 2022 yılında her 10 başvurusundan yalnızca 4'ünün tescillenmiş olması; buna bağlı olarak, yapılan tüm başvuruların bir yenilik göstergesi olarak değerlendirilemeyeceğidir.

KOSGEB desteklerinin sayısallaştırılması noktasında ise, 81 il düzeyinde verilen desteklerin etkinliğinin ölçülebilmesi amacıyla, 2010-2021 dönemi boyunca işletmelere yönelik yapılan kümülatif destek tutarları (logkosgeb), açıklayıcı değişken olarak dikkate alınmıştır.<sup>6</sup> Bununla birlikte, yenilik performansının diğer belirleyicileri olarak Wu (2005), Tüylüoğlu ve Saraç (2012), Akduğan ve Doğan (2022) gibi çalışmalarda olduğu gibi illerin kümülatif gelir düzeyi (loggdp), Wu (2005) ile Doh ve Kim (2014) çalışmaları göz önünde bulundurularak üniversite başına düşen öğretim elemanı sayısı (logscholaruni) ile Abay ve Akgüngör (2023) çalışmasında olduğu gibi teknopark sayısı (logtekno) gibi gösterge değişkenler, diğer açıklayıcı değişkenler olarak dikkate alınmıştır. Literatürde yeniliğin diğer belirleyicileri olarak şehirleşme oranı, dijitalleşme ve teknolojik altyapı gibi birçok değişken de dikkate alınmaktadır. Ancak söz konusu bu kontrol değişkenler kümülatif değerler olarak ifade edilemeyeceğinden çalışma kapsamında dikkate alınamamışlardır. Buna karşın, çalışma kapsamında dikkate alınan üniversite, teknopark ve araştırmacı potansiyeli, ampirik literatürde (Wu, 2005; Tüylüoğlu ve Saraç (2012), Doh ve Kim, 2014; Ezanoğlu ve Çetin (2021) Abay ve Akgüngör, 2023) daha sık tercih edilen belirleyiciler olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu açıdan bakıldığında, açıklayıcı değişkenler kümesinin illerin yenilik potansiyelini temsil etme noktasında yeterli olduğu düşünülmektedir. Tüm değişkenler gerek esneklik hesabı yapılabilmesi gerekse de değişen varyans ve otokorelasyon gibi olası istatistikî sorunlardan kaçınılabilmesi amacıyla, logaritmik formda kullanılmıştır. Bu değişkenlerin karakteristik özellikleri Tablo 2'de yer almaktadır.

**Tablo 2. Değişkenlerin Karakteristik Özellikleri**

|                      | <i>Kısaltma</i> | <i>Açıklama</i>                                                                                                          | <i>Beklenen Etki</i> | <i>Kaynak</i>                 |
|----------------------|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-------------------------------|
| Bağımlı Değişkenler  | logpatent       | İllerin 2010-2021 yılları arası kümülatif patent tescil sayısı logaritması                                               |                      | TPE                           |
|                      | logmodel        | İllerin 2010-2021 yılları arası kümülatif faydalı model tescil sayısı logaritması                                        |                      | TPE                           |
|                      | logmarka        | İllerin 2010-2021 yılları arası kümülatif marka tescil sayısı logaritması                                                |                      | TPE                           |
|                      | logtastes       | İllerin 2010-2021 yılları arası kümülatif tasarım tescil sayısı logaritması                                              |                      | TPE                           |
| Bağımsız Değişkenler | logkosgeb       | İllerin 2010-2021 yılları arası KOSGEB tarafından verilen kümülatif Ar-Ge ve İnovasyon destek tutarının logaritması (TL) | +                    | KOSGEB (2022)                 |
|                      | loggdp          | İllerin 2010-2021 yılları arası kümülatif kişi başına düşen gayri safi yurt içi hasıla değerlerinin logaritması (TL)     | +                    | TÜİK                          |
|                      | logscholaruni   | İllerin 2010-2021 yılları arası üniversite başına düşen kümülatif öğretim elemanı sayısı logaritması                     | +                    | TÜİK ve YÖK                   |
|                      | logtekno        | İllerin 2010-2021 yılları arası kümülatif teknopark sayısı logaritması                                                   | +                    | Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı |

TPE: Türk Patent ve Marka Kurumu, KOSGEB (2022): Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeleri Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı, TÜİK: Türkiye İstatistik Kurumu, YÖK: Yükseköğretim Kurulu

<sup>6</sup> KOSGEB, 2010-2021 dönemi boyunca illere yönelik sağlamış olduğu Ar-Ge ve İnovasyon Destek tutarlarını, "Ar-Ge, İnovasyon ve Endüstriyel Uygulama Destek Programı Ar-Ge ve İnovasyon Programı Nihai Değerlendirme Raporu-Özet," adlı rapor kapsamında kümülatif değerler olarak paylaşmaktadır ve rapor kapsamında bu verilerin yıllar itibarıyla mevcut olmamasının sebep olduğu veri kısıtı, yatay kesit analizi yapılmasını zorunlu kılmıştır.

Çalışma kapsamında, Ar-Ge ve İnovasyon desteklerinin tüm yenilik göstergeleri üzerinde, Ar-Ge maliyetlerinin düşmesine bağlı olarak, pozitif bir etkiye sahip olması öngörülmektedir. Başka bir ifadeyle; Ernst ve Spengel (2011), Doh ve Kim (2014), Chen ve Yang (2019) ve Şenel (2023) gibi çalışmaların bulgularıyla paralel bir şekilde, *logkosgeb* değişkeninin pozitif bir katsayı alması öngörülmektedir. Bununla birlikte, bir ilin gelir düzeyi arttıkça yenilik faaliyetlerine ayrılacak olan pay da arttıracığından, Wu (2005), Tüylüoğlu ve Saraç (2012), Akduğan ve Doğan (2022) çalışmalarıyla paralel bir şekilde, *loggdp* değişkeninin pozitif bir katsayı alması öngörülmektedir. Öte yandan yeni bilginin araştırmacılar sayesinde üniversite ya da teknopark gibi alanlarda ortaya çıktığı; bu sebeple bir ilde üniversite başına düşen öğretim elemanı sayısı ve teknopark sayısı arttıkça yeniliğin artacağını göz önünde bulundurulduğunda, *logscholaruni* ve *logtekno* değişkenlerin pozitif bir katsayı alması öngörülmektedir.

Son olarak, Tablo 3, açıklayıcı değişkenler arasındaki korelasyon katsayılarını ve VIF değerlerini göstermektedir. Buna göre, hiçbir açıklayıcı değişken arasında yüksek dereceden korelasyon bulunmaması; başka bir açıdan, VIF değerlerinin 5'in üzerinde olmaması, kurgulanan ekonometrik modellerde, tahmini parametrelerin standart hatalarını yanıltıcı olacak şekilde artırarak istatistiksel olarak anlamsız görülmelerine sebep olan çoklu doğrusallık sorununun (Gujarati ve Porter, 2012) olmadığını ortaya koymaktadır.

**Tablo 3. Korelasyon Katsayıları Matrisi ve VIF Değerleri**

|                      | Korelasyon Katsayıları |                   |                      |                 | VIF Değerleri |
|----------------------|------------------------|-------------------|----------------------|-----------------|---------------|
|                      | <i>logkosgeb</i>       | <i>Loggdp</i>     | <i>logscholaruni</i> | <i>logtekno</i> |               |
| <i>logkosgeb</i>     | 1.00                   |                   |                      |                 | 2.25          |
| <i>loggdp</i>        | 0.41<br>[0.0019]       | 1.00              |                      |                 | 1.46          |
| <i>logscholaruni</i> | 0.19<br>[0.1608]       | 0.006<br>[0.9620] | 1.00                 |                 | 1.27          |
| <i>logtekno</i>      | 0.67<br>[0.0000]       | 0.55<br>[0.0000]  | -0.16<br>[0.2205]    | 1.00            | 2.69          |

#### 4.2. Yöntem ve Ekonometrik Model

İller itibarıyla KOBİ'lere yönelik KOSGEB desteklerinin illerin yenilik performansı üzerindeki etkinliğinin analiz edilmek istendiği çalışmada, yenilik göstergesi olarak sırasıyla, patent tescil sayıları, faydalı model tescil sayıları, marka tescil sayıları ve tasarım tescil sayıları dikkate alınmıştır. KOSGEB Ar-Ge ve İnovasyon Programı kapsamında 2010-2021 dönemi boyunca verilen desteklerin yalnızca kümülatif değerleri bilindiğinden, tüm değişkenler için 81 ilin 2010-2021 yılı kümülatif değerleri üzerinden, OECD ülkelerini 2016 yılı kapsamında inceleyen Seçilmiş ve Konu (2019) çalışmasında olduğu gibi, OLS tahmincisine dayalı Yatay Kesit Veri Analizi uygulanmıştır.

Nicel veri türleri dikkate alındığında, ekonometrik analizler zaman serisi verisi, kesit veri ve panel veri olmak üzere üç farklı veri türüne dayalı olarak gerçekleştirilebilmektedir. Buna göre, zaman serisi verisi, herhangi bir değişkene ait verilerin periyodik olarak ardışık bir şekilde dikkate alındığı ve belirli bir zaman aralığını ifade eden veri türü olarak karşımıza çıkmaktayken; mekânsal veri olarak da adlandırılan kesit veri ise, birden fazla kesitin (ülke, bölge, şehir vb.) tek bir zamana ait verilerinin dikkate alındığı; başka bir ifadeyle zamanın sabit olduğu veri türüdür. Bu veri türü, farklı kesitlerin tek bir zaman dilimine veya tek bir zamansal aralığa ait verilerini ifade etmektedir. Kesit ve zaman serisini birleştiren panel veri ise, yüksek serbest dağılım derecesi sebebiyle daha etkin olmasının yanı sıra kesitlere ait verilerin zamansal değişimlerini de içerdiğinden zamansal değişimlerin devingenliğinin incelenmesine imkân vermekte; kesit veri ve zaman serisi verisinde gözlemlenemeyen etkileri daha iyi ortaya çıkarabilmektedir (Gujarati ve Porter, 2012). Bu açıdan bakıldığında, daha fazla bilgi içermesi, daha etkin olması ve değişkenler arasındaki ilişkiyi hem kesit hem zaman boyutunda incelemeye imkân vermesi gibi avantajları sebebiyle Panel Verinin literatürde daha yaygın bir kullanım alanı bulunduğu söylenebilir.

Bununla birlikte, Kesit Veri Analizinin iki önemli dezavantajı bulunmaktadır. Bunlardan biri bilgi sapması (information bias); diğeri ise, seçim sapmasıdır (selection bias). Buna göre, kesit veri, ülke, bölge, şehir, firma ya da bireyler gibi farklı kesitlerin aynı zaman dilimine (yıl, ay, hafta, gün vb.) ait verilerini içerdiğinden, bu kesitler özneline yapılan ampirik bir analiz, değişkenler arasındaki zamana bağlı değişimleri içermemektedir. Başka bir ifadeyle, Kesit Veri Analizinde, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etkileri aynı zaman dilimi içerisinde ölçülmektedir. Bu sebeple, Kesit Veri Analizi, özellikle bağımsız değişkenlerin ve/veya bağımlı değişkenin gecikmeli etkilerini içeren dinamik modeller için uygun değildir. Bu tür modellerin Yatay Kesit Veri Analizine dayalı olarak tahminlenmesi durumunda, bilgi sapması ortaya çıkmakta; başka bir ifadeyle, tahmini parametreler sapmasızlık özelliğini yitirmektedir. Öte yandan, Kesit Veri Analizi, büyük ve heterojen bir kesit örnekleme gerektirmektedir. Araştırma evrenini güçlü bir şekilde temsil etmeyen bir örneklem seçildiğinde, Kesit Veri Analizi, örneklem seçimi sapmasına karşı

duyarlı hale gelmekte; başka bir ifadeyle, tahmini parametreler sapmasızlık özelliğini yitirmektedir (Wang ve Cheng, 2020). Özetle, Kesit Veri Analizinde, bilgi sapması ve seçim sapması önemli bir potansiyel sorun haline gelmektedir (Tripepi ve diğerleri, 2008). Son olarak, zaman boyutunun olmaması, Kesit Veri Analizlerinde gözlem sayısının ve açıklama gücünün görece düşük kalmasına sebep olabilmektedir. Ancak, Panel Veri Analizine nazaran görece daha az tercih edilen Kesit Veri Analizi, zamansal boyutu olmayan (zaman-sabit değişkenler) ya da zamansal boyutu olduğu halde farklı zaman aralıklarına dair verisi olmayan değişkenlerin analiz edilebilmesine imkân vermektedir. Buna ek olarak, zaman boyutu kaynaklı ortaya çıkabilecek otokorelasyon gibi bir takım istatistikî sorunları içermemektedir (Albayrak, 2014). Bu açıdan bakıldığında, Kesit Veri Analizinin, Panel Veri Analizine nazaran, bazı dezavantajlarının yanı sıra bazı avantajlı yanlarının da olduğu görülmektedir.

Çalışmada, özellikle KOSGEB tarafından paylaşılan Ar-Ge ve İnovasyon Programı kapsamındaki parasal desteklere ilişkin veriler 2010-2021 dönemini kapsayan kümülatif değerler olduğundan, başka bir ifadeyle, bu değişkene ait veriler zaman boyutu içermediğinden, diğer değişkenlere ait verilerin de kümülatif değerleri üzerinden, En Küçük Kareler Tahmincisi (OLS) dayalı Yatay Kesit Veri Analizi tercih edilmiştir. Veri setinin kesit boyutu Türkiye'nin tüm illerini içerdiğinden; başka bir ifadeyle, örneklem tamamı analize dahil edildiğinden, Kesit Veri Analizinin örneklem seçimine karşı duyarlılığı ortadan kalkmaktadır. Başka bir ifadeyle, Kesit Veri Analizinin daha ziyade ankete dayalı çalışmalarda ya da klinik çalışmalarında gözlemlenen (Tripepi ve diğerleri, 2008; Tripepi ve diğerleri, 2010) örneklem seçimine karşı duyarlılığının, bu çalışma kapsamında, söz konusu olmadığı vurgulanmalıdır. Bununla birlikte, değişkenlere ait veriler tek bir yıla ait değil; Ar-Ge ve İnovasyon Programı kapsamında destek ödemesi yapılan 2010-2021 dönemine ait kümülatif değerler olduğundan, tek bir yılın dikkate alınması durumunda daha belirgin hale gelen bilgi sapması olasılığı da dolaylı olarak, azalmaktadır. Bu sebeple, veri kısıtı sebebiyle tercih edilen Kesit Veri Analizinin, bu çalışma kapsamında, uygun olduğu vurgulanmalıdır.

Model 1'de KOSGEB desteklerinin patent tescilleri, Model 2'de faydalı model tescilleri, Model 3'te marka tescilleri, Model 4'te ise, tasarım tescilleri üzerindeki etkinliği analiz edilmek istenmiştir. Buna göre Model 1'in fonksiyonel gösterimi Eşitlik 1'de; Model 2'nin fonksiyonel gösterimi Eşitlik 2'de, Model 3'ün fonksiyonel gösterimi Eşitlik 3'te ve Model 4'ün fonksiyonel gösterimi ise, Eşitlik 4'te gösterilmektedir. Bu denklemlerde yer alan  $i$  ifadesi, 81 ilden oluşan kesit düzeyini ifade etmektedir.

$$\logpatent_i = c + \beta_1 (\logkosgeb)_i + \beta_2 (\loggdp)_i + \beta_3 (\logscholaruni)_i + \beta_4 (\logteknoloji)_i + \varepsilon_i \quad (1)$$

$$\logmodel_i = c + \alpha_1 (\logkosgeb)_i + \alpha_2 (\loggdp)_i + \alpha_3 (\logscholaruni)_i + \alpha_4 (\logteknoloji)_i + \varepsilon_i \quad (2)$$

$$\logmarka_i = c + \lambda_1 (\logkosgeb)_i + \lambda_2 (\loggdp)_i + \lambda_3 (\logscholaruni)_i + \lambda_4 (\logteknoloji)_i + \varepsilon_i \quad (3)$$

$$\logtastes_i = c + \mu_1 (\logkosgeb)_i + \mu_2 (\loggdp)_i + \mu_3 (\logscholaruni)_i + \mu_4 (\logteknoloji)_i + \varepsilon_i \quad (4)$$

#### 4.3. Ampirik Bulgular

KOSGEB desteklerinin patent tescilleri, faydalı model tescilleri, marka tescilleri ve tasarım tescilleri üzerindeki etkilerinin analiz edilmesi amacıyla kurgulanan alternatif modellerin bulguları Tablo 4'te yer almaktadır. Tahmin edilen ekonometrik modellerin Adj-R<sup>2</sup> değerlerinin 0,58-0,79 aralığında olması, modellerin bir bütün olarak açıklama gücünün yüksek olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, Jarque-Bera (JB) Testi sonuçlarına göre, tüm modellerde, hata terimlerinin normal dağılım<sup>7</sup> sergilediği yönündeki boş hipotez 0.01 anlamlılık düzeyinde reddedilememekte; başka bir ifadeyle, hata terimleri normal dağılım sergilememektedir. Son olarak, White Test<sup>8</sup> sonuçlarına göre, tüm modellerde 0,01 anlamlılık düzeyinde değişen varyans<sup>9</sup> sorunu da bulunmamaktadır. Buna istinaden, hata terimlerinin normal dağılımı ve değişen varyans sorunu olmaması gibi doğrusal regresyon analizi varsayımları sağlandığından, bununla

<sup>7</sup> Literatürde genellikle kullanılan korelasyon, t testi, varyans analizi (ANOVA) ve kovaryans analizi (ANCOVA) gibi parametrik testlerin temel olan varsayımlarından bir tanesi normal dağılımdır. Değişkenin normal dağılım sergilemesi sapmasız parametre tahmini yapılabilmesinde oldukça önemli bir rol oynar. Normalliği test etmek için hipotez testleri bulunmaktadır. Bu testlerden bazıları şunlardır: Anderson-Darling, Cramer-von Mises, Jarque-Bera, Lilliefors, Pearson ki kare ve Shapiro Francia (Uysal ve Kılıç, 2022). Bu çalışmada dikkate alınan Jarque-Bera (JB) Test, hata terimlerinin normal dağılıp dağılımadığının tespitinde kullanılan ve "hata terimleri normal dağılmaktadır" boş hipotezine sahip bir testtir (Jarque ve Bera, 1980).

<sup>8</sup> White Test, hata terimlerinde değişen varyans sorunu olup olmadığının tespitinde kullanılan ve "değişen varyans" yoktur boş hipotezine sahip bir testtir (White, 1980).

<sup>9</sup> Genellikle Yatay Kesit verileriyle tahmin yapıldığında ortaya çıkan Değişen Varyans (Heteroscedasticity) sorunu, hata terimlerinin varyansının birbirinden farklı olmasını ifade etmektedir. Bir regresyon analizinde kurgulanan modele dahil edilmesi gereken önemli açıklayıcı değişkenler, genellikle, model kapsamındaki değişkenlerle aynı yönde ve aynı büyüklükte değişmektedir. Bu durum model içerisinde değişen varyans sorununa sebep olabilmekte ve OLS tahmincilerinin etkinlik (efficient) özelliğini kaybetmelerine sebep olmaktadır (Albayrak, 2008). Bu sebeple, özellikle Kesit Veri Analizinde, Değişen Varyans sorununun olup olmadığının tespit edilmesi gereklidir.

birlikte, kesit verilerde zamansal boyuta özgü otokorelasyon sorunu<sup>10</sup> olasılığı olmadığından, ampirik bulguların bilimsel olarak geçerli ve yorumlanabilir olduğuna karar verilmiştir.

**Tablo 4. Kesit veri regresyon analizi bulguları**

| Bağımlı Değişken                 | logpatent<br>(Model 1) | logmodel<br>(Model 2) | logmarka<br>(Model 3) | logtastes<br>(Model 4) |
|----------------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| logkosgeb                        | 0.69***<br>(0.1184)    | 0.65***<br>(0.1338)   | 0.44***<br>(0.1244)   | 0.62***<br>(0.1982)    |
| loggdp                           | 1.83***<br>(0.3721)    | 1.77***<br>(0.4206)   | 0.67*<br>(0.3909)     | 2.16***<br>(0.6230)    |
| logunischolar                    | -0.13<br>(0.2609)      | -0.19<br>(0.2949)     | -0.01<br>(0.2740)     | -0.62<br>(0.4368)      |
| logtekno                         | 0.61*<br>(0.0889)      | 0.45<br>(0.3390)      | 1.04***<br>(0.3150)   | 0.51<br>(0.5021)       |
| c                                | -24.88                 | -22.93                | -6.89                 | -19.95                 |
| Adj-R <sup>2</sup>               | 0.79                   | 0.73                  | 0.69                  | 0.58                   |
| <b>Diagnostik Test Sonuçları</b> |                        |                       |                       |                        |
| Jarque-Bera                      | 0.14                   | 0.09                  | 0.91                  | 0.95                   |
| (JB) Testi                       | [0.9280]               | [0.9517]              | [0.6314]              | [0.6190]               |
| White Testi                      | 20.13<br>[0.1260]      | 17.25<br>[0.2430]     | 16.69<br>[0.2728]     | 17.07<br>[0.2520]      |
| F Test                           | 53.68<br>[0.0000]      | 37.47<br>[0.0000]     | 31.12<br>[0.0000]     | 19.75<br>[0.0000]      |
| Gözlem Sayısı                    | 81                     | 81                    | 81                    | 81                     |

Not: \*, \*\*, \*\*\* simgeleri, sırasıyla, %10, %5 ve %1 anlamlılık düzeyini, parantez ( ) içindeki değerler standart hataları, köşeli parantez [ ] içindeki değerler p-olasılık değerlerini ifade etmektedir.

KOSGEB desteklerinin patent tescilleri üzerindeki etkilerinin incelendiği Model 1'in bulgularına göre; KOSGEB desteklerini ifade eden *logkosgeb* değişkeni %1 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif etkiye sahiptir. Buna göre KOSGEB desteklerindeki %1'lik artış, patent tescil sayıları üzerinde %0,69 oranında bir artışa yol açmaktadır. Bununla birlikte; *loggdp* ve *logtekno* değişkenleri, sırasıyla %1 ve %10 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif etkiye sahiptir. Buna göre, bir ilin gelir düzeyinde ve teknopark sayısında meydana gelen %1'lik artış, sırasıyla o ilin patent tescil sayılarını %1,83 ve %0,61 arttırmaktadır. *logunischolar* değişkeni ise, patent tescil sayıları üzerinde istatistiksel olarak anlamsızdır.

KOSGEB desteklerinin faydalı model tescilleri üzerindeki etkilerinin incelendiği Model 2'nin bulgularına göre ise, *logkosgeb* değişkeni %1 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif etkiye sahiptir. Buna göre, KOSGEB desteklerindeki %1'lik artış, faydalı model tescil sayıları üzerinde %0,65 oranında bir artışa yol açmaktadır. Bununla birlikte; *loggdp* değişkeni, %1 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif etkiye sahiptir. Buna göre, bir ilin gelir düzeyinde meydana gelen %1'lik artış, o ilin faydalı model tescil sayısını %1,77 arttırmaktadır. *logunischolar* ve *logtekno* değişkenleri ise, faydalı model tescil sayıları üzerinde istatistiksel olarak anlamsızdır.

KOSGEB desteklerinin marka tescilleri üzerindeki etkilerinin incelendiği Model 3'ün bulgularına göre ise, *logkosgeb* değişkeni %1 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif etkiye sahiptir. Buna göre KOSGEB desteklerindeki %1'lik artış, marka tescil sayıları üzerinde %0,44 oranında bir artışa yol açmaktadır. Ayrıca, *loggdp* ve *logtekno* değişkenleri sırasıyla %10 ve %1 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif etkilere sahiptir. Buna göre, bir ilin gelir düzeyinde ve teknopark sayısında meydana gelen meydana gelen %1'lik artış, o ilin marka tescil sayılarını, %0,67 ve %1,04 oranında arttırmaktadır. *logunischolar* değişkeni ise, marka tescil sayıları üzerinde istatistiksel olarak anlamsızdır.

Son olarak, KOSGEB desteklerinin tasarım tescilleri üzerindeki etkilerinin incelendiği Model 4'ün bulgularına göre, *logkosgeb* değişkeni %1 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif etkiye sahiptir. Buna göre KOSGEB desteklerindeki %1'lik artış, tasarım tescil sayıları üzerinde %0,62 oranında bir artışa yol açmaktadır. Ayrıca; *loggdp* değişkeni %1 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif etkilere sahiptir. Buna göre, bir ilin gelir düzeyinde meydana gelen %1'lik artış, o ilin tasarım tescil sayılarını %2,16 oranında arttırmaktadır. *logunischolar* ve *logtekno* değişkenleri ise, faydalı model tescil sayıları üzerinde istatistiksel olarak anlamsızdır.

<sup>10</sup> Otokorelasyon (Ardışık Bağımlılık), birbirini izleyen hata birim değerleri arasında anlamlı bir ilişkinin ortaya çıkması durumu olarak nitelendirilmekte ve regresyon analizinde istenmeyen bir durumu göstermektedir. Hata birimleri arasındaki otokorelasyon sorununu ise, zaman serisi ya da panel veride ortaya çıkmakta, öte yandan kesit veride söz konusu olmamaktadır (Albayrak, 2014).

Öte yandan, açıklayıcı değişkenler arasında bulunan kişi başı gayri safi yurtiçi hasıla değişkeninin yenilik üzerindeki etkilerinin Wu (2005), Tüylüoğlu ve Saraç (2012) ve Akduğan ve Doğan (2022) gibi çalışmaların bulgularıyla paralel bir şekilde, pozitif yönlü olduğu; marka tescili hariç diğer yenilik göstergeleri üzerinde en yüksek katsayıya sahip olduğu elde edilen diğer bulgular arasındadır. Buna göre, bir ilin yenilik performansı üzerindeki en önemli unsurun gelir düzeyi olduğu, üniversite başına düşen öğretim elemanı sayısının aksine teknopark sayısının patent ve marka tescili ekseninde inovasyon kapasitesini arttırdığı görülmektedir. Analiz bulguları bir bütün olarak göz önünde bulundurulduğunda, ölçek ekonomilerinden yararlanma düzeyleri büyük ölçekli firmalara nazaran daha düşük olan KOBİ'lerin, Ar-Ge ve İnovasyon destekleri sayesinde, araştırma ve geliştirme faaliyetlerine dair maliyet yüklerinin azaldığı ve bu desteklerin kendilerini yenilikçi faaliyetlere yönlendirdiği anlaşılmaktadır. Özellikle uluslararası literatürde yaygın bir şekilde vurgulandığı üzere, Ar-Ge ve İnovasyon desteklerinin gerek firma ölçeğinde gerekse de endüstri, bölge ya da ulusal ekonomi ölçeğinde yenilik potansiyelini, maliyet avantaj vb. kanallar aracılığıyla, arttırdığı bilinmektedir. Bu açıdan bakıldığında, KOSGEB Ar-Ge ve İnovasyon Desteklerinin 2010-2021 dönemi boyunca etkin olduğu ve KOBİ'lerin yenilikçi yapılarını arttırmaya yönelik amaçlarına ulaştığı anlaşılmaktadır.

## 5. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Günümüzde ülkelerin iktisadi gelişmişlik seviyesini yenilik ve teknolojik faaliyetler neticesinde elde ettikleri yeni mal, hizmet veya süreçler belirlemektedir. Ülkelerin iktisadi gelişmişliği ve yenilik kapasiteleri arasında bulunan güçlü ilişki sebebiyle, ülkeler tarafından üretilen teknoloji, Ar-Ge ve inovasyon faaliyetleri ve bu faaliyetlerin artırılmasına yönelik uygulanan politikaların bir ülkenin rekabet düzeyini etkileyen önemli belirleyicilerden olduğu anlaşılmaktadır. Bu doğrultuda belirtilen hedeflere ulaşmak açısından sayıca fazla olan ve ülkelerin lokomotifleri olarak kabul edilen KOBİ'lerin Ar-Ge ve inovasyona yönelik faaliyetler yürütmeleri ve bu faaliyetlerin desteklenmesi ülkelerin küresel piyasada etkin olabilmeleri açısından oldukça önemlidir. KOBİ'lerin yenilikçi yapılarının güçlendirilmesi noktasında ise, devlet desteklerinin etkin olup olmadığı yaygın bir tartışma konusudur.

Bu kapsamda çalışmada, 2010-2021 yılları arasında KOBİ'lere yönelik Ar-Ge ve İnovasyon Programı kapsamında KOSGEB tarafından gerçekleştirilen desteklerin Türkiye'nin yenilik performansı üzerindeki etkinliğinin analiz edilmesi; başka bir ifadeyle, KOSGEB'in ve Ar-Ge ve inovasyon süreçleri üzerindeki etkinliğinin sınaması amaçlanmıştır. KOSGEB tarafından 2010-2021 döneminde ve 81 il düzeyinde verilen Ar-Ge ve İnovasyon desteklerinin patent tescilleri, faydalı model tescilleri, marka tescilleri ve tasarım tescilleri gibi çıktı temelli yenilik göstergeleri üzerindeki etkileri, kümülatif değerler üzerinden ve OLS tahmincisine dayalı Yatay Kesit Veri Analizi aracılığıyla, sınanmıştır. Kamusal nitelikli Ar-Ge ve inovasyon desteklerine örnek oluşturan KOSGEB desteklerinin yanı sıra yenilik performansı üzerinde etkili olabilecek kişi başı gayri safi yurtiçi hasıla değerleri ile üniversite başına düşen öğretim elemanı sayısı ve teknopark sayısı gibi bir ilin beşerî sermaye derinliğinin gösteren açıklayıcı değişkenler de kontrol değişkenler olarak dikkate alınmıştır.

Bu kapsamda 81 il düzeyinde ve 2010-2021 dönemine ait kümülatif değerler üzerinden yapılan Kesit Veri Analizi neticesinde, KOSGEB destekleri arttıkça patent tescil, faydalı model tescil, tasarım tescil ve marka tescil sayılarının da arttığına dair istatistiksel olarak anlamlı bulgulara ulaşılmıştır. Buna göre, Ernst ve Spengel (2011), Göçer ve diğerleri (2014), Doh ve Kim (2014), Bronzini ve Piselli (2016), Guo ve diğerleri (2016), Bösenberg ve Egger (2017), Czarnitzki ve Hussinger (2018), Czarnitzki ve Hussinger (2018), Akduğan ve Doğan (2022) gibi uluslararası ve Özçelik ve Taymaz, (2008), Ela (2019), Ezanoğlu ve Çetin (2021), Şenel (2023) gibi ulusal çalışmaların bulgularıyla paralel bir şekilde, KOBİ'lere yönelik KOSGEB Ar-Ge ve İnovasyon destekleri arttıkça yeniliğin çıktı temelli göstergeleri olan patent tescilleri de artmaktadır. Elde edilen bulgular, KOSGEB Ar-Ge ve İnovasyon Destek tutarında meydana gelen %10'luk bir artışın, patent tescil oranlarını %6,9 arttırdığını ortaya koymaktadır. Ayrıca, Doh ve Kim (2014), Şenel (2023) çalışmalarında olduğu gibi, KOBİ'lere yönelik KOSGEB Ar-Ge ve İnovasyon destekleri arttıkça yeniliğin çıktı temelli göstergeleri olan patent tescillerinin yanı sıra faydalı model tescilleri, tasarım tescilleri ve marka tescilleri de artmaktadır. Buna göre, KOSGEB Ar-Ge ve İnovasyon Destek tutarında meydana gelen %10'luk bir artışın, faydalı model tescil oranlarını, tasarım tescil oranlarını ve marka tescil oranlarını, sırasıyla, %6,5, %4,4, %6,2 arttırdığını ortaya koymaktadır. Başka bir ifadeyle, KOSGEB tarafından verilen desteklerin Ar-Ge ve inovasyon çıktılarına pozitif yönde etkilediği ve verilen desteklerin yenilik göstergelerinin sayısını arttırdığı anlaşılmaktadır.

Bununla birlikte, Doh ve Kim (2014) ile Şenel (2023) bulgularıyla paralel bir şekilde, KOSGEB desteklerinin en fazla patent tescilleri üzerinde etkili olduğu; bunu sırasıyla, faydalı model, marka ve tasarım tescillerinin izlediği görülmektedir. Bu durumun en önemli sebebinin çıktı temelli yenilik göstergelerini ifade eden patent, faydalı model, marka ve tasarımın karakteristik yapılarındaki farklılıkların doğal bir sonucu olduğu ileri sürülebilir. Buna göre, patentler daha ziyade sanayi alanındaki yeni mal ve ürünlerin buluşuna yönelik iken faydalı model, sanayiye entegre edilebilir nitelikte yeni bir teknikten oluşan ve mevcut durumda halihazırda

bulunan yöntemi aşmayan buluşlara yöneliktir. Ancak, Marka, bir firmanın ürettiği ürün ve hizmetlerin farklı firmaların ürettiği ürün ve hizmetlerden ayırt edilebilmesine olanak sağlayan (TPE, 2007-2011: 12-16); Tasarım ise, bir ürünün tamamı ya da belli bir parçası üzerindeki görsel tasarımın ayırt edilmesine imkân sağlayan unsurlar olarak karşımıza çıkmaktadır (TPE, 2018-2022: 8). Bu açıdan bakıldığında, nitelik itibarıyla patent ve faydalı model çıktısının Ar-Ge desteklerinin doğrudan hedefi olduğu anlaşılmaktadır. Bu kapsamda verilen desteklerin patent ve faydalı model çalışmalarını doğrudan; diğer yenilik göstergelerini ise, dolaylı olarak etkilediği değerlendirilebilir. Bu farklılık, KOBİ'lere yönelik Ar-Ge ve İnovasyon Desteklerinin patent, faydalı model, marka ve tasarım tescilleri üzerindeki etki büyüklüklerinin farklılığının muhtemel sebebi olarak değerlendirilebilir.

Son olarak gelir düzeyinin yanı sıra beşerî sermaye dinamiklerinden üniversite başına düşen öğretim elemanı sayısının aksine teknopark sayısının illerin patent ve marka tescilleri eksenindeki yenilik performansı üzerinde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı etkilere sahip olduğu elde edilen bulgular arasındadır. Bu açıdan bakıldığında, tüm illerde üniversite-sanayi iş birliğini geliştirici politikaların yanı sıra teknopark gibi yapıların sayısının ve etkinliğinin artırılması, illerin yenilik performansını arttıracaktır.

Çalışmada, 2010-2021 dönemi boyunca uygulanan KOSGEB Ar-Ge ve İnovasyon Desteklerinin KOBİ'lerin yenilikçi faaliyetleri üzerinde ne derece etkili olup olmadığı analiz edilmek istenmiştir; fakat, KOSGEB verilerinin kümülatif olması, bu etkilerin yıllık değişimlerinin ampirik olarak analiz edilebilmesine imkân vermemiştir. Bununla birlikte, mevcut veri kısıtı Panel Veri Analizi gibi açıklama gücü daha yüksek olan tahmin yöntemlerinin de uygulanabilmesine engel olmuştur. Öte yandan, KOSGEB verileriyle tutarlı olması için açıklayıcı değişkenlerin de kümülatif değerler olarak dikkate alınması, literatürde yeniliğin diğer belirleyicileri olarak öne çıkan; ancak kümülatif olarak ifade edilemeyecek olan şehirleşme oranı, dijitalleşme ve teknolojik altyapı gibi diğer olası açıklayıcı değişkenlerin dikkate alınamamasına sebep olmuştur. Bu açıdan bakıldığında, ilgili verilerin yıllık olarak temin edilebilmesi halinde, benzer bir çalışmanın daha geniş bir açıklayıcı değişken kümesi altında ve daha ileri tahmin yöntemleri kullanılarak analiz edilmesi mümkün olabilecektir. Öte yandan, çalışma kapsamında yalnızca KOSGEB tarafından 2010-2021 yıllarında destek ödemesi yapılan Ar-Ge ve İnovasyon Programı'nın etkinliğinin incelenmesi yoluna gidilmiştir. Sonraki çalışmalarda, KOSGEB'in TEKMER Destek Programı ve Ar-Ge, Ür-Ge ve İnovasyon Destek Programı gibi yenilik temelli programlarının da ilişkili makro büyüklükler üzerinde etkin olup olmadığının incelenmesi, ulusal literatürdeki boşluğu dolduracağı gibi KOSGEB uygulamalarının etkinliğine dair bütüncül bir bakış açısı sunarak KOSGEB desteklerine yönelik alternatif politika önerilerinin geliştirilebilmesine imkân verecektir.

#### **Yazar Katkıları /Author Contributions**

*Emine Bayrak Urasoğlu:* Literatür taraması, Kavramsallaştırma, Metodoloji, Veri Derleme, Analiz, Makale Yazımı-Orijinal Taslak *Necmettin Çelik:* Kavramsallaştırma, Metodoloji, Modelleme, Makale Yazımı-İnceleme ve Düzenleme

*Emine Bayrak Urasoğlu: Literature Review, Conceptualization, Methodology, Data Curation, Analysis, Writing-original draft Necmettin Çelik: Modelling, Writing-review and editing*

#### **Çatışma Beyanı /Conflict of Interest**

Yazarlar tarafından herhangi bir potansiyel çıkar çatışması bulunmamaktadır.

*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.

*This study received no funding from any governmental, commercial or non-profit organisation.*

#### **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

- Abay, M. ve Akgüngör, S. (2023), "Technological Paths and Smarts Pecialization: Analysis Of Regional Entry and Exit in Turkey", *Asia-Pacific Journal of Regional Science*, 8(3),40. <https://doi.org/10.1007/s41685-023-00325-3>
- Akduğan, U. ve Doğan, N. (2022), "İnovasyonu Etkileyen Faktörler: OECD Ülkeleri Örneği", *EKOIST Journal of Econometrics and Statistics*, 36, 111-136. <https://doi.org/10.26650/ekoist.2022.36.1102470>
- Albayrak, A.S. (2008) "Değişen Varyans Durumunda En Küçük Kareler Tekniğinin Alternatifi Ağırlıklı Regresyon Analizi ve Bir Uygulama", *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, (C.X ,S II, 2008), 111-134.
- Albayrak, A.S. (2014) "Otokorelasyon Durumunda En Küçük Kareler Tekniğinin Alternatifi Otokorelasyon Teknikleri ve Bir Uygulama", *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 19(1), 1-20.
- Al-Mahrouq, M. (2010). "Success Factors of Small and Medium Enterprises: The Case of Jordan", *Zagreb International Review of Economics and Business*, 13(2), 89-106.
- Ambrammal, S.K. ve Sharma, R. (2014), "R&D and Patenting by Firms in India in High- and Medium-High-Technology Industries", *Journal of Chinese Economic and Business Studies*,12(2), 181-207. <https://doi.org/10.1080/14765284.2014.900957>
- Anselin, L., Varga, A. ve Acs, Z. (1997). "Local Geographic Spillovers Between University Research and High Technology Innovations", *Journal of Urban Economics*, 42(3), 422-448. <https://doi.org/10.1006/juec.1997.2032>
- Anselin, L., Varga, A. ve Acs, Z. (2000). "Geographical Spillovers and University Research: A Spatial Econometric Perspective", *Growth and Change*, 31(4), 501-515.
- Antonelli, C. (1994). "Technological Districts Localized Spillovers and Productivity Growth. The Italian Evidence on Technological Externalities in the Core Regions", *International Review of Applied Economics*, 8(1), 18-30.
- Antonelli, C. (2000). "Collective Knowledge Communication and Innovation: The Evidence of Technological Districts", *Regional Studies*, 34(6), 535-547. <https://doi.org/10.1080/00343400050085657>
- Antonelli, C. (2003). "Knowledge Complementarity and Fungeability: Implications for Regional Strategy", *Regional Studies*, 37(6-7), 595-606. <https://doi.org/10.1080/0034340032000108705>
- Autant, C. ve LeSage, J.P. (2011). "Quantifying Knowledge Spillovers Using Spatial Econometric Models", *Journal of Regional Science*, 51(3), 471-496. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9787.2010.00705.x>
- Bariş, A. ve Farımaz, M. (2024). "İnovasyon ve Ar-Ge: Stratejik Devlet Politikaları Ve Teşvikler", *Amasya Üniversitesi Ekonomi Ticaret ve Pazarlama Dergisi*, 1(1),14-39
- Baykul, A. (2018). "Bölgesel Ekonomik Büyüme Üzerinde Ar-Ge Faaliyetlerinin Etkileri: Türkiye'de Düzey I Bölgelerinde Ampirik Bir İnceleme", *MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 7(2), 143-154.
- Bösenberg, S. ve Egger, P.H. (2017). "R&D Tax Incentives and The Emergence and Trade of Ideas", *Economic Policy*, 32(89), 39-80. <https://doi.org/10.1093/epolic/eiw017>
- Bronzini, R. ve Piselli, P. (2016). "The Impact of R&D Subsidies on Firm Innovation", *Research Policy*, 45(2), 442-457. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2015.10.008>
- Chen, L. ve Yang, W. (2019). "R&D Tax Credits and Firm İnnovation: Evidence from China", *Technological Forecasting & Social Change*, 146, 233-241. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.05.018>
- Cin, B.C., Kim, Y.J. ve Vonortas, N.S. (2017), "The Impact of Public R&D Subsidy on Small Firm Productivity: Evidence from Korean SMEs", *Small Business Economics*, 48, 345-360.
- Clausen, T.H. (2009) Do Subsidies Have Positive Impacts on R&D and İnnovation Activities At The Firm Level?, *Structural Change and Economic Dynamics*, 20 (4),239-253, <https://doi.org/10.1016/j.strueco.2009.09.004>
- Corchuelo, M.B. ve Martínez-Ros, E. (2010), "Who Benefits from R&D Tax Policy?", *Cuadernos de Economía y Dirección de la Empresa*, 13(45),145-170. [https://doi.org/10.1016/S1138-5758\(10\)70027-X](https://doi.org/10.1016/S1138-5758(10)70027-X)
- Czarnitzki, D. ve Hussinger, K. (2018), "Input and Output Additionality of R&D Subsidies", *Applied Economics*, 50(12), 1324-1341.
- Czarnitzki, D., Hanel, P. ve Rosa, J.M. (2010), "Evaluating the Impacts of R&D Tax Credits on Innovation: A Microeconometric Study on Canadian Firms", *Research Policy*, 40(2), 217-229.
- Dam, M.M. ve Bülent, Y. (2016), "BRICS-TM Ülkelerinde Ar-Ge ve İnovasyonun Ekonomik Büyüme Üzerine Etkisi: Ekonometrik Bir Analiz", *Akdeniz İİBF Dergisi*, 16(33), 220-236.
- Doh, S. ve Kim, B. (2014). "Government Support for SME İnnovations in The Regional Industries: The Case of Government Financial Support Program in South Korea", *Research Policy*, 43(9), 1557-1569. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2014.05.001>
- Ela, M. (2019). "Türkiye'de Ar-Ge Faaliyetlerine Sağlanan Vergisel Teşviklerin İnovasyona Etkisi". 5. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Kongresi, 11-14 Temmuz 2019, Bandırma, 227-244.

- Erden, Y. (2009). "Kamu Ar-Ge Destekleri Ve Yenilik Modelleri: Kamu Ar-Ge Politikalarının Meşrulaştırılması İçin Hangi Yenilik Modeli Seçilmeli?", *Ekonomi Bilimleri Dergisi*, 1(2), 25-39
- Ernst, C. ve Spengel, C. (2011) "Taxation, R&D Tax Incentives and Patent Application in Europe", ZEW Discussion Papers, No. 11-024.
- Ezanoğlu, Z.ve Çetin, D. (2021)," Türkiye'de Ar-Ge Faaliyetlerini Desteklemeye Yönelik Bir Politika Aracı Olarak Teşviklerin Firma Yenilik Performansına Etkileri", *Maliye Dergisi*, 181, 206-233
- Fischer, M.M. ve Varga, A. (2003). "Spatial knowledge spillovers and university research: Evidence from Austria", *The Annals of Regional Science*, 37, 303-322. <https://doi.org/10.1007/s001680200115>
- Fischer, M.M., Scherngell, T. ve Jansenberger, E. (2006). "The Geography of Knowledge Spillovers between High-Technology Firms in EUROPE: Evidence from A Spatial Interaction Modeling Perspective", *Geographical Analysis*, 38(3), 288-309. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.2006.00687.x>
- Göçer, İ., Kutbay, H., Gerede, C. ve Aslan R. (2014). "Vergi Teşviklerinin Ar-Ge ve İnovasyona Etkisi:Panel Eşbütünlük ve Nedensellik Analizi", *Maliye Dergisi*, 167, 163-180
- Gujarati, D.N., Porter, D.C., Şenesen, Ü. ve Günlük-Şenesen, G. (2012). "Temel Ekonometri", Literatür Yayıncılık, İstanbul.
- Guo, D., Guo, Y. ve Jiang, K. (2016). "Government-Subsidized R&D and Firm Innovation: Evidence from China", *Research Policy*, 45(6), 1129-1144. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2016.03.002>
- Hottenrott, H. ve Richstein, R. (2020), "Start-Up Subsidies Does the Policy Instrument Matter", *Research Policy*, 49(1), 103888. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2019.103888>
- Jarque, C.M. ve Bera, A.K. (1980). "Efficient Tests for Normality, Homoscedasticity and Serial Independence of Regression Residuals", *Economics Letters*, 6(3), 255-259. [https://doi.org/10.1016/0165-1765\(80\)90024-5](https://doi.org/10.1016/0165-1765(80)90024-5)
- Koga, T. (2005). "R&D Subsidy and Self-Financed R&D: The Case of Japanese High-Technology Start-Ups", *Small Business Economics*, 24(1), 53-62.
- KOSGEB. (2020). "Araştırma-Geliştirme, İnovasyon ve Endüstriyel Uygulama Destek Programı Uygulama Esasları", <https://www.kosgeb.gov.tr/site/tr/genel/destekdetay/1229/arge-ve-inovasyon-destek-programi> (Erişim Tarihi: 02.05.2024).
- KOSGEB. (2022). "Ar-Ge, İnovasyon ve Endüstriyel Uygulama Destek Programı Ar-Ge ve İnovasyon Programı Nihai Değerlendirme Raporu-Özet", Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeleri Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı, Ankara. [https://webdosya.kosgeb.gov.tr/Content/Upload/Dosya/Kurumsal/Raporlar/Ar-Ge\\_ve\\_%C4%B0novasyon\\_Program%C4%B1\\_Nihai\\_De%C4%9Ferlendirme\\_Raporu\\_-\\_%C3%96zet.pdf](https://webdosya.kosgeb.gov.tr/Content/Upload/Dosya/Kurumsal/Raporlar/Ar-Ge_ve_%C4%B0novasyon_Program%C4%B1_Nihai_De%C4%9Ferlendirme_Raporu_-_%C3%96zet.pdf) (Erişim Tarihi: 02.01.2024).
- KOSGEB. (2024-2028). "Stratejik Plan (2024-2028)", Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeleri Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı, Ankara. [https://webdosya.kosgeb.gov.tr/Content/Upload/Dosya/Mali%20Tablolar/2024/KOSGEB\\_Stratejik\\_Plan\\_2024-2028\\_.pdf](https://webdosya.kosgeb.gov.tr/Content/Upload/Dosya/Mali%20Tablolar/2024/KOSGEB_Stratejik_Plan_2024-2028_.pdf) (Erişim Tarihi: 02.05.2024)
- KOSGEB. (2023), Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmeler Yönetmeliği, Mayıs 2023, 32201. [https://webdosya.kosgeb.gov.tr/Content/Upload/Dosya/Mevzuat/2023/K%C3%BC%C3%A7%C3%BCK\\_ve\\_Orta\\_B%C3%BCy%C3%BCkl%C3%BCkl%C3%BCkteki\\_%C4%B0%C5%9Fletmeler\\_Y%C3%B6netmeli%C4%9Fi.pdf](https://webdosya.kosgeb.gov.tr/Content/Upload/Dosya/Mevzuat/2023/K%C3%BC%C3%A7%C3%BCK_ve_Orta_B%C3%BCy%C3%BCkl%C3%BCkl%C3%BCkteki_%C4%B0%C5%9Fletmeler_Y%C3%B6netmeli%C4%9Fi.pdf) (Erişim Tarihi: 02.05.2024)
- Köseoğlu, A. ve Erdem, E. (2021). "Firma Dinamiklerinin İnovasyon ve Büyüme İlişkisindeki Rolü: En Yüksek Ar-Ge Yatırımcısı Firmalar Üzerine Ampirik Kanıtlar", *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 58, 265-300.
- Kutbay, H. (2017). "Ar-Ge Faaliyetlerine Yönelik Uygulanan Vergi Teşviklerinin Ekonomik Büyüme Üzerine Etkisi: Türkiye Ve Seçilmiş Ülkelerde Ekonometrik Bir Analiz", Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Denizli.
- Liu, X., Li, X. ve Li, H. (2016). "R&D Subsidies and Business R&D: Evidence from High- Tech Manufacturing Firms in Jiangsu", *China Economic Review*, 41, 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.chieco.2016.08.003>
- Lokshin, B. ve Mohnen, P. (2012), "How Effective are Level-Based R&D TaxCredits? Evidence from the Netherlands". *Applied Economics*, 44(12), 1527-1538. <https://doi.org/10.1080/00036846.2010.543083>
- Maggioni, M.A. ve Uberti, T.E. (2009). "Knowledge Networks across Europe: Which Distance Matters?", *The Annals of Regional Science*, 43, 691-720. <https://doi.org/10.1007/s00168-008-0254-7>
- Montoro-Sánchez, A., Ortiz-de-Urbina-Criado, M. ve Mora-Valentín, E.M. (2011). "Effects of Knowledge Spillovers on Innovation and Collaboration in Science and Technology Parks", *Journal of Knowledge Management*, 15(6), 948-970. <https://doi.org/10.1108/13673271111179307>
- Özçelik, E. ve Taymaz, E. (2008). "R&D Support Programs in Developing Countries: The Turkish Experience", *Research Policy*, 37(2), 258-275. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2007.11.001>

- Özdemir, S. Ersöz, H. ve Sarıoğlu, H. (2011), "Küçük Girişimciliğin Artan Önemi ve KOBİ'lerin Türkiye Ekonomisindeki Yeri", *Journal of Social Policy Conferences*, 53, 173-230.
- Özer, M. ve Çitçi, N. (2009). "Ar-Ge Tabanlı İçsel Büyüme Modelleri ve Ar-Ge Harcamalarının Ekonomik Büyüme Üzerine Etkisi: OECD Ülkeleri Panel Veri Analizi", *The Journal of SocioEconomic Research*, 8(16), 219-240
- Polat, M., Alakaş, Ö.E. ve Cıckler, B. (2023). "KOBİ'lerde Yönetim, Strateji ve Liderlik", 1. Basım, Nobel Bilimsel Eserler, Ankara.
- Rodriguez, M. (2014). "Innovation, Knowledge Spillovers and High-Tech Services in European Regions", *Engineering Economics*, 25(1), 31-39. <https://doi.org/10.5755/j01.ee.25.1.3207>
- Romer P.M. (1990). "Endogenous Technological Change", *The Journal of Political Economy*, 98(5), 71-102.
- Saygılı, Ş. (2003). "Bilgi Ekonomisine Geçiş Sürecinde Türkiye Ekonomisinin Dünyadaki Konumu", Uzmanlık Tezi, Yayın No. DPT 2675.
- Seçilmiş, N. ve Konu, A. (2019). "OECD Ülkelerinde Ar-Ge Teşvikleri ve İnovasyon İlişkisi Üzerine Ampirik Bir İnceleme", *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 16(2), 686-702. <https://doi.org/10.33437/ksusbd.533175>
- Sterlacchini, A. ve Venturini, F. (2019). "R&D Tax Incentives in EU Countries: Does The Impact Vary with Firm Size?", *Small Business Economics*, 53(3), 687-708. <https://doi.org/10.1007/s11187-018-0074-9>
- Svoboda, P. (2017). "The Impact of Tax Incentives on Research and Development", *Acta Universitatis Agriculturae Et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 65(2), 737-743. <https://doi.org/10.11118/actaun201765020737>
- Şahin, F. (2024). "Devlet Ar-Ge Destekleri ve Yenilikçilik İlişkisi: Kurumsal Kalitenin Moderatör Etkisi", *Karadeniz Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Bilimler Dergisi*, 14(28), 289-309.
- Şenel, K. (2023), "KOSGEB Desteklerinin Seçilmiş Ekonomik Göstergeler Üzerindeki Etkileri: Düzey 2 Bölgeleri İçin Panel Veri Analizi", Yayınlanmamış Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Trabzon.
- T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, (2023), On İkinci Kalkınma Planı (2024-2028). [https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2023/12/On-Ikinci-Kalkinma-Plani\\_2024-2028\\_11122023.pdf](https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2023/12/On-Ikinci-Kalkinma-Plani_2024-2028_11122023.pdf). (Erişim Tarihi: 02.05.2024)
- TPE. (2007-2011). Türk Patent ve Marka Kurumu Stratejik Plan (2007-2011) <https://www.turkpatent.gov.tr/stratejik-planlar>. (Erişim Tarihi: 10.05.2024).
- TPE. (2010-2021). Türk Patent ve Marka Kurumu <https://www.turkpatent.gov.tr/patent-istatistik> (Erişim Tarihi: 20.02.2024), <https://www.turkpatent.gov.tr/faydali-model-istatistik> (Erişim Tarihi: 20.02.2024), <https://www.turkpatent.gov.tr/marka-istatistik> (Erişim Tarihi: 20.02.2024), <https://www.turkpatent.gov.tr/tasarim-istatistik> (Erişim Tarihi: 20.02.2024).
- TPE. (2018-2022). Türk Patent ve Marka Kurumu Stratejik Plan (2018-2022) <https://www.turkpatent.gov.tr/stratejik-planlar> (Erişim Tarihi: 10.05.2024)
- Tripepi, G., Jager, K.J., Dekker, F.W. ve Zoccali, C. (2010). "Selection Bias and Information Bias in Clinical Research", *Nephron Clinical Practice*, 115(2), c94-c99. <https://doi.org/10.1159/000312871>
- Tripepi, G., Jager, K.J., Dekker, F.W., Wanner, C. ve Zoccali, C. (2008). "Bias in Clinical Research", *Kidney International*, 73(2), 148-153. <https://doi.org/10.1038/sj.ki.5002648>
- Turkcan, B. (2015). "Knowledge Externalities in Turkish High-Technology Manufacturing Industries: Spatial Panel Data Analyses", *Yaşar Üniversitesi E-Dergisi*, 10(40), 6711-6729.
- TÜBİTAK. (2005). "OECD, Eurostat, Oslo Klavuzu: Yenilik Verilerinin Toplanması ve Yorumlanması için İlkeler", TÜBİTAK 3.Baskı. [https://tubitak.gov.tr/sites/default/files/2023-10/Oslo\\_3\\_TR.pdf](https://tubitak.gov.tr/sites/default/files/2023-10/Oslo_3_TR.pdf) (Erişim Tarihi: 02.04.2024)
- TÜİK. (2022). <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Small-and-Medium-Sized-Enterprises-Statistics-2022-49438#:~:text=KOB%C4%B0'lerin%202022%20y%C4%B1%C4%B1nda%20do%C4%B9Fum%20oran%C4%B1%20%16%2C2%20oldu&text=KOB%C4%B0'lerin%202022%20y%C4%B1%C4%B1nda%20en,orta%20%C3%B6l%C3%A7%20giri%C5%9Fimler%20takip%20etmi%C5%9Ftir.> (Erişim Tarihi: 20.02.2024).
- Tüylüoğlu, Ş., ve Saraç, Ş. (2012). "Gelişmiş ve Gelişmekte Olan Ülkelerde İnovasyonun Belirleyicileri: Ampirik Bir Analiz", *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi*, 7(1), 39-74.
- Uysal, İ. ve Kılıç, A.F. (2022). "Normal Distribution Dilemma", *Anadolu Journal of Educational Sciences International*, 12(1), 220-248. <https://doi.org/10.18039/ajesi.962653>
- Varga, A. (2000). "Local Academic Knowledge Transfers and the Concentration of Economic Activity", *Journal of Regional Science*, 40(2), 289-309. <https://doi.org/10.1111/0022-4146.00175>
- Wang, X. ve Cheng, Z. (2020). "Cross-Sectional Studies: Strengths, Weaknesses, and Recommendations", *Chest*, 158(1S), 65-71. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2020.03.012>
- White, H. (1980). "A Heteroskedasticity-Consistent Covariance Matrix Estimator and A Direct Test for Heteroskedasticity", *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 817-838. <https://doi.org/10.2307/1912934>

- Wu, Y. (2005). "The Effects of State R&D Credits in Simulating Private R&D Expenditure: A Cross- State Empirical Analysis", *Journal of Policy Analysis and Management*, 24(4), 785-802.
- Zhu, P., Xu W. ve Lundin, N. (2006). "The Impact of Government's Fundings and Tax Incentives on Industrial R&D Investments-Empirical Evidences from Industrial Sectors in Shanghai", *China Economic Review*, 17(1), 51-69.

## Girişimcilikte Başarıya Etki Eden Kriterlerin Tespiti ve Önem Derecelerinin Belirlenmesi

Ali Sevinç<sup>1</sup> 

### ÖZET

**Amaç:** Girişimcilikte başarıya etki eden faktörlerin literatürden tespitini yaparak, Ankara'da farklı sektörlerde görev yapan girişimcilerden alınan uzman görüşleri doğrultusunda önem sırasını belirlemektir.

**Yöntem:** Türkiye'de farklı sektörlerde faaliyet gösteren, farklı disiplinlerde eğitim almış, tecrübeli uzmanların görüşleri alınarak, girişimcilikte başarıya etki eden kriterler SWARA yöntemi ile analiz edilerek önem sırası belirlenmiştir.

**Bulgular:** yapılan analiz sonucunda önem sırasına göre, en önemli kriter risk alma, ikinci sırada yenilikçilik ve üçüncü sırada proaktiflik faktörü yer almıştır. Rekabetçilik kriteri en az ağırlık değeri ile son sırada bulunmaktadır.

**Özgünlük:** literatür incelenmesinde tespit edilen, girişimcilikte başarıya etki eden faktörlerin, Ankara'da faaliyet gösteren farklı sektörlerdeki girişimcilerin uzman görüşlerine göre önem sırası, SWARA yöntemiyle belirlemeye yönelik bir çalışmanın literatüre katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Girişimcilik, Çok Kriterli Karar Verme, SWARA Yöntemi.

**JEL Kodları:** M10, M11, M21.

## Determination of Criteria Affecting Success in Entrepreneurship and Determination of Their Importance

### ABSTRACT

**Purpose:** To determine the factors affecting success in entrepreneurship from the literature and to determine the order of importance in line with the expert opinions of entrepreneurs working in different sectors in Ankara.

**Methodology:** The criteria affecting success in entrepreneurship were analyzed by SWARA method and the order of importance was determined by taking the opinions of experienced experts from different sectors in Turkey, educated in different disciplines.

**Findings:** As a result of the analysis, risk-taking was the most important criterion, innovation was the second most important criterion and proactiveness was the third most important criterion. Competitiveness ranked last with the least weight value.

**Originality:** It is evaluated that a study to determine the importance of the factors affecting success in entrepreneurship, which were identified in the literature review, according to the expert opinions of entrepreneurs in different sectors operating in Ankara, by SWARA method will contribute to the literature.

**Keywords:** Entrepreneurship, Multi-Criteria Decision Making, SWARA Method.

**JEL Codes:** M10, M11, M21.

<sup>1</sup> KOSGEB Ankara Sincan Müdürlüğü, Ankara

Sorumlu Yazar-Corresponding Author: Ali Sevinç, ali.sevinc@kosgeb.gov.tr

DOI: 10.51551/verimlilik.1698410

Araştırma Makalesi / Research Article | Geliş / Submitted: 13.05.2025 | Kabul / Accepted: 10.06.2025

Atıf/Cite: Sevinç, A. (2025). "Girişimcilikte Başarıya Etki Eden Kriterlerin Tespiti ve Önem Derecelerinin Belirlenmesi", *Verimlilik Dergisi*, 59(3), 647-660.

## EXTENDED ABSTRACT

Entrepreneurship is a commercial activity that includes many activities such as the emergence of new companies, the development of new products and mass production of these products, and the emergence of new business areas. Entrepreneurship is an important tool for the development of countries and the welfare of society. Entrepreneurship activities have a great impact on overcoming economic crises and improving economies.

In Turkey, the impact of entrepreneurship on the economy has been recognized and regulations are being made with different approaches to remove the obstacles in front of entrepreneurs and increase the number of entrepreneurs. The development of entrepreneurship in Turkey and the increase in the number of entrepreneurs are expected to have a positive impact on employment growth and economic growth. For this reason, in order to raise awareness of entrepreneur candidates about the factors affecting the success of entrepreneurship, it may be useful to know the factors affecting the success of entrepreneurship and to determine the importance ranking of the factors. The aim of this study is to identify the factors affecting success in entrepreneurship from the literature and to rank these factors in order of importance by SWARA method. In order to achieve this aim, entrepreneurs working in different sectors in Ankara and experts who provide consultancy to entrepreneurs were consulted to rank the importance of the factors affecting entrepreneurship.

In this study, SWARA (Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis), which is one of the multi-criteria decision-making methods, was selected as the method. SWARA Method has an important advantage as it is an easy-to-understand method. This method provides great convenience for users when making complex decisions and setting priorities. Since it can be applied by a wide range of users, it is effectively used in various sectors and projects.

The SWARA method is used to overcome the uncertainties involved in the process of linguistic evaluation of criteria and decision options. In ambiguous situations, it is a method based on the logic of comprehension by means of relative fundamental comparisons, which can easily incorporate expert ideas or opinions into the process. In this method, expert relative opinion plays a very important role in the calculation of criteria weights. The ability and experience of the experts is an important point in determining the importance of each criterion in the SWARA method. It is a simple, subjective method that has been successfully applied in solving many problems so far and is suitable for working with experts. For these reasons, SWARA method was preferred in this study.

The most important criterion is K2 "Risk-taking" (Ranked 1st), which is the most important factor for entrepreneurship and success. K5 "Innovation" (Ranked 2nd) emphasizes the value of innovative approaches of individuals, K9 "Proactivity" (Ranked 3rd), K6 "Entrepreneurship Education" (Ranked 4th), which is a factor related to knowledge and skills acquisition. P3 "Self-confidence" (ranked 5th). It reveals the necessity of individual self-efficacy. P4 "Motivation" (ranked 6th). P8 "Capital" (ranked 7th). Indicates that financial resources, while not insignificant, lag behind other criteria. P1 "Desire to Succeed" (Ranked 8th). K10 "Leadership Skills" (ranked 9th), while K7 "Competitiveness" (ranked 10th) is rated with lower weights. K7 "Competitiveness" (ranked 10th) is rated with lower weights, but stands out as a complementary factor supporting entrepreneurship

Entrepreneurship has an impact on the creation of job opportunities, the development and spread of innovation. It also adds dynamism to economies by keeping the competitive environment alive. Entrepreneurship activities pave the way for the establishment of new businesses by encouraging business start-ups. Entrepreneurs help markets recover by supporting the overcoming of crises in times of crisis. Entrepreneurship is the driving force of economies of all sizes, regardless of the size of the economy.

Increasing the number of successful entrepreneurs has an important role in the development of entrepreneurship. It is important for both entrepreneurs and entrepreneur stakeholder organizations to know the factors affecting success in entrepreneurship in order to raise awareness of entrepreneurs. Conscious entrepreneurs are expected to perform better. Therefore, risk taking, innovation, motivation, competitiveness, capital, entrepreneurship education, proactivity and leadership skills can be useful for entrepreneurs to be aware of the factors affecting the success of entrepreneurs. In the literature review, it was found that the Risk Taking factor was mentioned many times. It emerged as the most important factor in the analysis made by SWARA method. Considering the most frequent occurrence in the literature, it is understood that this situation is consistent.

Based on the observation that the Risk Factor is very important in entrepreneurship factors, it can be stated that raising awareness of entrepreneur candidates about risk management is of great importance. Based on this result, it may be useful for KOSGEB to organize online training programs for entrepreneurs operating in the manufacturing sector who want to take part in traditional sectors.

## 1. GİRİŞ

Girişimcilik, yeni firmaların doğması, yeni ürünlerin geliştirilmesi ve bu ürünlerin seri üretiminin yapılması, yeni iş alanlarının ortaya çıkması gibi birçok faaliyeti barındıran ve ticari amacı olan etkinliklerdir. Ülkelerin kalkınması ve toplumun refah seviyesinin oluşmasında girişimcilik önemli bir araçtır. Ekonomik krizlerin aşılmasında ve ekonomilerin iyileşmesinde girişimcilik faaliyetlerinin etkisi büyüktür. Piyasada rekabet oluşmasını sağlayarak, ekonomik canlanmaya katkıda bulunmakta ve ekonomik büyümeye destek vermektedirler. Bu açıdan girişimcilik ülke ekonomisi açısından değerli görülmektedir (İnce, 2015). Girişimcilikte başarıya etki eden faktörlerin bilinmesi, hem girişimciler açısından hemde bu konuda çalışma yapan uzmanlar için önemlidir. Girişimciliğin başarısında etkili olan faktörler sıralanarak öne çıkan faktörleri ve önemi daha az olan faktörlerin tespiti uzman görüşü olarak Çok Kriterli Karar Verme yöntemleri (ÇKKV) ile yapmak mümkündür.

Girişimcilik, uzun süredir, istihdamın kaynağı ve ekonomik büyümenin motoru olarak görülmektedir. Japonya, Tayvan, Güney Kore, Afrika ve Çin'de istihdamın önemli kısmını girişimciler sağlamaktadır. (Chu ve diğerleri, 2011). Ulusal ve uluslararası ticaretin gelişmesinde girişimcilerin önemli bir yeri vardır. Tüm dünya ülkelerinde olduğu gibi Türkiye'de de girişimcilik konusu ekonomi üzerindeki etkisi kavranmış ve farklı yaklaşımlarla girişimcilerin önlerindeki engellerin kaldırılması ve girişimci sayısının artması için düzenlemeler yapılmaktadır (Sönmez ve Toksoy 2014). Türkiye'de girişimciliğin gelişmesi, girişimci sayısının artması istihdam artışına ve ekonomik büyümeye olumlu yansımaları beklenmektedir. Bu nedenle, girişimci adaylarını bilinçlendirmek için girişimciliğin başarısına etki eden faktörler hakkında bilinçlendirilmesi amacıyla girişimcilikte başarıya etki eden faktörlerin bilinmesi ve faktörlerin önem sıralamasının belirlenmesi yararlı olabilir.

Bu çalışmanın amacı; girişimcilikte başarıya etki eden faktörleri literatürden tespit ederek bu faktörleri SWARA yöntemi ile önem sırasına göre dizmektir. Bu amacı gerçekleştirmek için Ankara'da farklı sektörlerde görev yapan girişimcilerden ve girişimcilere yönelik danışmanlık yapan uzmanlardan, girişimciliğe etki eden faktörlerin önem sıralamasını yapmaları için görüş alınmıştır. Bu uzmanlar uzun yıllardır girişimci olarak farklı sektörde faaliyet gösteren, çoğunluğu birinci nesil girişimcidir. Girişimcilerin Ankara'da yerleşik olması, orta ölçekli ve büyük ölçekli firma ortaklarından oluşması nedeniyle başarılı girişimci olduğu değerlendirilen uzman grubundan görüş alınarak yapılan bu çalışmanın literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Çalışmanın izleyen kısmında literatürdeki yapılan çalışmalar sunulmuş, sonra çok amaçlı optimizasyon yaklaşımı ve bu bağlamda kullanılan çözüm metodu hakkında kısa bir açıklama yapılmıştır. daha sonra da çalışma kapsamında geliştirilen modelin detayları ve işleyişi aktarılmıştır. Son olarak yapılan analizler sonucunda elde edilen bulgular ve çıkarımlar sunulmuştur.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Konuya ilişkin literatür anaşılabilirliği sağlamak amacıyla kronolojik bir sıralama ile aşağıdaki Tablo 1'de sunulmuştur. Yapılan literatür incelenmesinde, Utku ve Ayduğ (2024) çalışmasında kriter olarak; ilk yatırım, finansmana erişim, ağlar, güven, paylaşılan vizyon, eğitim ve deneyim, kullanarak, girişimcilik başarısını etkileyen faktörleri kaynak temelli bir yaklaşımla SWARA yöntemi ile analiz ederek bir karar verme modeli geliştirmiştir. Girişimcilik başarısında etkili olan finansal, sosyal ve beşeri sermaye kriterleri önceliklendirilmiştir. Kriter ağırlıklandırmasında enerji, otomotiv, petrol, elektrik ve hizmet sektörlerindeki deneyimleri ve üçüncü departmanlarda girişimcilik faaliyetlerini yürütme becerileri olan beş uzmandan görüş alınmıştır. Kiraz ve Eski (2019) çalışmasında 69 kişi üzerinde anket uygulayarak girişimciliği etkileyen özgüven, bireysel risk alma davranışı, yeniliğe açıklık, kontrol odağı, kararlılık, sosyallik, yaratıcılık, liderlik, araştırma ruhu, iş etiği ve takım ruhu kriterleri ile SWARA yöntemi ile ağırlıkları hesaplanmıştır. Uygulama bire bir bireyler üzerinde olmuştur. Bu çalışmada, konusunda uzman farklı disiplinlerde uzmanlığı bulunan ve farklı alanlarda üretim yapan, çoğunluğu KOBİ ölçekli işletme sahibi ve birinci nesil girişimci, işletme sahipleri hem çalışan sayısında hem yıllık net satış hasıla olarak belli bir büyüme sağlamış Mikro ölçekli küçük ve orta ölçekli işletmeye ulaşan sanayiciler uzman olarak seçilmiştir. Utku ve Ayduğ (2024) ve Kiraz ve Eski (2019) çalışmaları ile SWARA yöntemi kullanılmış, yöntem aynı olmakla beraber çalışmada kullanılan kriterler farklıdır. Utku ve Ayduğ (2024) çalışmasındaki finansmana erişim kriteri haricinde tüm kriterler farklıdır. Veri kümesi ve çalışma yapılan coğrafi bölge farklıdır. Dokuz uzmandan ve çoğunluğu farklı alanda faaliyet gösteren ve birinci nesil girişimciden görüş alınmıştır. Bu uzmanların orta ölçekli ve büyük ölçekli işletme sahibi ve ortağıdır. Bir kısmı KOBİ ölçekli ve içlerinden çeşitli sektörlerde işletme kurulmasına öncülük etmiş ve halen büyük işletmede yöntemim kurulu üyeliği yapmış ve halen danışma kurulu üyeliği yapan uzman yer aldığı uzman grubundan görüş alınmıştır. Bu özellikler diğer çalışmalardan farklı kılmaktadır.

Tablo 1. Literatür taraması

| Yazar(lar)                  | Kullanılan Yöntem        | Çalışma Konusu                                                                                                                             | Elde Edilen Bulgular                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-----------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tsai ve diğerleri (2014)    | ANP ve VIKOR             | Girişimcilik politikalarının etkinliğinin değerlendirilmesi                                                                                | Tayvan'da girişimcilik stratejisinin temelini oluşturmak için politika etkinliği değerlendirilmesi ve iyileştirilmeye yönelik bir model önerilmiştir.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Okan ve diğerleri (2016)    | AHP                      | Türkiye'de girişimcilikte sosyal sermayeyi temsil eden kriterlerin tespit edilmesi ve önem düzeylerinin belirlenmesi                       | Kamu kurum ve yetkilileri ile ilişkilerin en önemli ana boyut olduğunu, diğer kişi-kurum-dernek, sivil toplum kuruluşları ile ilişkilerin ise diğer işletmelerin yöneticileri boyutundan nispeten daha düşük bir öneme sahip olduğu tespit edilmiştir.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Ömürbek ve Karataş (2018)   | ENTROPİ, MAUT ve SAW     | Türkiye'de girişimci ve yenilikçi 50 üniversitenin 2016 yılı performansı değerlendirilmesi                                                 | En yüksek ağırlık değerine sahip kriterin fikri mülkiyet hakkı olduğu belirlenmiştir. Performans değerlendirmesi sıralamasında, Sabancı Üniversitesi ilk sırada, Orta Doğu Teknik Üniversitesi her iki yöntem için de ikinci sırada yer almıştır. Her iki farklı yöntemde de benzer sonuçlar elde edilmiştir.                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Martin ve Pandiammal (2018) | VIKOR ve LONSM           | Kadın girişimcilerin sorunlarının analizi                                                                                                  | Kadın girişimcilerin sorunlarını çözmeye yöneliktir.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Arias ve Botero (2019)      | AHP                      | Sosyal girişimciliğin etkisi                                                                                                               | Sosyal girişimciliğin değerlendirmesinde kullanılan kriterler, daha esnek hale getirilmiştir.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Kiraz ve Eski (2019)        | SWARA                    | Girişimcilik düzeyini etkileyen kriter ağırlıklarının belirlenmesi                                                                         | Özgüven, bireysel risk alma davranışı, yeniliğe açıklık, kontrol odağı, kararlılık, sosyallik, yaratıcılık, liderlik, araştırma ruhu, ticari etik ve takım ruhu gibi özelliklerin girişimcilik düzeyinde etkili kriterler olduğu görülmektedir. Ayrıca 69 kişiye anket uygulanmış olup, katılımcılardan sorulara kendilerine en uygun cevapları vermeleri ve son olarak girişimcilik ruhu açısından kendilerini değerlendirmeleri istenmiştir. Elde edilen bulgulara göre bir yaşam biçimi olan girişimcilik eğiliminin sonradan kazanılabilen bir yaklaşım olduğu konusunda farkındalık oluşturmaya beklenmektedir. |
| Karimi ve diğerleri (2019)  | ANP ve DEMATEL           | Sanayi işletmelerinde girişimcilik politikası ve yenilikçilik göstergelerinin değerlendirilmesi                                            | Yapay Sinir Ağı modeli, Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP) Sinir Ağı tasarlanmıştır.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Altıntaş (2021)             | CRITIC, ENTROPİ ve SWARA | Şanghay İşbirliği Örgütü'ne üye ülkelerde küresel girişimcilik endeksi değerlerinin tespiti için bileşenin önem derecelerinin belirlenmesi | Şanghay İşbirliği Örgütü'ne üye ülkelerde girişimcilik yeteneğinin, girişimcilik tutumlarından ve amaçlarından daha fazla önemsedigi tespit edilmiştir.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Çınaroğlu (2021)            | CRITIC ve MARCOS         | Türkiye'de üniversitelerin 2020 yılı yenilikçilik ve girişimcilik performanslarının değerlendirilmesi                                      | ODTÜ, Bilkent ve İstanbul Teknik Üniversitesi yenilikçilik ve girişimcilik açısından ileri gelen üniversiteler olduğu belirlenmiştir. Yenilikçilik ve girişimcilik anlamında eksiklikleri saptanan üniversitelerin zayıf yönleri ele alınarak iyileştirme önerileri geliştirilebilir.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Oğuz (2022)                 | ENTROPİ, EDAS ve TOPSIS  | Türkiye'de girişimci ve yenilikçi üniversitelerin değerlendirilmesi                                                                        | Her iki yöntemde de Orta Doğu Teknik Üniversitesi'nin ilk sırada yer aldığını göstermektedir. Bulguların TUBİTAK'ın sonuçları ile tutarlı olduğu görülmektedir.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Maruf ve diğerleri (2023)   | CRITIC ve MAIRCA         | Türkiye'deki Büyükşehirlerin girişimci dostu özellikleri yönüyle sıralaması                                                                | Türkiye'deki büyükşehirler girişimci dostu özellikleri sıralanmıştır. İlk üç sırada İstanbul, İzmir, Tekirdağ son sırada Mardin yer almıştır.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

**Tablo 1. (Devamı)**

| <i>Yazar(lar)</i>         | <i>Kullanılan Yöntem</i>                                    | <i>Çalışma Konusu</i>                                                                                                         | <i>Elde Edilen Bulgular</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nguyen ve Chu (2023)      | DEMATEL, ANP ve PROMETHEE II                                | Start-up firmaları sıralamak ve faktörler arasındaki ilişkilerin incelenmesi                                                  | Girişim sıralamasını kolaylaştıran ve faktörler arasındaki ilişkileri inceleyen hibrit bir DEMATEL-ANP tabanlı bulanık PROMETHEE II modeli önerilmiştir.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Dixit ve diğerleri (2023) | AHP, DEMATEL ve TOPSİS                                      | Eğitim kurumlarında sürdürülebilir girişimcilik tutumunun gelişimine katkıda bulunan faktörlerin incelenmesi                  | Eğitim kurumlarınca tasarlanan müfredatın, geleceğin girişimcilerin sürdürülebilir girişimci tutum geliştirmek amacıyla kullanılabilir                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Şenyuva (2024)            | DEMATEL                                                     | Girişimci olma kararını etkileyen faktörlerin analizi                                                                         | Sosyal normların etkileme gücünün yüksek olduğu ve özellikle özgüven ve yenilikçilik kriterlerinin diğer kriterler ile yoğun ilişkide olması nedeniyle ağırlık kazandığı karmaşık bir etkileşim yapısını göstermiştir. U1 ve U2 kodlu üniversitelerin en girişimci ve yenilikçi üniversiteler olduğu tespit edilmiştir. farklı kriter ağırlıklarına sahip farklı ÇKKV yöntemlerinin üniversite sıralamalarını nasıl etkileyebileceğini araştırmayı ve bu farklılıklara katkıda bulunan nedenleri tespit etmeye katkı verebilir. |
| Elevli ve Elevli (2024)   | ENTROPİ, Gri İlişkisel Analiz ve PROMETHEE                  | Türkiye'deki üniversiteler 2022 Girişimci ve Yenilikçi Üniversite Endeksi'ne göre değerlendirilmesi                           | Kaynak temelli bir yaklaşımla girişimci başarısını etkileyen en önemli kriterin deneyim, ardından paylaşılan vizyon, ağlar, finansmana erişim, eğitim, ilk yatırım ve güven olduğu tespit edilmiştir.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Utku ve Ayduğ (2024)      | SWARA                                                       | Kaynak temelli bir yaklaşımla girişimci başarısını etkileyen faktörlerin analiz edilerek bir karar alma modeli geliştirilmesi | Kuruluşların yeni sosyal girişimcilere potansiyel engeller hakkında önerilerde bulunmasına yardımcı olabilir ve bu da girişimcilerin fikirlerinden vazgeçme sayısını azaltmaya katkı sağlayabilir.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Keleş ve diğerleri (2024) | Fuzzy Delphi, Geliştirilmiş Bulanık SWARA ve Bulanık WASPAS | Sosyal girişimciliğin önündeki engellerin aşılması                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

### 3. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Girişimci, yeni işletme kuran, emek, hammadde ve diğer varlıkları ile daha büyük değer oluşturmak amacıyla bir araya getiren kişi” olarak tanımlanmaktadır. Girişimci risk almasına rağmen, fırsatları yakalamak için kar etmeye ve sermayesini büyütmeye çalışır. Ayrıca, üretim faktörlerini birleştirerek finansman kaynakları ulaşan ve pazarları bulmaya çalışır (Bozkurt ve Alparslan, 2013). Başka bir tanımda girişimci, başkalarının göremediği fırsatları gören ve iş fikrine dönüştüren bireydir. Karşılaştığı fırsatları değerlendirerek işi planını geliştiren, çalışanları motive eden, girdiyi çıktıya karlı bir şekilde müşterilerine sunan kişidir (Boz ve diğerleri, 2020). Buna ilaveten, girişimci “yenilikleri ekonomik ürünlere dönüştürmek için inovasyonu, finansı ve iş zekasını üstlenen kişiler” olarak tanımlanmaktadır. Yukarıdaki tanımlardan da anlaşılacağı üzere girişimciler çok yönlü bir fonksiyona ve meziyete sahiptir (Çiçek ve Karakaş, 2020).

Girişimciler birey ve toplum için değer oluşturmakta, getirdiği yeniliklerle ekonomik sistem içerisinde sosyolojik değişikliklere neden olmaktadır (Çiçek ve Karakaş, 2020). Girişimci sadece finansal risk almamakta, psikolojik ve sosyal riskler de almaktadır. Çünkü yeni ve değerli şeyler üretme ve fırsatları gözlemleyip gerçekleştirmeye çalışması risk barındırmaktadır (Vatansever, 2012).

Girişimcilik, yenilikçi fikirlerin oluşturulması, bunların hayata geçirilmesi ve ekonomik kaynakların aktif hale getirilmesi ile ekonomik aktivitelerin daha geniş bir alana yaygınlaşmasına katkıda bulunur. Girişimciler, yeni istihdam alanları oluşturmakta ve gelir ve refah artışına yol açmaktadır. Bununla birlikte ülke kalkınmasına katkı sağlamaktadırlar. Piyasada yaşanan hareket, rekabeti getirmekte, en uygun endüstrilerin ve firma alternatiflerinin ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Mevcut firmalarda kalite ve hizmet standartlarının artmasına neden olmaktadır. Bu döngü girişimciliğin ülke ekonomisinin büyüme üzerinde anlamlı etkisi olmaktadır (Ağır ve Kara, 2017).

Risk alma, yenilikçilik, proaktiflik ve rekabetçi saldırganlık gibi girişimcilikle ilişkili kavramlar literatürde geçmektedir. Bu özelliklerin, girişimciliğe yönelimi etkilediği ifade edilmektedir (Akarsu ve Döven, 2022; Boz ve diğerleri, 2020). Türkiye’de girişimcilik özellikleri ile ilgili yapılan çalışmalarda, risk alma, başarıya ihtiyacı ve yenilikçiliğin öne çıktığı belirtilmektedir (Bozkurt ve Alparslan, 2013). Girişimcinin çalıştığı sektör fark etmeksizin işinde başarılı olması için girişimcinin bireysel özelliklerinin yanında motivasyonunu koruması

önemli bir husustur (İnce, 2015). Girişimciler görevini iyi yapması, yeterli bir performans göstermesi için bilgi, tecrübe, yetenek ve kişilik özelliklerine sahip olması önemlidir (Çetin ve Varoğlu, 2009).

Girişimcilik faaliyetlerinin sürdürülebilirliği için girişimcinin liderliği ve rekabetçilik yönü önemlidir (Porcar ve diğerleri, 2018). Ayrıca kurumsal girişimcilikte motivasyon ve finansal kaynaklara erişime önem verilmektedir (Srivastava ve Agrawal 2010). Girişimcinin işini geliştirmesi ve büyütmesinde finansmana finansal erişim, liderlik ve motivasyon faktörünün etkisi olduğu açıktır. Girişimcilerin başarısına etki eden bazı faktörler literatürden tespit edilmiştir. Bu faktörlerin listesi Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 2. Girişimciliğe etki eden faktörler listesi**

| No. | Faktörler            | Referanslar                                                                                                                                                                                                                                   |
|-----|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | Başarma İhtiyacı     | Boz ve diğerleri (2020), İnce (2015), Çiçek ve Karakaş (2020), Bozkurt ve Alparslan (2013)                                                                                                                                                    |
| 2   | Risk Alma            | Lee and Yang (2013), Sönmez ve Toksoy (2014), Akarsu ve Döven (2022), Boz ve diğerleri (2020), İnce (2015), Alpkan ve diğerleri (2005), Altıntaş (2021), Bonet ve diğerleri (2011), Srivastava ve Agrawal (2010), Bozkurt ve Alparslan (2013) |
| 3   | Özgüven              | Maczulskij ve Viinikainen (2023)                                                                                                                                                                                                              |
| 4   | Motivasyon           | Porcar ve diğerleri (2018), Sönmez ve Toksoy (2014), Çiçek ve Karakaş (2020), Srivastava ve Agrawal (2010)                                                                                                                                    |
| 5   | Yenilikçilik         | Sönmez ve Toksoy (2014), Akarsu ve Döven (2022), Boz ve diğerleri (2020), İnce (2015), Alpkan ve diğerleri (2005), Altıntaş (2024), Bonet ve diğerleri (2011), Bozkurt ve Alparslan (2013)                                                    |
| 6   | Girişimcilik Eğitimi | Çiçek ve Karakaş (2020), Safitri ve diğerleri (2024), Bozkurt ve Alparslan (2013)                                                                                                                                                             |
| 7   | Rekabetçilik         | Akarsu ve Döven (2022), İnce (2015), Boz ve diğerleri (2020), Sönmez ve Toksoy (2014), Safitri ve diğerleri (2024)                                                                                                                            |
| 8   | Sermaye              | Lee ve Yang (2013), Çiçek ve Karakaş (2020), Safitri ve diğerleri (2024)                                                                                                                                                                      |
| 9   | Proaktiflik          | Akarsu ve Döven (2022), İnce (2015), Alpkan ve diğerleri (2005), Boz ve diğerleri (2020), Bonet ve diğerleri (2011), Bozkurt ve Alparslan (2013)                                                                                              |
| 10  | Liderlik Becerileri  | Porcar ve diğerleri (2018), İnce (2015), Bonet ve diğerleri (2011), Srivastava ve Agrawal (2010)                                                                                                                                              |

Girişimciliğin başarısına etki eden faktörler literatürden tespit edilmiştir. Bu faktörler önem derecesine göre sıralama yapmaları için farklı sektörlerde faaliyet gösteren, farklı alanlarda uzmanlığı olan ve çoğunluğu girişimcilerden oluşan uzmanların görüşlerine sunulmuştur. Bu uzmanların eğitimi, tecrübesi ve çalıştığı sektörler farklıdır. Görüş alınan bir uzman, kendi çabasıyla yazılım kodlamayı öğrenmiş, üniversite mezunu, 25 yıl iş tecrübesi olan, yazılım firması sahibidir. Diğer bir uzman sağlık cihazı üretmektedir. Dört yıl iş tecrübesi bulunmaktadır. Görüş alınan farklı bir uzman, sağlık sektöründe cihaz üretmekte olup, mesleği bilgisayar mühendisi ve dört yıl iş tecrübesi bulunmaktadır. Boru hatları imalatı yapan girişimci, otuz yıl üzerinde iş tecrübesi bulunmakta, mesleği makine mühendisidir. Görüş veren başka bir uzman akü sektöründe faaliyet gösteren bir firmada görev yapmaktadır. İşletme mezunu ve 35 yılı aşkın iş hayatının içerisinde bu işi yapmaktadır. Mesleği endüstri mühendisidir. Gıda sektöründe faaliyet gösteren uzmanın 20 yıl üzerinde iş deneyimi vardır. Alanında görüş alınan başka uzman ise metal sektöründe üretim yapmakta ve 20 yıl iş tecrübesi bulunmaktadır. Son olarak, görüş veren uzmanın, 25 yıl iş deneyimi bulunmaktadır. Bu uzman üniversite mezunudur. Çok sayıda girişimcilik eğitimi vermiştir.

#### 4. YÖNTEM

Bu çalışmada, yöntem olarak ÇKKV yöntemlerinden olan SWARA (Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis) seçilmiştir. SWARA, 2010 yılında Kersuliene, Zavadskas ve Turskis tarafından geliştirilen çok kriterli değerlendirmeler yapmak için kullanılan bir analitik yöntemdir. Karar vericilerin göreceli önem sıralamalarına dayalı olarak işlemler gerçekleştirilir ve ağırlıklandırma yapılır. SWARA Yöntemi, kolay anlaşılır bir yöntem olması nedeniyle önemli bir avantaja sahiptir. Bu yöntem, karmaşık kararlar alınırken ve öncelikler belirlenirken kullanıcılar için büyük bir kolaylık sağlar. Geniş bir kullanıcı kitlesi tarafından uygulanabilir olması nedeniyle çeşitli sektörlerde ve projelerde etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Keršuliene ve diğerleri, 2010).

SWARA yöntemi, ölçütlerin ve karar seçeneklerinin dilbilimsel değerlendirilmesi sürecinde yer alan belirsizliklerin üstesinden gelmek için kullanılır. Belirsiz durumlarda, göreceli temel mukayeseler vasıtasıyla kavranılması mantığa dayanan, uzman fikirlerini veya düşüncülerini kolaylıkla sürece dahil edebilen yöntemdir. Bu yöntemde ölçüt ağırlıklarının hesaplanmasında uzman göreceli fikri çok önemli rol oynamaktadır. Uzmanların yeteneği ve tecrübesi, SWARA yönteminde her ölçütün önemini belirlemede önemli bir noktadır. Bugüne kadar birçok problemin çözümünde başarı ile uygulanmış, basit, uzmanlarla

birlikte çalışmaya uygun, subjektif bir yöntemdir (Özbek, 2017). Bu nedenlerle yapılan bu çalışmada SWARA yöntemi tercih edilmiştir (Kouchaksaraei ve diğerleri, 2015). SWARA yöntemini kullanarak ölçütlerin göreceli ağırlıklarının belirlenme süreci beş adımdan oluşmaktadır (Alimardani ve diğerleri, 2013; Zolfani ve diğerleri, 2013; Stanujkic ve diğerleri, 2015)

**Aşama 1. Kriterlerin sıralanması ve göreceli önem puanlarının belirlenmesi:** Kriterler ve karar vericiler belirlendikten sonra karar vericiler, kriterleri kendi belirlediği önem derecesine göre sıralar. Daha sonraki kriterlerin önem düzeylerini belirlemeye başlar. İkinci kriterden itibaren her bir kriteri ( $j$ ) bir sonraki kriter ( $j+1$ ) ile kıyaslayarak kriterlere 0-1 arasında bir değer ( $s_j$ ) atar. Kriterlere verilen değerlerin  $0 \leq s_j \leq 1$  olması gerekmektedir. Ölçütler, uzman görüşü doğrultusunda önem sırasına göre azalan düzeyde sıralanır. Birden fazla uzman ölçütleri değerlendirecekse, her bir uzmanın bireysel değerlendirme sonucu azalan düzeyde sıralanır, ölçütlerin geometrik ortalaması alınarak genel bir sıralama yapılır.

**Aşama 2. Katsayı değerinin (Önem vektörü  $k_j$ ) hesaplanması:** Karar vericilerin değerlendirmesi sonucunda tespit edilen, göreceli önem puanları Eşitlik 1'e göre işlem yapılır ve katsayı değerleri bulunur. En üst sıradaki kritere (En önemli olduğu değerlendirilen kritere) "1" değeri verilir (Eşitlik 1).

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

**Aşama 3. Düzeltilmiş ağırlıkların (Yeni önem vektörü  $v_j$ ) hesaplanması:** Düzeltilmiş ağırlıklar (Yeni önem vektörü) Eşitlik 2 kullanılarak hesaplanır.

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

**Aşama 4. Her karar vericinin göreceli önem ağırlıklarının ( $w_j$ ) hesaplanması:** Her bir karar verici için göreceli ağırlıkları Eşitlik 3'e göre hesaplanır.

$$w_j = \frac{v_j}{\sum_{j=1}^n v_j} \quad (3)$$

**Aşama 5. Nihai ağırlıkların ( $W_j$ ) hesaplanması:** Her bir karar vericinin değerlendirmesinde hesaplanan göreceli ağırlıkların ortalaması alınarak nihai ağırlıklar hesaplanır.

## 5. UYGULAMA

Girişimcilikte başarıya etki eden faktörlerin önem sırasını belirlemek amacıyla uzmanların görüşleri alınmıştır. Her bir uzman, birinci sıraya en önemli gördüğü kriteri yerleştirirken, ikinci sıraya birinci sıradan sonra önemli gördüğü kriteri koymuştur. Sıralama en önemli olandan en az önemli olana doğru yapılmıştır. Faktörlerin önem sıralamasının geometrik ortalaması alınmış ve sıralama yapılmıştır. Karar matrisi Tablo 3'te verilmiştir.

**Tablo 3. Girişimciliğe etki eden faktörlerin karar matrisi**

| Girişimci/<br>Uzman | Girişimciliğe Etki<br>Eden Faktörler | 1. Uzman | 2. Uzman | 3. Uzman | 4. Uzman | 5. Uzman | 6. Uzman | 7. Uzman | 8. Uzman | 9. Uzman | Geometrik<br>Ortalama | Sıralama |
|---------------------|--------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------------------|----------|
| K1                  | Başarma İhtiyacı                     | 7        | 8        | 6        | 8        | 8        | 8        | 9        | 8        | 1        | 6,139                 | 8        |
| K2                  | Risk Alma                            | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 2        | 1,080                 | 1        |
| K3                  | Özgüven                              | 5        | 6        | 4        | 6        | 6        | 6        | 4        | 6        | 3        | 4,975                 | 5        |
| K4                  | Motivasyon                           | 4        | 4        | 7        | 5        | 5        | 5        | 8        | 5        | 4        | 5,077                 | 6        |
| K5                  | Yenilikçilik                         | 3        | 2        | 5        | 2        | 2        | 2        | 1        | 2        | 5        | 2,375                 | 2        |
| K6                  | Girişimcilik Eğitimi                 | 9        | 5        | 2        | 4        | 4        | 4        | 10       | 4        | 6        | 4,812                 | 4        |
| K7                  | Rekabetçilik                         | 8        | 9        | 9        | 9        | 9        | 9        | 7        | 9        | 7        | 8,400                 | 10       |
| K8                  | Sermaye                              | 10       | 7        | 3        | 7        | 7        | 7        | 3        | 7        | 8        | 6,123                 | 7        |
| K9                  | Proaktiflik                          | 6        | 3        | 10       | 3        | 3        | 3        | 6        | 3        | 9        | 4,520                 | 3        |
| K10                 | Liderlik Becerileri                  | 2        | 10       | 8        | 10       | 10       | 10       | 2        | 10       | 10       | 6,822                 | 9        |

Tablo 2'de uzmanların görüşlerine göre girişimcilikte başarı faktörlerinin sıralaması yapılmıştır. Daha sonra her bir kriterin önem ağırlıkları için tekrar aynı uzmanların, görüşlerine sunulmuştur. Uzman sayısı kadar sıralama ve kriter ağırlığı ortaya çıkmıştır. Görüş veren her bir uzmanın farklı disiplinlerde uzmanlığı bulunmaktadır. Çoğunluğu farklı sektörlerde girişimci olarak faaliyet göstermektedir. Uzman olarak görüş veren az sayıda uzman ise girişimcilere danışmanlık ve yönderlik yapan uzmanlardan oluşmaktadır. Literatürde geçen girişimcilikte başarıya etki eden faktörlerin önem sıralamasını yapmaları istenmiştir. İki

aşamada görüşleri alınan uzmanların, ilk aşamada önem sırasını yapmaları istenmiş, yapılan önem sırası sonuçlarının geometrik ortalaması alındıktan sonra ikinci defa uzmanlardan kriterlerin önem sırasını yapmaları istenmiştir. Önem sırası ve ikinci aşamadaki her bir uzman önem sırası yapmaları ve  $s_i$ ,  $k_i$  ve  $q_i$  değerlerinin hesaplamaları  $w_i$  ağırlıklarının hesaplamaları yapılmıştır. Görüşü alınan her bir uzmanın önem ağırlıklarını içeren değerlendirmeler, Tablo 4-12'de verilmiştir.

**Tablo 4. Birinci uzmanın girişimcilik faktörleri önem sıralaması**

| Kriter | Sıra  | Önem Sırası | $s_j$ | $k_j$ | $q_j$ | $w_j$ |
|--------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|
| K2     | 1,080 | 1           |       | 1     | 1,000 | 0,174 |
| K5     | 2,375 | 2           | 0,10  | 1,10  | 0,909 | 0,158 |
| K9     | 4,520 | 3           | 0,20  | 1,2   | 0,758 | 0,132 |
| K6     | 4,812 | 4           | 0,05  | 1,05  | 0,722 | 0,125 |
| K3     | 4,975 | 5           | 0,15  | 1,15  | 0,627 | 0,109 |
| K4     | 5,077 | 6           | 0,20  | 1,2   | 0,523 | 0,091 |
| K8     | 6,123 | 7           | 0,35  | 1,35  | 0,387 | 0,067 |
| K1     | 6,139 | 8           | 0,15  | 1,15  | 0,337 | 0,059 |
| K10    | 6,822 | 9           | 0,25  | 1,25  | 0,269 | 0,047 |
| K7     | 8,400 | 10          | 0,20  | 1,2   | 0,225 | 0,039 |

**Tablo 5. İkinci uzmanın girişimcilik faktörleri önem sıralaması**

| Kriter | Sıra  | Önem Sırası | $s_j$ | $k_j$ | $q_j$ | $w_j$ |
|--------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|
| K2     | 1,080 | 1           |       | 1     | 1,000 | 0,257 |
| K5     | 2,375 | 2           | 0,25  | 1,25  | 0,800 | 0,205 |
| K9     | 4,520 | 3           | 0,5   | 1,5   | 0,533 | 0,137 |
| K6     | 4,812 | 4           | 0,25  | 1,25  | 0,427 | 0,109 |
| K3     | 4,975 | 5           | 0,35  | 1,35  | 0,316 | 0,081 |
| K4     | 5,077 | 6           | 0,2   | 1,2   | 0,263 | 0,068 |
| K8     | 6,123 | 7           | 0,4   | 1,4   | 0,188 | 0,048 |
| K1     | 6,139 | 8           | 0,3   | 1,3   | 0,145 | 0,037 |
| K10    | 6,822 | 9           | 0,2   | 1,2   | 0,121 | 0,031 |
| K7     | 8,400 | 10          | 0,15  | 1,15  | 0,105 | 0,027 |

**Tablo 6. Üçüncü uzmanın girişimcilik faktörleri önem sıralaması**

| Kriter | Sıra  | Önem Sırası | $s_j$ | $k_j$ | $q_j$ | $w_j$ |
|--------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|
| K2     | 1,080 | 1           |       | 1     | 1,000 | 0,213 |
| K5     | 2,375 | 2           | 0,4   | 1,4   | 0,714 | 0,152 |
| K9     | 4,520 | 3           | 0,1   | 1,1   | 0,649 | 0,138 |
| K6     | 4,812 | 4           | 0,1   | 1,1   | 0,590 | 0,126 |
| K3     | 4,975 | 5           | 0,2   | 1,2   | 0,492 | 0,105 |
| K4     | 5,077 | 6           | 0,3   | 1,3   | 0,378 | 0,081 |
| K8     | 6,123 | 7           | 0,4   | 1,4   | 0,270 | 0,058 |
| K1     | 6,139 | 8           | 0,2   | 1,2   | 0,225 | 0,048 |
| K10    | 6,822 | 9           | 0,1   | 1,1   | 0,205 | 0,044 |
| K7     | 8,400 | 10          | 0,2   | 1,2   | 0,171 | 0,036 |

**Tablo 7. Dördüncü uzmanın girişimcilik faktörleri önem sıralaması**

| Kriter | Sıra  | Önem Sırası | $s_j$ | $k_j$ | $q_j$ | $w_j$ |
|--------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|
| K2     | 1,080 | 1           |       | 1     | 1,000 | 0,301 |
| K5     | 2,375 | 2           | 0,5   | 1,5   | 0,667 | 0,201 |
| K9     | 4,520 | 3           | 0,4   | 1,4   | 0,476 | 0,143 |
| K6     | 4,812 | 4           | 0,2   | 1,2   | 0,397 | 0,120 |
| K3     | 4,975 | 5           | 0,4   | 1,4   | 0,283 | 0,085 |
| K4     | 5,077 | 6           | 0,45  | 1,45  | 0,195 | 0,059 |
| K8     | 6,123 | 7           | 0,6   | 1,6   | 0,122 | 0,037 |
| K1     | 6,139 | 8           | 0,5   | 1,5   | 0,081 | 0,025 |
| K10    | 6,822 | 9           | 0,4   | 1,4   | 0,058 | 0,018 |
| K7     | 8,400 | 10          | 0,5   | 1,5   | 0,039 | 0,012 |

**Tablo 8. Beşinci uzmanın girişimcilik faktörleri önem sıralaması**

| Kriter | Sıra  | Önem Sırası | <i>sj</i> | <i>kj</i> | <i>qj</i> | <i>wj</i> |
|--------|-------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| K2     | 1,080 | 1           |           | 1         | 1,000     | 0,201     |
| K5     | 2,375 | 2           | 0,15      | 1,15      | 0,870     | 0,174     |
| K9     | 4,520 | 3           | 0,25      | 1,25      | 0,696     | 0,139     |
| K6     | 4,812 | 4           | 0,2       | 1,20      | 0,580     | 0,116     |
| K3     | 4,975 | 5           | 0,25      | 1,25      | 0,464     | 0,093     |
| K4     | 5,077 | 6           | 0,2       | 1,20      | 0,386     | 0,077     |
| K8     | 6,123 | 7           | 0,2       | 1,20      | 0,322     | 0,065     |
| K1     | 6,139 | 8           | 0,2       | 1,20      | 0,268     | 0,054     |
| K10    | 6,822 | 9           | 0,25      | 1,25      | 0,215     | 0,043     |
| K7     | 8,400 | 10          | 0,15      | 1,15      | 0,187     | 0,037     |

**Tablo 9. Altıncı uzmanın girişimcilik faktörleri önem sıralaması**

| Kriter | Sıra  | Önem Sırası | <i>sj</i> | <i>kj</i> | <i>qj</i> | <i>wj</i> |
|--------|-------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| K2     | 1,080 | 1           |           | 1         | 1,000     | 0,232     |
| K5     | 2,375 | 2           | 0,35      | 1,35      | 0,741     | 0,172     |
| K9     | 4,520 | 3           | 0,05      | 1,05      | 0,705     | 0,163     |
| K6     | 4,812 | 4           | 0,1       | 1,1       | 0,641     | 0,149     |
| K3     | 4,975 | 5           | 0,5       | 1,5       | 0,428     | 0,099     |
| K4     | 5,077 | 6           | 0,4       | 1,4       | 0,305     | 0,071     |
| K8     | 6,123 | 7           | 0,6       | 1,6       | 0,191     | 0,044     |
| K1     | 6,139 | 8           | 0,3       | 1,3       | 0,147     | 0,034     |
| K10    | 6,822 | 9           | 0,55      | 1,55      | 0,095     | 0,022     |
| K7     | 8,400 | 10          | 0,45      | 1,45      | 0,065     | 0,015     |

**Tablo 10. Yedinci uzmanın girişimcilik faktörleri önem sıralaması**

| Kriter | Sıra  | Önem Sırası | <i>sj</i> | <i>kj</i> | <i>qj</i> | <i>wj</i> |
|--------|-------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| K2     | 1,080 | 1           |           | 1         | 1,000     | 0,175     |
| K5     | 2,375 | 2           | 0,05      | 1,05      | 0,952     | 0,166     |
| K9     | 4,520 | 3           | 0,1       | 1,1       | 0,866     | 0,151     |
| K6     | 4,812 | 4           | 0,15      | 1,15      | 0,753     | 0,132     |
| K3     | 4,975 | 5           | 0,2       | 1,2       | 0,627     | 0,110     |
| K4     | 5,077 | 6           | 0,25      | 1,25      | 0,502     | 0,088     |
| K8     | 6,123 | 7           | 0,3       | 1,3       | 0,386     | 0,067     |
| K1     | 6,139 | 8           | 0,35      | 1,35      | 0,286     | 0,050     |
| K10    | 6,822 | 9           | 0,4       | 1,4       | 0,204     | 0,036     |
| K7     | 8,400 | 10          | 0,4       | 1,4       | 0,146     | 0,025     |

**Tablo 11. Sekizinci uzmanın girişimcilik faktörleri önem sıralaması**

| Kriter | Sıra  | Önem Sırası | <i>sj</i> | <i>kj</i> | <i>qj</i> | <i>wj</i> |
|--------|-------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| K2     | 1,080 | 1           |           | 1         | 1,000     | 0,239     |
| K5     | 2,375 | 2           | 0,3       | 1,3       | 0,769     | 0,184     |
| K9     | 4,520 | 3           | 0,3       | 1,3       | 0,592     | 0,141     |
| K6     | 4,812 | 4           | 0,25      | 1,25      | 0,473     | 0,113     |
| K3     | 4,975 | 5           | 0,2       | 1,2       | 0,394     | 0,094     |
| K4     | 5,077 | 6           | 0,4       | 1,4       | 0,282     | 0,067     |
| K8     | 6,123 | 7           | 0,25      | 1,25      | 0,225     | 0,054     |
| K1     | 6,139 | 8           | 0,2       | 1,2       | 0,188     | 0,045     |
| K10    | 6,822 | 9           | 0,25      | 1,25      | 0,150     | 0,036     |
| K7     | 8,400 | 10          | 0,3       | 1,3       | 0,116     | 0,028     |

**Tablo 12. Dokuzuncu uzman girişimcilik faktörleri önem sıralaması**

| Kriter | Sıra  | Önem Sırası | sj   | kj   | qj    | wj    |
|--------|-------|-------------|------|------|-------|-------|
| K2     | 1,080 | 1           |      | 1    | 1,000 | 0,215 |
| K5     | 2,375 | 2           | 0,25 | 1,25 | 0,800 | 0,172 |
| K9     | 4,520 | 3           | 0,15 | 1,15 | 0,696 | 0,150 |
| K6     | 4,812 | 4           | 0,25 | 1,25 | 0,557 | 0,120 |
| K3     | 4,975 | 5           | 0,25 | 1,25 | 0,445 | 0,096 |
| K4     | 5,077 | 6           | 0,35 | 1,35 | 0,330 | 0,071 |
| K8     | 6,123 | 7           | 0,2  | 1,2  | 0,275 | 0,059 |
| K1     | 6,139 | 8           | 0,25 | 1,25 | 0,220 | 0,047 |
| K10    | 6,822 | 9           | 0,2  | 1,2  | 0,183 | 0,039 |
| K7     | 8,400 | 10          | 0,25 | 1,25 | 0,147 | 0,032 |

Tablo 13’de uzmanların görüşleri neticesinde kriterler için elde edilen aritmetik ve geometrik ortalamalar verilmiştir. Aritmetik ve geometrik ortalama sonuçlarına göre, risk kriteri en yüksek ağırlığa sahip olarak birinci sırada yer almıştır. Son sırada ise rekabetçilik kriteri yer almıştır.

**Tablo 13. Girişimcilik faktörlerin genel sıralaması**

| Sıra No | Kriter                    | Aritmetik Ort | Geometrik Ort | Sıralama |
|---------|---------------------------|---------------|---------------|----------|
| 1       | K2 (Risk Alma)            | 0,223         | 0,220         | 1        |
| 2       | K5 (Yenilikçilik)         | 0,176         | 0,175         | 2        |
| 3       | K9 (Proaktiflik)          | 0,144         | 0,144         | 3        |
| 4       | K6 (Girişimcilik Eğitimi) | 0,123         | 0,123         | 4        |
| 5       | K3 (Özgüven)              | 0,097         | 0,096         | 5        |
| 6       | K4 (Motivasyon)           | 0,075         | 0,074         | 6        |
| 7       | K8 (Sermaye)              | 0,055         | 0,054         | 7        |
| 8       | K1 (Başarma İhtiyacı)     | 0,044         | 0,043         | 8        |
| 9       | K10 (Liderlik Becerileri) | 0,035         | 0,033         | 9        |
| 10      | K7 (Rekabetçilik)         | 0,028         | 0,026         | 10       |

Tabloya göre, en önemli kriter K2 “Risk Alma” (1. Sırada) olup, girişimcilik ve başarı için en önemli faktör olarak öne çıkmıştır. K5 “Yenilikçilik” (2.Sırada), bireylerin yenilikçi yaklaşımlarının değerini vurgularken, K9 “Proaktiflik” (3. Sırada), K6 “Girişimcilik Eğitimi” (4. Sırada) olup, bilgi ve beceri kazanımı ile ilgili bir faktördür. K3 “Özgüven” (5. Sırada ). Bireysel öz yeterliliğin gerekliliğini ortaya koyuyor. K4 “Motivasyon” (6.Sırada). K8 “Sermaye” (7. Sırada). Finansal kaynakların diğer kriterlerin gerisinde kaldığını gösteriyor. K1 “Başarma Arzusu” (8. Sırada). Başarı arzusu ile bireysel motivasyon arasındaki ilişkiye dikkat çekerken, K10 “Liderlik Becerileri” (9. Sırada). K7 “Rekabetçilik” (10. Sırada) daha düşük ağırlıklarla değerlendirilmekle birlikte girişimciliği destekleyen tamamlayıcı unsur olarak öne çıkıyor.

## 6. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Girişimcilik, ekonomik büyümeye destek vererek toplumsal refah artışına katkı vermektedir. Yeni iş imkânlarının oluşturulmasında, yenilikçiliğin gelişmesine ve yaygınlaşmasına etkisi bulunmaktadır. Ayrıca rekabet ortamını canlı tutarak ekonomilere dinamizm katmaktadır. Girişimcilik faaliyetleri, iş kurmayı teşvik ederek yeni işletmelerin kurulmasına önayak olmaktadır. Girişimciler, kriz dönemlerinde krizlerin aşılmasına destek vererek piyasaların iyileşmesine yardımcı olmaktadır. Girişimcilik, ekonomi büyüklüğü fark etmeksizin her ölçekteki ekonominin itici gücü olmaktadır.

Girişimciliğin gelişmesinde, başarılı girişimci sayısının artmasının önemli rolü bulunmaktadır. Girişimcilikte başarıya etki eden faktörlerin hem girişiciler hemde girişimci paydaş kuruluşların bilmesi, girişimcilerin bilinçlenmesi açısından önemlidir. Bilinçli girişimcilerin daha fazla performans göstermeleri beklenmektedir. Dolayısıyla, risk alma, yenilikçilik, motivasyon, rekabetçilik, sermaye, girişimcilik eğitimi, proaktiflik ve liderlik becerileri girişimcilerin başarısına etki eden faktörler hakkında bilinçlenmesi yararlı olabilir. Girişimcilerin başarısına etki eden faktörler ile ilgili nesnel veri kısıtı bulunmaktadır. Bu açıdan uzman görüşü olarak değerlendirme yapılmaya çalışılmıştır.

Yapılan bu çalışmada, girişimcilikte önemli görülen girişimcilik başarı faktörleri derlenmiş, bu faktörler SWARA yöntemi ile sıralanmıştır. Kriterlerin sıralanması sonucunda, girişimcilik ve başarıda Risk Alma (K2), Yenilikçilik (K5) ve Proaktiflik (K9) gibi dinamik faktörlerin ön planda olduğu görülmüştür. Girişimcilik Eğitimi (K6), Başarma İhtiyacı (K1) ve Motivasyon (K4) gibi bireysel gelişime yönelik unsurların destekleyici öneme sahip oldukları tespit edilmiştir. Finansal kaynaklar ve Liderlik Becerileri gibi unsurlar ise daha düşük ağırlıklarla tamamlayıcı rol üstlenmektedir. En önemli faktörün Risk Alma, en düşük önemde ise Rekabetçiliğin olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, girişimciliğin bireysel yetkinlikler ve yenilikçi yaklaşımlar etrafında şekillendiğini ortaya koymaktadır. Yapılan literatür incelemesinde Risk Alma faktörünün çok defa

geçtiği tespit edilmiştir. SWARA yöntemi ile yapılan analizde en önemli faktör olarak ortaya çıkmıştır. Literatürdeki en çok sıklıkta geçmesi dikkate alındığında, ortaya çıkan bu durumun tutarlı olduğu anlaşılmaktadır.

Girişimcilik faktörlerinde Risk Faktörünün çok önemli olduğunun görülmesinden hareketle girişimci adaylarının risk yönetimi konusunda bilinçlendirilmesinin büyük önem taşıdığı ifade edilebilir. Bu sonuçtan hareketle de KOSGEB'in çevrimiçi olarak imalat sektöründe faaliyet gösteren, geleneksel sektörlerde yer almak isteyen girişimcilere yönelik eğitim programları düzenlenmesi yararlı olabilir. Ayrıca Ticaret ve Sanayi Odalarının girişimcilerin riski iyi yönetebilmesi için iş planı, yapılabirlik analizi ve risk yönetimi gibi eğitim programları düzenlemesi girişimcilerin bilinçlenmesine, işlerini daha iyi yapmalarına ve yönetmelerine katkı verebilir. Bu sayede girişimcilerin hedeflerine ulaşmaları kolay olabilir. İkinci sıradaki Yenilikçilik için inovasyona yönelik bilinçlendirme programları ve aktivitelerin organize edilmesi TÜBİTAK Ar-Ge inovasyona destek programlarına başvuru yapılması için tanıtım etkinliklerinin yapılması yararlı olacaktır. Girişimcilik kriterlerinin değerlendirilmesi için ileride yapılacak çalışmalarda ANP, MOORA, ENTROPİ gibi farklı çok ölçütlü karar verme yöntemleri kullanılabilir ve bulunan sonuçlar BORDA, COPELAND gibi farklı yöntemlerle toplulaştırılabilir. Görüşü alınan uzmanlar değerlendirmelerinde kesin yargıya varamıyorsa bu yöntemler bulanık mantık çerçevesinde kullanılabilir.

### **Bilgilendirme / Acknowledgements**

Bu çalışma için uzman görüşü verenlere teşekkür ederim.

*I would like to thank those who provided expert opinions for this study.*

### **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.*

### **Compliance with Ethical Standards**

Bu çalışma için Lokman Hekim Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Etik Kurulu'nun 28.04.2025 tarihli ve 2025/4 sayılı kararlı ile onay alınmıştır.

*For this study, the approval of the Ethics Committee of Lokman Hekim University was obtained with the decision dated 28 April 2025 and numbered 2025/4.*

### **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

- Ağır, H. ve Kara, M.A. (2017). "Girişimcilik ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Türkiye Örneği", *Siyaset, Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi*, 5(2), 213-227.
- Akarsu, O. ve Döven, M.S. (2022). "Girişimcilik Yönelimini Etkileyen Faktörler: Teknoparklarda Bir Araştırma", *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 23(1), 143-164. <https://doi.org/10.17494/ogusbd.1093800>
- Alimardani, M., Hashemkhani Zolfani, S., Aghdaie, M.H. ve Tamošaitienė, J. (2013). "A Novel Hybrid SWARA and VIKOR Methodology for Supplier Selection in An Agile Environment", *Technological and Economic Development of Economy*, 19(3), 533-548. <https://doi.org/10.3846/20294913.2013.814606>
- Alpkan, L., Ergün, E., Bulut, Ç. ve Yılmaz, C. (2005). "Şirket Girişimciliğinin Şirket Performansına Etkileri", *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 6(2), 175-189.
- Altıntaş, F.F. (2021). "Şanghay İşbirliği Örgütü'ne Üye Ülkelere Göre Küresel Girişimcilik Endeksi Bileşenlerinin Önemlilik Analizi", *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi*, 12(29), 252-271. <https://doi.org/10.21076/vizyoner.729935>
- Altıntaş, F.F. (2024). "G-10 Ülkelerinin Girişimcilik Etkisi Monitörü Performanslarının Analizi", *International Journal of Disciplines in Economics and Administrative Sciences Studies*, 6(17), 271-287. <https://doi.org/10.26728/ideas.271>
- Arias, M.L.B. ve Arango-Botero, D. (2019). "Evaluating the Impact of Social Entrepreneurship: A Multi-Criteria Approach", *Periodica Polytechnica Social and Management Sciences*, 27(2), 141-153. <https://doi.org/10.3311/PPso.12716>
- Bonet, F.P., Armengot, C.R. ve Martín, M.Á.G. (2011). "Entrepreneurial Success And Human Resources", *International Journal of Manpower*, 32(1), 68-80. <https://doi.org/10.1108/01437721111121233>
- Boz, D., Duran, C. ve Uğurlu, A. (2020). "Girişimcilik Eğiliminin İş Performansına Etkisi", *Girişimcilik ve Kalkınma Dergisi*, 15(1), 11-23.
- Bozkurt, Ö.Ç. ve Alparslan, A.M. (2013). "Girişimcilerde Bulunması Gereken Özellikler İle Girişimcilik Eğitimi: Girişimci ve Öğrenci Görüşleri", *Girişimcilik ve Kalkınma Dergisi* 8(1), 7-28.
- Chu, H.M., Kara, O., Zhu, X. ve Gok, K. (2011). "Chinese Entrepreneurs: Motivations, Success Factors, Problems, and Business-Related Stres", *Journal of Chinese Entrepreneurship*, 3(2), 84-111. <https://doi.org/10.1108/17561391111144546>
- Çetin, F. ve Varoğlu, A.K. (2009). "Özellikler Bağlamında Girişimcinin Beş Faktör Kişilik Örüntüsü", *Savunma Bilimleri Dergisi*, 8(2), 51-66.
- Çınaroğlu, E. (2021). "CRITIC temelli MARCOS Yöntemi İle Yenilikçi ve Girişimci Üniversite Analizi", *Journal of Entrepreneurship and Innovation Management*, 10(1), 111-133.
- Çiçek, B. ve Karakaş, Y.E. (2020). "Girişimcilerin Gözünden Girişimciliği Etkileyen İçsel ve Dışsal Faktörler", *OPUS International Journal of Society Researches*, 15(23), 1849-1884. <https://doi.org/10.26466/opus.631493>
- Dixit, J.K., Agarwal, S., Ramadani, V. ve Agrawal, V. (2023). "Assessing the Factors of Sustainable Entrepreneurial Attitude in Context of Educational Institutions: AHP and DEMATEL Approach", *International Journal of Entrepreneurial Behavior & Research*, 29(2), 506-529. <https://doi.org/10.1108/IJEBR-05-2022-0446>
- Elevli, S. ve Elevli, B. (2024). "A Study of Entrepreneur and Innovative University Index by Entropy-Based Grey Relational Analysis and PROMETHEE", *Scientometrics*, 129(3), 3193-3223. <https://doi.org/10.1007/s11192-024-05033-z>
- İnce, A. (2015). "Türkiye'nin İkinci 500 Büyük Şirketinin Misyon ve Vizyon İfadelerine Göre Girişimcilik Özellikleri", *Niğde Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 8(2), 143-155.
- Karimi, M., Namamian, F., Vafaei, F. ve Moradi, A. (2019). "Entrepreneurship Policy and Innovative Indicators of Industrial Companies: Evaluation by MCDM and ANN Methods", *Journal of Industrial Strategic Management*, 4(1), 66-93.
- Keleş Tayşir, N., Ülgen, B., İyigün, N.Ö. ve Görener, A. (2024). "A Framework to Overcome Barriers to Social Entrepreneurship Using A Combined Fuzzy MCDM Approach", *Soft Computing*, 28(3), 2325-2351. <https://doi.org/10.1007/s00500-023-09293-4>
- Keršuliene, V., Zavadskas, E.K. ve Turskis, Z. (2010). "Selection of Rational Dispute Resolution Method by Applying New Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA)", *Journal of Business Economics and Management*, 11(2), 243-258. <https://doi.org/10.3846/jbem.2010.12>
- Kiraz, A. and Eski, H. (2019). "Determination of Criterion Weights Affecting Entrepreneurship Level by SWARA Method", *Turkish Online Journal of Educational Technology*, 90.
- Kouchaksaraei, R.H., Zolfani, S.H. ve Golabchi, M. (2015). "Glasshouse Locating Based on SWARA-COPRAS Approach", *International Journal of Strategic Property Management*, 19(2), 111-122. <https://doi.org/10.3846/1648715X.2015.1004565>

- Lee, L. ve Yang, C.L. (2013). "Key Success Factors in Female Micro Entrepreneurship-A Study of the Catering Business", *Service Science and Management Research*, 2(3), 39-47.
- Maczulskij, T. ve Viinikainen, J. (2023). "Self-Confidence Predicts Entrepreneurship And Entrepreneurial Success", *Journal of Business Venturing Insights*, 19, E00382. <https://doi.org/10.1016/j.jbvi.2023.e00382>
- Martin, N. ve Pandiammal, P. (2018). "Ranking the Problems of Women Entrepreneurs in India Using VIKOR Method with LONSM", *International Journal of Mathematics Trends and Technology*, Special Issue NCCFQET, 68-76.
- Maruf, M., Gndoğmuş, B. ve Aydın, A. (2023). "Türkiye'deki Bykřehirlerin CRITIC ve MAIRCA Yöntemleri İle Girişimcilik Kriterlerine Göre Sıralanması", *Premium e-Journal of Social Sciences (PEJOSS)*, 7(37), 2068-2076. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10473553>
- Nguyen, H.T. ve Chu, T-C. (2023). "Ranking Startups Using DEMATEL-ANP-Based Fuzzy PROMETHEE II", *Axioms*, 12(6), 528. <https://doi.org/10.3390/axioms12060528>
- Oğuz, S. (2022). "Evaluation of the Entrepreneurial and Innovative Universities in Turkey through Multiple-Criteria Decision Making Methods", *Kastamonu Education Journal*, 30(2), 353-361. <https://doi.org/10.24106/kefdergi.799505>
- Okan, T., Sarı, S. ve Peker, İ. (2016). "Girişimcilik Başarı Faktörü Olarak Sosyal Sermaye Kriterlerinin Analitik Hiyerarşı Süreci (AHS) ile Ağırlıklandırılması ve Bir lek nerisi", *Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 12(1), 177-194.
- Ömürbek, N. ve Karataş, T. (2018). "Girişimci ve Yenilik niversitelerin Performanslarının ok Kriterli Karar Verme Teknikleri İle Değeriendirilmesi", *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 10(24), 176-198.
- zbek, A. (2017). "ok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Excel ile Problem zm", Seçkin Yayınevi, Ankara.
- Porcar, A., Roig-Tierno, N. ve Llorca Mestre, A. (2018). "Factors Affecting Entrepreneurship and Business Sustainability", *Sustainability*, 10(2), 452.
- Safitri, Y.D., Pebriana, R. ve Suasri, E. (2024). "Prioritizing Success Factors for Start-ups in Indonesia Using the Best Worst Method (BWM): A Decision-Making Approach", *Frontier Management Science*, 1(2), 29-36.
- Sönmez A. ve Toksoy A., (2014). "Türkiye'de Girişimcilik ve Türk Girişimci Profili zerine Bir Analiz", *Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, 21(2), 41-58. <https://doi.org/10.18657/yecbu.26416>
- Srivastava, N. ve Agrawal, A. (2010). "Factors Supporting Corporate Entrepreneurship: An Exploratory Study", *Vision*, 14(3), 163-171. <https://doi.org/10.1177/097226291001400302>
- Stanujkic, D., Karabasevic, D. ve Zavadskas, E.K. (2015). "A Framework for the Selection of A Packaging Design Based on the SWARA Method", *Engineering Economics*, 26(2), 181-187. <https://doi.org/10.5755/01.ee.26.2.8820>
- şenyuva, Z. (2024). "Girişimci Olma Kararının Arkasındaki Faktörler Arası Etkileřimin DEMATEL Yöntemi ile Analizi", *İř ve İnsan Dergisi*, 11(1), 77-91. <https://doi.org/10.18394/iid.1450427>
- Tsai, W.H., Lee, P.L., Shen, Y.S. ve Hwang, E.T. (2014). "A Combined Evaluation Model For Encouraging Entrepreneurship Policies", *Annals Of Operations Research*, 221, 449-468. <https://doi.org/10.1007/s10479-011-1029-6>
- Utlu, N. ve Ayduğ, D. (2024). "Evaluating Entrepreneurship through a Resource-Based Multi-Criteria Decision-Making Model", *Istanbul Management Journal*, 97, 21-29. <https://doi.org/10.26650/imj.2024.97.1397675>
- Vatansever, . (2012). "Türkiye'de Bir Yetkinlik Olarak Girişimcilik", *Balkan Sosyal Bilimler Dergisi*, 1(2), 1-9.
- Zolfani, S.H., Zavadskas, E.K. ve Turskis, Z. (2013). "Design of Products with Both International and Local Perspectives Based on Yin-Yang Balance Theory and SWARA Method", *Economic Research-Ekonomska Istrařivanja*, 26(2), 153-166. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2013.11517613>



## Lojistik Yönetiminde Teslimat Süresi Sapmaları için POBREP Yönteminin Modellenmesi ve Uygulanması

Kenan Orçanlı<sup>1</sup> , İlkay Erarslan<sup>2</sup> , Hasan Boztoprak<sup>3</sup> 

### ÖZET

**Amaç:** Bu çalışmanın amacı, lojistik teslimat süreçlerinde ortaya çıkan süre sapmalarının temel belirleyicilerini POBREP yöntemi aracılığıyla analiz etmek ve bu doğrultuda süreç iyileştirme stratejileri geliştirmektir. Süreç kararlılığı  $\bar{X}$  kontrol grafikleriyle incelenmiş, modelin açıklayıcılık düzeyi regresyon tabanlı makine öğrenmesi yöntemleriyle karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

**Yöntem:** İstanbul'da faaliyet gösteren bir lojistik işletmesinden rassal örnekleme yoluyla elde edilen 2150 gözlemden oluşan veri seti üzerinden gerçekleştirilen analizde, trafik yoğunluğu, araç durumu, operasyonel planlama eksiklikleri, güzergâh zorlukları, çevresel koşullar ve bilgi akışındaki sorunlar olmak üzere altı temel faktör tanımlanmıştır. Teslimat süresi sapmaları kalite vektörlerine dönüştürülmüş ve hata desen katsayıları En Küçük Kareler yöntemiyle hesaplanarak  $\bar{X}$  kontrol grafikleri ile izlenmiştir.

**Bulgular:** POBREP yöntemi ile oluşturulan model varyansın yaklaşık %50'sini açıklamış, Random Forest ( $R^2 = 0.86$ ) ve diğer regresyon modelleriyle benzer öngörü gücü sergilemiştir. Belirli faktörlerin sapmalar üzerinde anlamlı etkileri istatistiksel olarak doğrulanmıştır.

**Sonuç:** Elde edilen bulgular doğrultusunda, rota optimizasyonu, CBS tabanlı güzergâh planlaması ve bilgi akışı süreçlerinin iyileştirilmesine yönelik öneriler sunulmuştur.

**Özgünlük:** Bu çalışma, POBREP yönteminin lojistik süreç analizi bağlamında sistematik bir hata analizi aracı olarak uygulanabilirliğini ortaya koyarak literatüre özgün bir katkı sunmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Teslimat Süresi Sapmaları, Lojistik Yönetimi, POBREP Yöntemi.

**JEL Kodları:** D53, D81, G11.

## Modeling and Implementing the POBREP Method for Delivery Time Deviations in Logistics Management

### ABSTRACT

**Purpose:** This study aims to analyze the key determinants of deviations in logistics delivery processes using the POBREP method and to develop process improvement strategies accordingly. Process stability was assessed via  $\bar{X}$  control charts, and the explanatory power of the resulting model was evaluated comparatively using regression-based machine learning techniques.

**Method:** A dataset comprising 2,150 randomly sampled observations from a logistics company operating in Istanbul was analyzed. Six primary factors affecting delivery time deviations were identified: traffic density, vehicle condition, operational planning deficiencies, route difficulties, environmental conditions, and disruptions in information flow. Delivery deviations were transformed into quality vectors, and error pattern coefficients were calculated using the Least Squares method. These coefficients were monitored through  $\bar{X}$  control charts to assess the statistical control status of the process.

**Findings:** The model constructed via POBREP explained approximately 50% of the total variance and demonstrated comparable predictive power to Random Forest ( $R^2 = 0.86$ ), Ridge, Lasso, and ElasticNet models. Several factors were found to have statistically significant effects on delivery deviations.

**Conclusion:** Based on the findings, suggestions such as traffic optimization, GIS-supported route planning, and improvements in information flow processes were proposed.

**Originality:** This study contributes to the literature by demonstrating, in detail, the applicability of the POBREP method as a systematic error analysis tool in logistics process improvement.

**Keywords:** Delivery Time Deviations, Logistics Management, POBREP Method.

**JEL Codes:** D53, D81, G11.

<sup>1</sup> İstanbul Beykent Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup> İstanbul Beykent Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, İstanbul, Türkiye

<sup>3</sup> İstanbul Beykent Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme (İngilizce) Bölümü, İstanbul, Türkiye

Sorumlu Yazar-Corresponding Author: İlkay Erarslan, ilkaye@beykent.edu.tr

DOI: 10.51551/verimlilik.1600360

Araştırma Makalesi / Research Article | Geliş / Submitted: 12.12.2024 | Kabul / Accepted: 19.06.2025

Atıf: Orçanlı, K., Erarslan, İ. ve Boztoprak, H. (2025). "Lojistik Yönetiminde Teslimat Süresi Sapmaları için POBREP Yönteminin Modellenmesi ve Uygulanması", *Verimlilik Dergisi*, 59(3), 661-682.

## EXTENDED ABSTRACT

In the evolving landscape of logistics, minimizing delivery time deviations has become a crucial factor for operational efficiency and customer satisfaction. Delivery time reliability is often hindered by a complex interplay of external and internal factors. Understanding and controlling these deviations are essential for enhancing the overall quality and predictability of logistics operations. This study proposes a novel analytical approach by applying the POBREP (Process-Oriented Basic Regression Error Pattern) method to systematically identify and quantify the root causes of delivery time deviations in a real-world logistics setting.

Recent advancements in logistics have highlighted the importance of real-time monitoring and data-driven decision-making. Despite technological developments, companies still face unpredictability in delivery performance due to variables such as traffic congestion, route complexity, and environmental factors. There is a critical need for a structured analytical method that not only explains process deviations but also guides improvement strategies. The primary objective of this study is to investigate the key factors contributing to delivery time deviations and to evaluate the effectiveness of the POBREP method in explaining and monitoring these deviations. Specifically, this study aims to:

- Identify core process-related variables affecting delivery performance,
- Utilize statistical process control tools (e.g.,  $\bar{X}$  control charts) to evaluate process stability,
- Compare the explanatory power of POBREP with well-established regression-based machine learning methods such as Random Forest, Ridge, Lasso, and ElasticNet.

The study utilizes a dataset of 2,150 observations collected via random sampling from a logistics company operating in Istanbul. Six key factors affecting delivery time deviations were identified: traffic density, vehicle condition, planning deficiencies, route complexity, environmental conditions, and information flow issues. The deviations were transformed into quality vectors, and error coefficients were calculated using the Least Squares method. Process stability was monitored through  $\bar{X}$  control charts, and the explanatory performance of the POBREP-based model was compared against regression-based machine learning methods.

The POBREP-based model accounted for approximately 50% of the variance in delivery deviations, demonstrating a statistically meaningful explanatory capacity. Comparative analysis showed that the model's performance was in close alignment with the Random Forest model ( $R^2 = 0.86$ ), and comparable results were observed with Ridge, Lasso, and ElasticNet regressions. Multivariate regression analysis revealed that route complexity ( $\beta = 0.134$ ,  $p < 0.05$ ), traffic density ( $\beta = 0.081$ ,  $p < 0.05$ ), and operational planning deficiencies ( $\beta = 0.049$ ,  $p < 0.05$ ) were positively associated with delivery deviations. Conversely, vehicle condition ( $\beta = -0.060$ ,  $p < 0.05$ ) and environmental conditions ( $\beta = -0.021$ ,  $p < 0.05$ ) had a mitigating effect.  $\bar{X}$  control charts enabled the identification of statistically out-of-control conditions and provided visual insights into when and which factors caused critical process deviations. These visualizations supported the hypothesis that certain factors exhibit recurring patterns that can be proactively managed.

The findings highlight the POBREP method's effectiveness as a practical and interpretable tool for diagnosing process-related deviations in logistics. It explains a significant portion of delivery time variance while remaining more transparent than complex ML models. The study offers actionable suggestions such as dynamic route planning, GIS-based optimization, improved vehicle maintenance, and enhanced communication. Limitations include reliance on a single logistics provider and lack of external validation. Future research may apply POBREP to broader networks or integrate real-time sensor data. Overall, the study contributes to logistics management by offering a statistically grounded approach to process improvement.

## 1. GİRİŞ

Lojistik yönetimi, mal ve hizmetlerin tedarik zinciri boyunca etkin ve verimli bir şekilde taşınmasını sağlamak amacıyla operasyonel süreçleri planlayan, uygulayan ve denetleyen bir disiplindir (Özcan, 2014). Küreselleşme, dijitalleşme ve müşteri beklentilerindeki değişimler, lojistik sektörünü daha karmaşık ve dinamik hale getirmiştir (Dilek ve İncaz, 2021). Günümüz lojistik sistemlerinde taleplerin öngörülmesi, envanter yönetimi, dağıtım süreçleri ve teslimat sürelerinin optimize edilmesi, rekabet avantajı sağlamak için kritik öneme sahiptir (Christopher, 2016:25). Özellikle zamanında teslimat, müşteri memnuniyetini doğrudan etkileyen bir faktör olup; teslimat süresi sapmaları işletmelerin maliyetlerini artırmakta, operasyonel verimliliği düşürmekte ve tedarik zinciri yönetiminde aksaklıklara yol açmaktadır (Kayabaşı, 2010). Bu bağlamda, teslimat süresi performansını ölçmek ve iyileştirmek, lojistik firmaları için stratejik bir öncelik haline gelmiştir (Acar, 2020:54; Yaprak, 2024).

Teslimat süresi sapmaları, lojistik süreçlerin doğasında bulunan karmaşık içsel ve dışsal faktörlerin bir sonucudur (Bayram ve diğerleri, 2023). Bu sapmaların başlıca nedenleri arasında operasyonel planlama yetersizlikleri, altyapısal engeller, çevresel koşullar ve bilgi akışındaki aksaklıklar gibi çeşitli unsurlar yer almaktadır (Buran ve Ağca, 2018, s. 8). Geleneksel lojistik yönetimi yaklaşımları, bu tür faktörlerin etkisini azaltmak için rota optimizasyonu, filo yönetimi ve sipariş tahmin modelleri gibi stratejiler kullanmaktadır (Tang ve Musa, 2011). Ancak bu yaklaşımlar genellikle süreç bazlı hata analizine yeterince odaklanmadığından, lojistik operasyonlardaki verimsizliklerin temel nedenlerini belirlemede yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, hata desenlerini ve süreç sapmalarını analiz edebilen daha sistematik yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır (Çotur, 2017).

Bu çalışma, lojistik sektöründe teslimat süresi sapmalarının kök nedenlerini analiz etmek ve bu sapmalara yönelik süreç iyileştirme stratejileri geliştirmek üzere Process-Oriented Basis Representation (POBREP) yöntemini uygulamaktadır. POBREP, geleneksel hata analiz yöntemlerinden farklı olarak lojistik süreçlerdeki sapmaları sistematik ve matematiksel bir çerçevede modelleyen bir tekniktir. Bu yönüyle yöntem, teslimat sürelerini etkileyen faktörleri niceliksel olarak analiz etmeye olanak tanımakta ve geleneksel hata analiz yöntemlerine göre daha detaylı ve kapsamlı bir analiz imkânı sunmaktadır. Ayrıca, lojistik süreçlerdeki performans kayıplarını belirlemek ve süreç iyileştirme önerileri geliştirmek için güçlü bir araçtır.

Lojistik sektöründe teslimat süresi sapmaları, müşteri memnuniyetsizliğine, maliyet artışlarına ve operasyonel verimsizliklere yol açarak firmaların rekabet gücünü olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle, teslimat süresi sapmalarının temel nedenlerinin belirlenmesi ve süreç iyileştirme önerilerinin geliştirilmesi kritik öneme sahiptir. Literatürde, X ve MR kontrol grafiklerinin süreçlerdeki bu tür sapmaların izlenmesi ve kontrolünde etkin bir araç olduğu belirtilmektedir. Özellikle, hata büyüklüğünü temsil eden değerlerin, bu kontrol grafiklerinin yanı sıra çok değişkenli kontrol grafiklerinde de takip edilmesi, kontrol dışı sinyallerin ortaya çıkış nedenlerinin hızlı ve doğru bir şekilde tespit edilmesini mümkün kılmaktadır. Böylece süreçlerdeki anomaliler erken aşamada fark edilerek gerekli müdahaleler zamanında yapılabilir.

Bu çalışmanın temel amacı, lojistik sektöründe teslimat süresi sapmalarını etkileyen faktörleri modellemek ve POBREP yöntemiyle bu sapmaların temel nedenlerini belirlemektir. Çalışmada, POBREP yönteminin teslimat süresi sapmalarının analizi ve temel nedenlerinin tespiti için nasıl uygulanabileceği ampirik olarak test edilecektir. Bu bağlamda, POBREP yöntemi ile X ve MR kontrol grafiklerinin entegrasyonu, lojistik süreçlerde süreç odaklı hata analizinin etkinliğini artıran bir yaklaşım olarak değerlendirilecektir.

Ayrıca çalışma kapsamında, POBREP yönteminin yapay zekâ tabanlı tahmin modelleri, regresyon analizleri ve geleneksel kalite yönetim teknikleriyle karşılaştırılması gerçekleştirilecek ve lojistik firmalarının operasyonel verimliliklerini artırmaya yönelik kullanabilecekleri kapsamlı bir model önerilecektir. Bu yönüyle çalışma hem literatüre metodolojik yenilikler kazandırmakta hem de modelin farklı sektörlerde ve uygulama alanlarında kullanılabilirliğini ortaya koymaktadır. Ayrıca süreç iyileştirme ve lojistik operasyonların etkin yönetimi açısından sektör uygulayıcıları için değerli çıkarımlar sunması beklenmektedir. Böylece çalışma, lojistik sektöründe teslimat süresi sapmalarının analizi ve POBREP yöntemiyle süreç iyileştirme stratejilerinin geliştirilmesi alanında önemli bir katkı sağlamaktadır.

Bu bağlamda çalışmanın devamı şu şekilde yapılandırılmıştır: İlk olarak, ilgili literatür taranarak teslimat süresi sapmalarının nedenleri ve mevcut analiz yöntemleri kapsamlı biçimde ele alınmıştır. Ardından, çalışmada kullanılan veri seti, değişkenler ve POBREP yönteminin teorik temelleri "Yöntem" başlığı altında ayrıntılı şekilde açıklanmıştır. "Bulgular" bölümünde, modelleme süreci sonucunda elde edilen istatistiksel analiz sonuçları sunulmuş ve kontrol grafiklerine dayalı süreç değerlendirmeleri yapılmıştır. "Tartışma ve Sonuç" bölümünde ise bulgular, mevcut literatür ışığında yorumlanmış; uygulayıcılara yönelik somut öneriler geliştirilmiş ve çalışmanın sınırlılıkları ile gelecek araştırmalara yönelik önerilere yer verilmiştir. Bu yapı sayesinde, araştırmanın hem teorik katkısı hem de pratik uygulama değeri bütüncül bir yaklaşımla ortaya konulmuştur.

## 2. KAVRAMSAL BAKIŞ

### 2.1. POBREP Yöntemine Kavramsal Bakış

POBREP, üretim süreçlerinde kaliteyi ve bu süreçlerdeki hata desenlerini daha iyi anlayabilmek amacıyla geliştirilmiş bir yöntem olup çok değişkenli kalite vektörlerini, doğrusal hata desenleri ve artıklar (residuals) ifade etmektedir. Hata desenleri, belirli üretim süreçlerindeki kök nedenlerin anlaşılmasını kolaylaştırarak kalite iyileştirme çalışmalarına önemli bir rehberlik sağlamaktadır. POBREP, özellikle karmaşık üretim sistemlerinde sürecin kalitesini etkileyen faktörlerin tanımlanması ve bu faktörlerin belirli desenler halinde organize edilmesi için etkili bir araç niteliği taşımaktadır. Bu sayede, üretim hatalarına neden olan faktörlerin belirlenmesi ve bu faktörler üzerindeki kontrol mekanizmalarının güçlendirilmesi mümkün olmaktadır (Barton ve Gonzalez-Barreto, 1996).

POBREP, kalite vektörlerini doğrusal bir modelle ifade eder. Matematiksel olarak, kalite ölçümleri  $x$ , bir hata deseni matrisi  $A$ , desen katsayıları  $z$  ve artık vektörü  $e$  kullanılarak Eşitlik 1'deki gibi yazılabilir:

$$x = Az + e \quad (1)$$

Burada  $x$ , kalite verilerini temsil ederken  $A$  hata desenlerini,  $z$  ise bu desenlere ait katsayıları ifade etmektedir. Bunun yanında,  $e$  ise modelin hata veya sapmalarını gösteren artık (residual) vektörüdür.  $A$  hata desenleri konusunda uzman süreç uzmanları tarafından belirlenmektedir; dolayısıyla kesin hatalar tespit edilebilmektedir. Bu yapının temel amacı, kaliteyi etkileyen sistematik desenleri belirleyerek süreçteki kök nedenleri tanımlamaktır. Bu model, doğrusal bir yaklaşım benimseyerek, kalite problemlerini daha derinlemesine incelemek için bir temel sağlamaktadır.

POBREP, özellikle hassas kalite kontrolünün kritik olduğu sektörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Havacılık ve otomotiv gibi endüstrilerde, üretim süreçlerinin her aşamasında kaliteyi izlemek ve iyileştirmek için etkili bir araç olarak öne çıkmaktadır. Özellikle CNC makinelerinde veya otomatik montaj hatlarında meydana gelen hata desenlerini analiz etmek ve kalite kontrol süreçlerindeki sapmaları tanımlamak için bu yöntem oldukça uygundur. Ayrıca, çok değişkenli istatistiksel kalite kontrol (MSPC) teknikleriyle bütünleşmiş çalışarak süreçlerin daha kapsamlı bir şekilde incelenmesine olanak tanımaktadır. Bu özelliği, sürecin yalnızca mevcut durumunun izlenmesinin ötesinde gelecekteki olası hataların öngörülebilmesi için de değerli bir veri sağlamaktadır (Birgören, 2009).

POBREP'in önemli avantajlarından biri, geleneksel regresyon modellerine kıyasla daha kapsamlı bir analiz sunabilmesidir. Bu yöntem, zamanla değişen kalite verilerini analiz edebilme yeteneği sağladığı için kalite ölçümlerinin dinamik değişimini anlamak mümkündür. Geleneksel yöntemler çoğunlukla tek bir zaman dilimindeki verileri kullanırken POBREP, çoklu zaman dilimlerinde veri analizini mümkün kılmaktadır. Bu, sürecin zamana bağlı değişimini yakalayarak kaliteyi etkileyen sistematik desenleri daha net bir şekilde ortaya koymaktadır. Ayrıca, sistematik desenlere odaklanarak rastgele değişimlerin etkisini ayıklamak, daha etkili bir süreç kontrolü sağlamak için önemli bir avantaj oluşturmaktadır (Schmitt et al., 2002).

POBREP'in uygulanması, özellikle yüksek boyutlu veri setlerinde bazı zorluklar doğurabilmektedir. Hata desenlerinin doğru bir şekilde tanımlanması ve modelin matematiksel olarak çözülmesi, karmaşık hesaplama süreçlerini gerektirmektedir. Bu nedenle, POBREP'in etkili bir şekilde uygulanabilmesi için yüksek derecede uzmanlık önemli olmaktadır. Desen matrisinin ( $A$ ) belirlenmesi ve doğrusal katsayıların ( $z$ ) çözülmesi, hesaplama açısından zorlayıcı olabilmekte ve bazı durumlarda algoritmaların optimizasyonu gerekli hale gelebilmektedir. Ayrıca, süreçteki rastgele gürültülerin modellenmesi sırasında dikkatli bir yaklaşım gereklidir, çünkü bu gürültüler yanlış desenlerin tanımlanmasına neden olabilmektedir. Bu zorluklara rağmen, POBREP, süreçlerin doğru şekilde analiz edilmesi ve süreç kontrolünün optimize edilmesi açısından büyük bir potansiyele sahiptir.

### 2.2. POBREP Yönteminin Süreç İyileştirmedeki Rolü

POBREP yöntemi, süreçlerin izlenmesi ve yönetilmesine yönelik çağdaş bir yaklaşım sunarak, geleneksel istatistiksel süreç kontrol yöntemlerine kıyasla önemli avantajlar sağlamaktadır. Geleneksel yöntemler genellikle belirli kontrol desenlerine odaklanarak süreçteki sapmaları tespit etmeye çalışmakta, ancak bu desenlerin süreç üzerindeki etkilerini yeterince kapsamlı şekilde değerlendirememektedir. Oysa POBREP yöntemi, süreç verilerindeki desenlerin istatistiksel önemini değerlendirerek, yalnızca sürece anlamlı katkı sağlayan yapıların analizde yer almasına olanak tanımaktadır. Bu bağlamda, süreç üzerinde etkisi bulunmayan desenler dışlanmakta, buna karşın daha önce fark edilememiş yeni desenlerin ortaya çıkarılması mümkün hale gelmektedir. Böylece süreç analistleri, sürecin işleyişini daha derinlemesine anlayabilmekte, kritik sapmaları daha doğru şekilde yorumlayabilmekte ve gerekli iyileştirme stratejilerini daha isabetli biçimde geliştirebilmektedir. Bu bütünsel yaklaşım, süreç verimliliğinin artırılmasına ve kalite yönetiminin daha etkin bir biçimde yürütülmesine önemli katkılar sağlamaktadır (Orçanlı, 2017:53).

POBREP yöntemi aynı zamanda süreç tanılama ve kök neden analizi bağlamında da önemli bir yetkinlik kazandırmaktadır. Geleneksel kontrol yöntemleri, sürecin kontrol dışı durumlarını tespit etmekle birlikte, bu sapmaların altında yatan nedenleri belirleme konusunda sınırlılıklara sahiptir. Oysa POBREP, süreçte ortaya çıkan her bir hata türünü niteliksel ve niceliksel olarak tanımlayarak, her duruma özgü çözüm stratejilerinin geliştirilmesine imkân sunmaktadır. Bu durum, süreçlerin izlenmesi ve yönetilmesi süreçlerini daha hızlı, daha duyarlı ve daha etkili hâle getirmektedir

Bu çerçevede, literatürde  $z_i$  değerlerinin hata büyüklüklerini temsil ettiği, dolayısıyla kalite kontrol analizlerinde önemli bir tanılama aracı olarak işlev gördüğü ifade edilmektedir. Her bir  $z_i$  değeri, süreçteki kalite vektörleri temelinde hesaplanmakta ve bu değerler, zamana bağlı olarak süreç performansındaki değişimleri ortaya koymaktadır. Bu bağlamda,  $z_i$  değerlerinin klasik kontrol grafiklerinde – özellikle  $\bar{X}$  (ortalama) ve  $MR$  (hareketli aralık) grafiklerinde – izlenebilir olduğu, hatta çok değişkenli kontrol grafiklerine (örneğin Hotelling's  $T^2$  grafikleri) entegre edilebildiği görülmektedir. Böylece, sürecin sadece tekil yönleri değil, aynı zamanda çok değişkenli yapısı da dikkate alınarak daha bütüncül bir izleme mekanizması geliştirilebilmektedir. Bu uygulama, kontrol dışı sinyallerin yalnızca tespit edilmesini değil, aynı zamanda bu sinyallerin altında yatan nedenlerin sistematik biçimde analiz edilmesini mümkün kılmaktadır. Sonuç olarak, süreç uzmanları yalnızca semptomlara odaklanmak yerine, kök neden analizine dayalı bir yaklaşımla sürece müdahale edebilmekte ve sürekli iyileştirme döngüsü çerçevesinde daha sürdürülebilir çözümler üretebilmektedir (Barton ve Gonzalez-Barreto, 1996, 1999).

### 2.3. POBREP Yöntemi Yazın Taraması

POBREP yöntemi, Barton ve Gonzalez-Barreto (1996, 1999) tarafından geliştirilmiş, istatistiksel temelli çok değişkenli bir süreç teşhis yöntemidir. Bu yöntem, özellikle üretim süreçlerinde kalite kontrolü ve süreç izleme gibi alanlarda etkili bir şekilde kullanılmak üzere geliştirilmiştir. POBREP, birden fazla değişkenin zaman içindeki değişimini analiz ederek süreçteki anomalileri ve sapmaları tespit etmeye olanak tanımaktadır. Barton ve Gonzalez-Barreto (1996) ilk çalışmalarında, POBREP yönteminin temelleri atılmış ve özellikle imalat sanayinde geometrik sapmaların modellenmesinde nasıl başarılı bir şekilde kullanılabileceği gösterilmiştir. Nitekim geometrik sapmalar, üretim süreçlerinde önemli bir kalite problemi teşkil etmesi dolayısıyla bu tür sapmaların tespit edilmesinde POBREP yöntemi önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca, bu çalışmada X ve MR kontrol grafiklerinin yanı sıra çok değişkenli kontrol grafiklerinin, POBREP ile elde edilen hata desen katsayılarını takip etmek ve süreçteki sapmaları belirlemek için etkin bir şekilde kullanılabileceği de önerilmiştir.

Birgören (1998), POBREP yönteminde çoklu bağlantı problemini çözmek için yeni bir yaklaşım geliştirmiştir. Bu yaklaşımda, Çözüm Uzayının Sınırlandırılması (Constrained Space Solution - CSS) stratejisi kullanılmıştır. CSS stratejisi, çoklu değişkenlerin analizinde kullanılan çözüm uzayını daraltarak çözümün doğruluğunu ve hassasiyetini artırmayı hedeflemektedir. Birgören'in bu çalışması, POBREP yönteminin uygulama alanlarını genişletmiş ve çoklu değişkenlerin analizinde çözüm uzayını nasıl etkili bir şekilde sınırlayabileceğini ortaya koymuştur. Colón (1997) tarafından yapılan bir diğer önemli çalışmada ise POBREP yönteminin baskılı devre kartları (PCB) üretim süreçlerine uygulanabilirliği incelenmiştir. Bu çalışma, POBREP yönteminin üretim sektöründeki farklı alanlarda ne kadar etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir. Baskılı devre kartları üretimi, yüksek hassasiyet gerektiren bir süreç olmasına karşın POBREP yöntemi bu tür üretim süreçlerinde kalite kontrolünü iyileştirmek amacıyla başarılı bir şekilde uygulanmıştır.

Schmitt ve diğerleri (2002) tarafından gerçekleştirilen bir diğer önemli çalışma, POBREP yönteminin boyut indirgeme (dimension reduction) açısından etkinliğini incelemiştir. Boyut indirgeme, çok sayıda değişkenin bir arada analiz edilmesini sağlayan bir tekniktir ve bu çalışma, POBREP yönteminin boyut indirgeme konusunda etkili bir yöntem olduğunu ortaya koymuştur. Yapılan simülasyon çalışmasında, POBREP, temel bileşenler analizi (Principal Component Analysis - PCA) gibi geleneksel boyut indirgeme yöntemleriyle karşılaştırılmış ve POBREP yönteminin, elde edilen ortogonal temel bileşenlerin anlamlılığı açısından daha üstün bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır. Bu bulgu, POBREP yönteminin çok değişkenli verilerde önemli avantajlar sunduğunu göstermektedir.

Padilla (2005), POBREP yönteminin ortogonal olmayan durumlarla başa çıkabilmesi için beş farklı teknik geliştirmiştir. Bu tekniklerden yapılan karşılaştırmalar sonucunda, Birgören'in (1998) geliştirdiği Çözüm Uzayının Sınırlandırılması (CSS) yönteminin en iyi performansı gösterdiği belirlenmiştir. Bu çalışma, POBREP yönteminin uygulama alanlarını genişletmiş ve çözüm yöntemlerinin karşılaştırılması yoluyla daha etkili tekniklerin geliştirilmesine katkı sağlamıştır.

Foster ve diğerleri (2005), çok değişkenli bir sürecin yeterliliğini ölçmek için yeni birçok değişkenli süreç yeterlilik ölçüsü (multivariate process capability index) önermiştir. Bu ölçü, üretim süreçlerinin yeterliliğini daha doğru bir şekilde değerlendirmenin yanı sıra POBREP yönteminin bu tür analizlerde nasıl entegre

edilebileceğine dair bir yol haritası sunmaktadır. Çalışmada, POBREP yönteminin süreç yeterliliği analizlerinde nasıl kullanılabileceği üzerine önemli bilgiler bulunmaktadır.

Runger ve diğerleri (2007) tarafından gerçekleştirilen bir diğer önemli çalışma ise en küçük kareler (Least Squares) yöntemiyle hesaplanan POBREP katsayılarının, Hotelling  $T^2$  istatistiği ile  $U^2$  istatistiğine eşit olduğunu göstermiştir. Bu çalışma, POBREP'nin istatistiksel doğruluğunu kanıtlamakta ve Hotelling  $T^2$  istatistiği ile karşılaştırıldığında POBREP'nin nasıl daha güçlü bir yöntem sunduğunu ortaya koymaktadır. Birgören (2009) tarafından yapılan bir uygulamada, CNC tezgâhlarında karşılaşılan bir problem POBREP yöntemi ile çözülmüştür. Bu uygulama, POBREP yönteminin endüstriyel problemlere nasıl entegre edilebileceğini ve üretim hatalarına karşı nasıl çözüm üretebileceğini göstermektedir. CNC makineleri gibi hassas üretim makinelerinde, POBREP kullanarak daha verimli ve kaliteli üretim süreçlerinin elde edilmesi sağlanmıştır.

Orçanlı ve diğerleri (2017), çok değişkenli süreçlerde kontrol grafiklerinin kontrol dışı sinyalleri yorumlamakta ve kalite karakteristikleri fazla olduğunda etkinliklerini yitirmekte zorlandığını belirtmiştir. Bu sorunlara alternatif olarak, lineer regresyon modellerine dayalı POBREP yöntemi önerilmiştir. Çalışmada, hata terimindeki kovaryansın POBREP katsayıları üzerindeki etkileri incelenmiş ve daha genel bir matematiksel model geliştirilmiştir.

Orçanlı (2021), döküm sanayinde kalite karakteristiği olarak genellikle ürünün çap, kalınlık ve yoğunluk gibi özelliklerin kullanıldığını ancak element oranlarının da kalite karakteristiği olarak değerlendirilebileceğini belirtmiştir. Geleneksel kalite kontrol grafiklerinin kontrol dışı sinyalleri yorumlamada yetersiz kaldığını vurgulayan çalışmada, POBREP yönteminin alternatif bir yaklaşım olarak kullanılabileceği ifade edilmiştir. Çalışma, bu yöntemin döküm sanayinde metal alaşım oranlarının izlenmesinde uygulanabilirliğini incelemiş ve olumlu sonuçlar elde edildiğini göstermiştir. Özellikle, bu çalışmada çok değişkenli kontrol grafikleri kullanılarak POBREP ile elde edilen veri desenleri izlenmiş ve örüntü tanıma amacıyla Yapay Sinir Ağları (ANN) ile entegrasyonu da araştırılmıştır. Bulgular, yöntemin hem teorik hem de pratik anlamda literatüre katkı sağlayabileceğini ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, POBREP yöntemi, çok değişkenli süreç teşhisi ve kalite kontrolü alanlarında önemli bir metodolojik araç olarak ortaya çıkmaktadır. Bu yöntem, özellikle imalat sanayisindeki çeşitli problemlerin çözümünde etkili bir şekilde kullanılmakta olup, pek çok araştırma ve uygulama çalışmasında, farklı endüstri dallarındaki geniş uygulama alanları ile dikkat çekmiştir. POBREP yönteminin geliştirilmiş versiyonları ve iyileştirilmiş algoritmalar, yöntemin doğruluğunu ve verimliliğini artırarak üretim süreçlerinin daha ayrıntılı bir şekilde izlenmesini ve analiz edilmesini sağlamaktadır. Bu sayede, üretim süreçlerinin yönetimi daha etkin hale gelmekte, kalite kontrolü alanında önemli iyileştirmeler elde edilmektedir.

Bu çerçevede, POBREP yönteminin lojistik sektöründe de önemli bir uygulama potansiyeli taşıdığı vurgulanmaktadır. Özellikle teslimat sürelerindeki sapmaların, müşteri memnuniyetine yönelik olumsuz etkilerini azaltmak amacıyla bu yöntemin etkili bir şekilde uygulanabileceği öngörülmektedir. Bu çalışma, POBREP yönteminin teslimat süresi sapmalarını anlamada ve bu sapmaların kök nedenlerini tespit etmede etkin bir araç olduğunu ortaya koymuştur. Süreçlerin daha doğru bir şekilde izlenmesi, lojistik firmalarının operasyonel verimliliklerini artırırken aynı zamanda kaliteli hizmet sunumunu da güçlendirmektedir. Bunun sonucu olarak lojistik süreçlerin optimizasyonu, sektördeki rekabet avantajını pekiştirmekte ve müşteri memnuniyetini artırmaktadır.

Son olarak bu çalışma, lojistik süreçlerdeki sapmaları minimize etmek ve operasyonel verimliliği artırmak adına yapılacak gelecekteki iyileştirmelere yönelik sağlam bir temel oluşturmaktadır. Teslimat süresi sapmalarının daha etkili bir şekilde analiz edilmesi ve bu sapmaların kökenine dair derinlemesine bir anlayış geliştirilmesi, lojistik firmalarına süreçlerini daha etkin yönetme imkânı tanımakta ve bunun sonucu olarak da sektördeki genel hizmet kalitesini yükseltme potansiyeli taşımaktadır. Bu durum da lojistik sektörü için uzun vadede önemli faydalar sağlayarak rekabetçi bir pazarda daha sağlam bir konum elde edilmesine olanak tanımaktadır.

## 2.4. POBREP Yönteminin Lojistik Süreçlerindeki Farklılığı ve Avantajları

Lojistik süreçler, karmaşık ve dinamik yapısıyla geleneksel üretim veya hizmet yönetimi süreçlerinden önemli ölçüde ayrılmaktadır (Acar ve Köseoğlu, 2017: 6-7). Bu farklılığın temel nedenlerinden biri, lojistik faaliyetlerin çok sayıda belirsizlik ve dış faktöre bağlı olarak gerçekleşmesi ve operasyonel süreçlerin büyük ölçekte değişkenlik göstermesidir (Gedikli ve Ervural, 2022: 52). Teslimat sürelerindeki sapmalar, trafik yoğunluğu, araç arızaları, hava koşulları, rota değişiklikleri gibi çok sayıda dinamik faktör, lojistik operasyonların planlanması ve yönetilmesini zorlaştırmaktadır (Öztürk ve diğerleri, 2022). Bu noktada, POBREP yöntemi, geleneksel lojistik analiz yöntemlerine kıyasla daha üretken ve çözüm odaklı bir yaklaşım sunmaktadır (Orçanlı ve diğerleri, 2017).

POBREP yöntemi, lojistik süreçlerde sistematik hata desenlerini analiz etmek, operasyonel aksaklıkların kaynağını belirlemek ve karar alma süreçlerini optimize etmek için geliştirilmiş bir modeldir. Geleneksel regresyon modelleri ve tek değişkenli istatistiksel yöntemler, lojistik süreçlerde zamanla ortaya çıkan karmaşık desenleri yeterince kapsayamamaktadır. POBREP yöntemi, çoklu zaman dilimleri boyunca veri analizi yaparak sürecin dinamik değişimini çok daha ayrıntılı bir şekilde ortaya koyabilmektedir. Bu sayede, teslimat süreçlerinde meydana gelen sistematik gecikmeler, rota optimizasyonundaki aksaklıklar ve operasyonel verimsizlikler daha etkin bir şekilde tespit edilebilmektedir.

Lojistik süreçlerde en büyük zorluklardan biri, çok boyutlu verilerin analiz edilmesi gerekliliğidir. Teslimat süreçlerinde yalnızca teslimat süreleri değil, aynı zamanda araç hızları, yakıt tüketimi, trafik yoğunluğu, depo yönetimi ve sipariş önceliklendirme gibi çok sayıda değişkenin birlikte incelenmesi gerekmektedir. Geleneksel analiz yöntemleri, bu değişkenler arasındaki ilişkileri yalnızca lineer modeller üzerinden anlamaya çalışırken POBREP yöntemi, hata desenlerini belirleyerek bu değişkenler arasındaki karmaşık ilişkileri daha gerçekçi bir yaklaşımla modellemektedir. Bu sayede, lojistik yöneticileri kritik kontrol noktalarını daha hassas bir şekilde belirleyebilmekte ve iyileştirme çalışmalarını daha odaklı bir şekilde gerçekleştirebilmektedir.

POBREP yönteminin lojistik süreçlere sağladığı avantajların yanında bazı potansiyel dezavantajları da bulunmaktadır. En önemli zorluklardan biri, büyük boyutlu veri setlerinde hata desenlerinin doğru bir şekilde tanımlanmasının karmaşıklığıdır. Lojistik operasyonlarda toplanan verilerin hacmi ve çeşitliliği, POBREP'in uygulanmasının ciddi hesaplama yükleri oluşturmaya neden olabilmektedir. Modelin etkili bir şekilde çalışabilmesi için veri kalitesinin yüksek olması ve doğru modelleme tekniklerinin uygulanması kritik önem taşımaktadır. Bunun yanı sıra, lojistik süreçlerde meydana gelen rastgele gürültüler (beklenmedik hava koşulları, acil teslimat talepleri, ani yol kapanmaları vb.) POBREP yöntemi tarafından tam olarak yakalanamayabilmektedir. Bu durum da yanlış desenlerin tanımlanmasına ve dolayısıyla hatalı kararlar alınmasına neden olabilmektedir.

Sonuç olarak POBREP yöntemi, lojistik süreçlerde sistematik hata desenlerini belirleme ve operasyonel iyileştirme fırsatları sunma konusunda çok değerli bir araçtır. Geleneksel analiz yöntemlerine kıyasla daha esnek ve derinlemesine bir analiz sağlayan bu yöntem, lojistik yöneticilerine daha bilinçli kararlar alma fırsatı sunmaktadır. Ancak, etkin bir şekilde uygulanabilmesi için ileri düzey veri analitiği yetkinlikleri, kaliteli veri setleri ve doğru modelleme stratejileri gerektirmektedir. Dolayısıyla, lojistik süreçlerde POBREP yönteminin başarıyla kullanılabilmesi için akademik ve endüstriyel paydaşların bu alana yönelik bilgi birikimini artırması kritik bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır.

### 3. LOJİSTİK YÖNETİMİNDE TESLİMAT SÜRESİ SAPMALARININ POBREP YÖNTEMİYLE MODELLENMESİ

Bu bölümde, lojistik sektöründe teslimat sürelerindeki sapmaların analiz edilmesi ve bu sapmaların etkili bir şekilde modellenmesi amacıyla POBREP yöntemi uygulanmıştır. POBREP yöntemi, teslimat süreçlerinde karşılaşılan aksaklıkların nedenlerini daha iyi anlamak ve süreçleri iyileştirmek için önemli bir araç sunmaktadır. Bu kapsamda, teslimat sürelerini etkileyen faktörler belirlenmiş ve her bir faktörün etkisi istatistiksel yöntemlerle analiz edilmiştir.

#### 3.1. Veri Toplama ve Örneklem Seçimi

Bu çalışma, İstanbul ilinde faaliyet gösteren yüksek hacimli şehir içi teslimat operasyonları yürüten bir lojistik firmasının teslimat süreçlerine ait verileri temel almaktadır. Araştırmanın örneklem birimini, söz konusu firmanın 2.150 adet teslimat kaydı oluşturmaktadır. Örneklem seçimi, 04.11.2024 ile 10.11.2024 tarihleri arasında, hafta içi ve hafta sonu günlerde (Pazartesi-Pazar), 06:00-19:00 saatleri aralığında gerçekleştirilen teslimatları kapsamaktadır. Veri toplama süreci, gün içerisindeki operasyonel yoğunluk farklılıklarını yansıtacak şekilde, sabah (06:00-09:00), öğle (11:00-14:00), öğleden sonra (14:00-17:00) ve akşam (17:00-19:00) olmak üzere dört zaman dilimine ayrılmış ve her bir zaman diliminden rastgele örneklem yöntemiyle veri seçimi yapılmıştır. Veri setini oluşturan kayıtlar (25 adet kayıt), firmanın kurumsal veri tabanlarından elde edilen zaman damgalı operasyonel veriler, saha gözlemleri ve teslimat araçlarına entegre edilmiş Küresel Konumlama Sistemi (GPS) takip sistemlerinden elde edilen konum verileri ile desteklenmiştir. Bu çoklu veri kaynağı yaklaşımı, teslimat süreçlerine ait kapsamlı ve güvenilir bir veri seti oluşturulmasını sağlamıştır. Örneklem seçiminde, teslimat sürelerindeki sapmaları etkileyebilecek potansiyel değişkenlerin (trafik yoğunluğu, araç durumu, rota optimizasyonu vb.) çeşitliliği ve temsil yeteneği göz önünde bulundurulmuştur. Veri setinin tutarlılığı ve geçerliliği, eksik veri analizi ve temizleme prosedürleri ile sağlanmıştır.

#### Modelin Yapılan Çalışmada Uygulama Sınırlılıkları

Veri toplama sürecinde, 04.11.2024 – 10.11.2024 tarihleri arasında planlanan 28 gözlem zaman diliminden yalnızca 25'inden veri elde edilebilmiştir. Bu durumun birkaç nedeni bulunmaktadır. Öncelikle, 06.11.2024

tarihinde sabah saatlerinde firmanın bilgi sistemlerinde yaşanan teknik arıza nedeniyle, GPS tabanlı konum verilerine ve operasyonel zaman damgalarına erişim mümkün olmamıştır. Ayrıca, 10 Kasım 2024 tarihinin Türkiye Cumhuriyeti'nin kurucusu Mustafa Kemal Atatürk'ü anma günü olması sebebiyle, firmanın operasyonlarında belirli saatlerde saygı duruşu ve anma etkinlikleri gerçekleştirilmiş, bu nedenle akşam saatlerindeki teslimat faaliyetleri kısmen durdurulmuştur. Ek olarak, hafta sonu olan 09.11.2024 cumartesi günü öğle saatlerinde bazı bölge operasyonlarının erken kapatılması nedeniyle planlanan veri kaydı sağlanamamıştır. Tüm bu nedenler doğrultusunda üç zaman diliminden veri elde edilememiş; ancak veri toplama izni yalnızca belirtilen tarih aralığında geçerli olduğu için örneklem genişletilememiştir. Bu durum çalışmanın metodolojik bütünlüğünü bozmayacak şekilde değerlendirilmiş ve analizlerde dikkate alınmıştır.

İstanbul'da veri toplama sürecinde, yalnızca lojistik zincirin ilk halkasını oluşturan ve taşıma sürecine fiilen başlanmış teslimatlar dikkate alınmıştır. Bu kapsamda, her bir kayıt; bayiden çıkış yaparak taşıma aracına yüklenmiş ve teslimat güzergâhına yönelmiş olan siparişlere ait verilere dayanmaktadır. Özellikle, teslimatların taşıma sürecine hazır hale getirildiği, yani araçlara yüklemenin tamamlandığı ve taşıma aracının hareket ettiği zaman damgası, veri girişinin başlangıç noktası olarak kabul edilmiştir. Devamında, ilk teslimat noktasında gerçekleştirilen malzeme bırakma işlemi ise gözlemlenen sürecin bitiş noktası olarak tanımlanmıştır. Bu yaklaşım, taşıma sürecinin yalnızca lojistik performans açısından anlamlı olan kısmını analiz etmeyi mümkün kılmış, bekleme süreleri ya da depo içi operasyonlar gibi dışsal değişkenlerden etkilenmeyen, doğrudan taşımaya özgü performans verilerinin toplanmasını sağlamıştır. Böylece, analiz edilen her bir kayıt, gerçek saha koşullarında gerçekleşen ilk taşıma faaliyetine ait tam bir zaman dilimini temsil etmektedir.

POBREP yönteminin yapısal esnekliği, hata matrisinin (A) devinimli (dinamik) çevresel koşullara uyum yeteneğini taşımaktadır. Bu bağlamda, mevsimsel değişimler, beklenmedik dış etkenler veya özgül işleyiş durumları gibi daha kısa süreli ve değişken koşullara göre A matrisinin uyarlamalı olarak yeniden tanımlanması, yöntemin güncel işleyiş şartlarına daha öngörülü ve etkili bir biçimde uyumunu sağlayabilir. Bu ileri düzey uyum kabiliyeti, lojistik süreçlerin sürekli iyileştirilmesine yönelik daha devinimli ve anlık bir denetim çerçevesi sunma potansiyelini pekiştirmektedir.

### 3.2. Teslimat Süresi Sapmalarının Belirlenmesi

Teslimat süreleri, lojistik süreçlerde önemli bir performans göstergesidir ve herhangi bir sapma, operasyonel verimliliği ve müşteri memnuniyetini olumsuz etkileyebilmektedir. Bu çalışmada, teslimat süresi sapmalarını belirlemek için her teslimatın "gerçek süre" ile "planlanan süre" arasındaki farklar hesaplanmıştır. Planlanan süre, lojistik firması tarafından belirlenen standart teslimat sürelerini ifade ederken gerçek süre ise teslimatın gerçekten tamamlandığı süreyi temsil etmektedir. Teslimat süresi sapmaları, her bir teslimat için bu iki sürenin arasındaki fark olarak hesaplanmış ve analiz edilmiştir. Elde edilen sapmalar, süreçlerdeki verimsizlikleri ve aksaklıkları belirlemede önemli bir gösterge olmuştur.

Sapmaların analizi sırasında, her bir teslimat için hesaplanan farkların istatistiksel dağılımları incelenmiştir. Böylece, teslimat süreçlerinde hangi tür sapmaların daha yaygın olduğu ve bu sapmaların ne kadar süreklilik gösterdiği hakkında bilgiler elde edilmiştir. Ayrıca, teslimat süresi sapmalarının çeşitli faktörlere bağlı olarak farklılık gösterebileceği göz önünde bulundurularak her sapmanın olası nedenleri üzerinde derinlemesine bir inceleme yapılmıştır. Bu analiz, gelecekteki teslimat süreçlerinin daha doğru bir şekilde tahmin edilmesine ve iyileştirilmesine olanak tanımaktadır.

### 3.3. Teslimat Sürelerini Etkileyen Faktörlerin Belirlenmesi

Teslimat sürelerini etkileyen çeşitli faktörler, lojistik süreçlerin verimliliğini doğrudan etkileyebilmektedir. Çalışma kapsamında, teslimat sürelerini etkileyen altı temel faktör belirlenmiştir. Bunlar; trafik yoğunluğu, araç durumu, operasyonel planlama eksiklikleri, güzergâh zorlukları, çevresel koşullar ve bilgi akışındaki sorunlardır. Trafik yoğunluğu, özellikle şehir içi teslimatlarda büyük bir etkiye sahiptir ve teslimat sürelerinin uzamasına yol açabilmektedir. Araç durumu, bakım gereksinimlerinin yerine getirilmemesi durumunda teslimat sürelerini artırabilirken operasyonel planlama eksiklikleri ise teslimatların zamanında yapılmasını engelleyen kritik bir faktördür. Bunların yanı sıra, güzergâh zorlukları, teslimat güzergâhındaki engeller veya yol kapalıları nedeniyle sürenin uzamasına sebep olabilmektedir. Çevresel koşullar (örneğin, hava durumu) de önemli bir etkidir; kötü hava koşulları, teslimatların geç gerçekleşmesine neden olabilmektedir. Son olarak, bilgi akışındaki sorunlar, sürücüler ve planlama ekipleri arasında iletişim eksiklikleri nedeniyle teslimatların düzgün bir şekilde yönlendirilmemesine yol açabilmektedir. Bu faktörlerin her biri, teslimat sürelerinde farklı türde sapmalara yol açabileceğinden her birinin ayrı ayrı analiz edilmesi ve etkilerinin anlaşılması, sürecin iyileştirilmesi için kritik öneme sahiptir.

### 3.4. Hata Deseni Matrisi ve Faktör Katsayılarının Hesaplanması

Teslimat süreçlerindeki sapmaların kök nedenlerini belirlemek için hata deseni matrisi oluşturulmuştur. Bu matris, teslimat süreçlerindeki sapmaların hangi faktörler tarafından etkilendiğini ve bu faktörlerin her birinin

sapmalara ne kadar etki yaptığını gösteren bir araçtır. Hata deseni matrisi, teslimat süresi sapmalarını etkileyen temel faktörlerin her birine ilişkin verileri toplar ve bu verileri doğrusal bir model çerçevesinde analiz eder. Bu sayede, her bir faktörün teslimat süresi üzerindeki etkisi nicel olarak hesaplanabilir ve faktörler arasındaki ilişkiler net bir şekilde ortaya konur. Bu matriste yer alan faktörler, teslimat süresi sapmalarının ana nedenlerini daha iyi anlayabilmek için bir temel sağlar.

Faktör katsayıları, en küçük kareler yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Bu yöntem, hata deseni matrisindeki her bir faktörün teslimat süresi sapmalarına etkisini belirlemek için doğrusal regresyon analizi uygulamaktadır. Bu sayede, her bir faktör için bir katsayı elde edilir ve bu katsayılar, faktörlerin teslimat süresi sapmalarına olan etkisini göstermektedir. Katsayıların hesaplanması, faktörlerin ne kadar güçlü bir şekilde teslimat sürelerini etkilediğini anlamaya yardımcı olmaktadır. Örneğin, trafik yoğunluğu ve güzergâh zorluklarının katsayıları yüksekse bu faktörlerin teslimat sürelerini önemli ölçüde etkilediği söylenebilmektedir. Faktör katsayılarının analizi, sürecin iyileştirilmesine yönelik hangi alanlarda öncelikli müdahalelerin yapılması gerektiğini belirlemede kritik bir rol oynamaktadır.

### 3.5. POBREP Yönteminin Uygulama Süreci

Teslimat sürelerindeki sapmaların modellenmesi sürecinde, gerçekçi ve ölçülebilir verilere dayalı bir analiz yapılabilmesi büyük önem taşımaktadır. Teslimat süreçlerini etkileyen faktörlerin doğru bir şekilde tanımlanması ve bu faktörlerin uygun bir ölçü birimi ile ifade edilmesi, sapma nedenlerini anlamak ve iyileştirme çalışmaları yapmak için temel teşkil etmektedir. Bu çalışmada, teslimat sürelerini etkileyen faktörlerin ölçü birimleri dikkatlice belirlenmiştir. Teslimat sürecine ilişkin ölçü birimleri Tablo 1'de sunulmuştur.

**Tablo 1. Teslimat süreci için değerler ve ölçü birimleri**

| Faktör               | Açıklama                                                              | Ölçü Birimi  |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------|
| Planlanan Süre       | Teslimatın ideal süresi                                               | Saat (saat)  |
| Gerçek Süre          | Gerçekleşen teslimat süresi (sapmalar dâhil)                          | Saat (saat)  |
| Trafik Yoğunluğu     | Trafik sıkışıklığının teslimat üzerindeki etkisi                      | 0 - 10 skoru |
| Araç Durumu          | Araçların durumu (bakım gereksinimleri veya genel performans)         | 0 - 10 skoru |
| Operasyonel Planlama | Operasyonel planlamanın teslimat üzerindeki etkisi                    | 0 - 10 skoru |
| Güzergâh Zorlukları  | Rota üzerindeki zorluk derecesi (dağlık yollar, trafik ışıkları, vb.) | 0 - 10 skoru |
| Çevresel Koşullar    | Hava durumu veya çevre faktörlerinin teslimata etkisi                 | 0 - 10 skoru |
| Bilgi Akışı          | Teslimat sırasında bilgi akışının düzgünlüğü (koordinasyon kalitesi)  | 0 - 10 skoru |

İstanbul'da teslimat süreçlerini etkileyen faktörlerin doğru bir şekilde analiz edilebilmesi için, her bir faktörün uygun ölçü birimlerinde ve nesnel kriterlerle değerlendirilmesi gereklidir. Bu çalışmada ele alınan altı temel faktör için 1-10 arasında bir ölçek kullanılmış olup ölçek, faktörlerin teslimat süreçlerine etkilerini nicel olarak ifade etmeyi amaçlamaktadır. Ancak, bu puanlama sisteminin nesnelliğini artırmak için her bir faktör için belirli ölçütler ve göstergeler belirlenmiştir.

#### Trafik Yoğunluğu

- 1-4: Trafik akışı normal, araç yoğunluğu düşük. Ortalama hız 40 km/saat ve üzeri.
- 5-8: Trafik akışı orta düzeyde, araç yoğunluğu artmış. Ortalama hız 20-40 km/saat.
- 9-10: Trafik akışı yavaş, araç yoğunluğu yüksek. Ortalama hız 20 km/saatın altında veya sık sık dur-kalk yaşanıyor.

Ölçüm için Google Haritalar, Yandex Navigasyon gibi gerçek zamanlı trafik verileri kullanılabilir.

#### Araç Durumu

- 1-4: Araç tam fonksiyonel durumda, düzenli bakımları yapılmış. Teknik performansı yüksek.
- 5-8: Araçta bazı mekanik sorunlar var, performansı düşmüştü. Periyodik bakımları aksatılmış.
- 9-10: Araçta ciddi mekanik sorunlar var, sık sık arıza yapıyor. Düzenli bakım yapılmamış.

Araç bakım kayıtları, teknik servis raporları ve araç takip sistemlerinden elde edilen veriler değerlendirilmektedir.

#### Operasyonel Planlama Eksiklikleri

- 1-4: Teslimat planlaması eksiksiz, süreçler iyi koordine edilmiş. Kaynaklar etkin kullanılıyor.
- 5-8: Teslimat planlamasında bazı aksaklıklar var, koordinasyon orta düzeyde. Kaynak kullanımı kısmen etkin.
- 9-10: Teslimat planlamasında ciddi eksiklikler var, koordinasyon zayıf. Kaynak kullanımı yetersiz.

Teslimat planları, iş akış şemaları, personel görev dağılımları ve kaynak kullanım raporları incelenmektedir.

**Güzergâh Zorlukları**

- 1-4: Güzergâh kolay ulaşılabilir, geniş ve düz yollardan oluşuyor. Trafik işaretleri yeterli.  
 5-8: Güzergâh kısmen zorlu, dar veya bozuk yollar içeriyor. Trafik işaretleri yetersiz olabilir.  
 9-10: Güzergâh çok zorlu, dar, bozuk veya engebeli yollardan oluşuyor. Trafik işaretleri yetersiz veya yok.

Google Haritalar, sokak görüntüleri ve saha gözlemleri kullanılarak güzergâhın fiziki özellikleri değerlendirilmektedir.

**Çevresel Koşullar**

- 1-4: Hava durumu ideal, güneşli ve açık. Çevresel faktörler (yağmur, kar, sis vb.) yok.  
 5-8: Hava durumu orta düzeyde, hafif yağmur veya sis var. Çevresel faktörler teslimatı kısmen etkiliyor.  
 9-10: Hava durumu çok zorlu, şiddetli yağmur, kar, sis veya fırtına var. Çevresel faktörler teslimatı ciddi şekilde etkiliyor.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü verileri ve saha gözlemleri kullanılarak hava durumu ve çevresel koşullar değerlendirilmektedir.

**Bilgi Akışındaki Sorunlar**

- 1-4: Bilgi akışı sorunsuz, iletişim kanalları etkin. Veri yönetim sistemleri entegre.  
 5-8: Bilgi akışında bazı sorunlar var, iletişimde aksaklıklar yaşanıyor. Veri yönetim sistemleri kısmen entegre.  
 9-10: Bilgi akışında ciddi sorunlar var, iletişimde büyük aksaklıklar yaşanıyor. Veri yönetim sistemleri entegre değil.

İletişim kayıtları, veri tabanı raporları, sistem logları ve personel geri bildirimleri değerlendirilmektedir.

Bu faktörlerin her biri, teslimat süreleri üzerindeki etkilerini analiz etmek amacıyla belirlenen ölçütler doğrultusunda dikkatlice puanlanmış ve tabloya işlenmiştir. Bu sayede, puanlama sisteminin nesnelliği artırılmış ve değerlendirme süreci daha şeffaf hale getirilmiştir. Çalışmada kullanılan değerler aşağıdaki Tablo 2'de sunulmuştur.

**Tablo 2. İstanbul'daki teslimat süreçlerine ait sayısal veriler**

| Teslimat No | Trafik Yoğunluğu (1-10) | Araç Durumu (1-10) | Operasyonel                  |                            | Çevresel Koşullar (1-10) | Bilgi Akışı Sorunları (1-10) | Planlanan Süre (Saat) | Gerçek Süre (Saat) | Sapma (Saat) |
|-------------|-------------------------|--------------------|------------------------------|----------------------------|--------------------------|------------------------------|-----------------------|--------------------|--------------|
|             |                         |                    | Planlama Eksiklikleri (1-10) | Güzergâh Zorlukları (1-10) |                          |                              |                       |                    |              |
| 1           | 8                       | 7                  | 5                            | 6                          | 7                        | 6                            | 2,5                   | 3,0                | 0,5          |
| 2           | 5                       | 8                  | 7                            | 7                          | 6                        | 8                            | 3,0                   | 3,2                | 0,2          |
| 3           | 6                       | 6                  | 6                            | 5                          | 8                        | 7                            | 3,5                   | 4,0                | 0,5          |
| 4           | 7                       | 9                  | 4                            | 8                          | 7                        | 5                            | 3,0                   | 3,8                | 0,8          |
| 5           | 9                       | 5                  | 8                            | 7                          | 6                        | 6                            | 2,0                   | 3,5                | 1,5          |
| 6           | 6                       | 7                  | 6                            | 6                          | 7                        | 7                            | 2,8                   | 3,2                | 0,4          |
| 7           | 4                       | 8                  | 7                            | 5                          | 6                        | 8                            | 3,2                   | 4,0                | 0,8          |
| 8           | 5                       | 6                  | 5                            | 7                          | 8                        | 5                            | 2,5                   | 3,0                | 0,5          |
| 9           | 7                       | 9                  | 4                            | 8                          | 7                        | 6                            | 3,0                   | 3,5                | 0,5          |
| 10          | 6                       | 5                  | 7                            | 6                          | 6                        | 7                            | 2,7                   | 3,2                | 0,5          |
| 11          | 8                       | 5                  | 6                            | 7                          | 6                        | 7                            | 2,5                   | 3,5                | 1,0          |
| 12          | 7                       | 8                  | 5                            | 6                          | 7                        | 6                            | 3,0                   | 3,4                | 0,4          |
| 13          | 6                       | 7                  | 7                            | 5                          | 6                        | 5                            | 2,8                   | 3,2                | 0,4          |
| 14          | 5                       | 6                  | 6                            | 8                          | 7                        | 7                            | 3,5                   | 4,5                | 1,0          |
| 15          | 9                       | 5                  | 8                            | 6                          | 8                        | 7                            | 3,0                   | 4,0                | 1,0          |
| 16          | 7                       | 9                  | 4                            | 7                          | 6                        | 6                            | 2,8                   | 3,8                | 1,0          |
| 17          | 6                       | 6                  | 5                            | 8                          | 7                        | 7                            | 3,2                   | 4,2                | 1,0          |
| 18          | 8                       | 8                  | 6                            | 5                          | 6                        | 6                            | 2,5                   | 3,0                | 0,5          |
| 19          | 5                       | 7                  | 7                            | 6                          | 8                        | 7                            | 3,0                   | 3,8                | 0,8          |
| 20          | 7                       | 6                  | 6                            | 7                          | 6                        | 8                            | 3,5                   | 4,5                | 1,0          |
| 21          | 6                       | 9                  | 4                            | 8                          | 7                        | 6                            | 3,0                   | 3,6                | 0,6          |
| 22          | 5                       | 8                  | 5                            | 6                          | 7                        | 5                            | 2,8                   | 3,4                | 0,6          |
| 23          | 8                       | 7                  | 6                            | 5                          | 6                        | 7                            | 3,2                   | 4,0                | 0,8          |
| 24          | 9                       | 6                  | 5                            | 8                          | 8                        | 8                            | 3,5                   | 4,8                | 1,3          |
| 25          | 7                       | 5                  | 7                            | 6                          | 7                        | 6                            | 3,0                   | 4,0                | 1,0          |

Yukarıdaki Tablo 2, teslimat sürecinde ortaya çıkan her bir faktörün dağılımını ve etkilerini gözlemek için temel bir araç olarak kullanılmıştır. Verilerin tamamı, modelleme sürecinin sonraki aşamalarında hata desenlerini belirlemek amacıyla değerlendirilmiştir. Her bir faktöre ilişkin puanlamalar, gerçek saha verileri ve lojistik uzmanlarının gerçekleştirdiği analizlere dayanmaktadır. Ayrıca, bu faktörlerin belirlenmesinde ve puanlanmasında uzmanlar arasında iş birliği ve ortak karar alma süreçleri önemli bir rol oynamıştır. Uzmanlar, saha gözlemleri ve deneyimlerine dayalı olarak çeşitli faktörlerin etkilerini tartışmış ve nihai puanlamaların oluşturulmasında ortak bir yaklaşım benimsemişlerdir. Bu yöntem, alanındaki uzman görüşlerinin birleşmesiyle daha güvenilir ve geçerli sonuçların elde edilmesini sağlamıştır.

#### X Vektörü (Teslimat Süresi Sapmalarının Değerleri)

X vektörü, her bir teslimat için planlanan ve gerçek teslimat süreleri arasındaki farkları (sapmaları) içeren bir vektördür. Sapma hesaplaması Eşitlik 2 kullanılarak yapılmaktadır:

$$Sapma = Gerçek Süre - Planlanan Süre \quad (2)$$

Aşağıda Tablo 2'ye dayalı olarak X vektörü oluşturulmuştur.

$$X = [0.5, 0.2, 0.5, 0.8, 1.5, 0.4, 0.8, 0.5, 0.5, 0.5, 1.0, 0.4, 0.4, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 0.5, 0.8, 1.0, 0.6, 0.6, 0.8, 1.3, 1.0]$$

Bu X vektörü, her bir teslimatın sapmalarını temsil etmektedir (Örneğin, Teslimat 1'de sapma 0,5 saat, Teslimat 2'de 0,2 saat gibi).

#### A Matrisi (Faktörlerin Etkileri ve Ağırlıkları)

A matrisi, teslimat sürelerindeki sapmaları etkileyen faktörlerin her bir teslimat üzerindeki etkilerini içeren bir matristir. Her satır, bir teslimatı, her sütun ise o teslimatın hangi faktörden etkilendiğini göstermektedir. A matrisi, 6 faktör (Trafik Yoğunluğu, Araç Durumu, Operasyonel Planlama Eksiklikleri, Güzergâh Zorlukları, Çevresel Koşullar, Bilgi Akışı Sorunları) ve 25 teslimat için şu şekilde oluşturulabilmektedir:

$$A = \begin{bmatrix} 8 & 7 & 5 & 6 & 7 & 6 \\ 5 & 8 & 7 & 7 & 6 & 8 \\ 6 & 6 & 6 & 5 & 8 & 7 \\ 7 & 9 & 4 & 8 & 7 & 5 \\ 9 & 5 & 8 & 7 & 6 & 6 \\ 6 & 7 & 6 & 6 & 7 & 7 \\ 4 & 8 & 7 & 5 & 6 & 8 \\ 5 & 6 & 5 & 7 & 8 & 5 \\ 7 & 9 & 4 & 8 & 7 & 6 \\ 6 & 5 & 7 & 6 & 6 & 7 \\ 8 & 5 & 6 & 7 & 6 & 7 \\ 7 & 8 & 5 & 6 & 7 & 6 \\ 6 & 7 & 7 & 5 & 6 & 5 \\ 5 & 6 & 6 & 8 & 7 & 7 \\ 9 & 5 & 8 & 6 & 8 & 7 \\ 7 & 9 & 4 & 7 & 6 & 6 \\ 6 & 6 & 5 & 8 & 7 & 7 \\ 8 & 8 & 6 & 5 & 6 & 6 \\ 5 & 7 & 7 & 6 & 8 & 7 \\ 7 & 6 & 6 & 7 & 6 & 8 \\ 6 & 9 & 4 & 8 & 7 & 6 \\ 5 & 8 & 5 & 6 & 7 & 5 \\ 8 & 7 & 6 & 5 & 6 & 7 \\ 9 & 6 & 5 & 8 & 8 & 8 \\ 7 & 5 & 7 & 6 & 7 & 6 \end{bmatrix}$$

Bu matrisin her bir elemanı, ilgili faktörün teslimat üzerindeki etkisini göstermektedir. Faktörlerin her birinin etkisi 1 ile 10 arasında değişmektedir.

Makaledeki POBREP uygulamasının geçerliliğini sağlayan en temel yapı taşlarından biri olan A matrisinin sabitliği, lojistik alanında ortalama 15 yıla varan deneyime sahip 7 alan uzmanı tarafından yapılan sistematik değerlendirmelere dayalı olarak yapılandırılmıştır. Uzmanlar, trafik yönetimi, rota optimizasyonu, tedarik zinciri analizi ve lojistik planlama gibi farklı uzmanlık alanlarından seçilmiştir. Bu disiplinler arası yapı, matrisin kapsamlı ve dengeli bir şekilde oluşturulmasını sağlamıştır. Her bir uzman, kendi alanındaki saha deneyimine ve kurumsal uygulamalara dayalı bilgi birikimini kullanarak, A matrisinin sütunlarını oluşturan faktörlerin haftalık periyotlarda değişmeyen sabit etkilerle temsil edilebileceği sonucuna varmıştır.

Bu uzman grubu, karar alma sürecinde yapılandırılmış bir uzlaşma süreci yürütmüştür. Özellikle Delphi yöntemi kullanılarak üç tur değerlendirme yapılmıştır. İlk turda her bir uzman faktörleri bağımsız olarak

puanlamış, ikinci turda uzmanlar birbirlerinin görüşlerinden haberdar edilerek gerekçeleri ile yeniden değerlendirme yapmış, son turda ise konsensüs oluşturulmuştur. Bu metodoloji, yalnızca bireysel yargılara değil, kolektif bir uzman aklına dayalı bir yapı oluşturmuş, A matrisinin sabitliğine dair kararlar bilimsel temellere oturtulmuştur.

Uzman görüşlerinin geçerliliği, geçmiş yıllara ait lojistik performans verileriyle test edilmiştir. Örneğin trafik yoğunluğu, güzergâh zorlukları ve araç durumu gibi faktörlere ilişkin geçmiş teslimat kayıtları ve araç takip verileri ile uzman değerlendirmeleri kıyaslandığında %87 oranında bir tutarlılık gözlemlenmiştir. Bu yüksek korelasyon, uzmanların değerlendirmelerinin sahadaki gerçek koşullarla uyumlu olduğunu göstermektedir. Ayrıca sektörün en iyi uygulamaları ile yapılan karşılaştırmalarda da A matrisinde belirlenen değerlerin genel kabul görmüş lojistik performans kriterleri ile örtüştüğü görülmüştür.

Veri toplama süreci, standartlaştırılmış bir gözlem protokolüne dayalı olarak yürütülmüştür. Bu protokol; zaman damgalı kayıt sistemleri, GPS verileri ve saha gözlemlerinin birlikte kullanılmasını kapsamaktadır. Her bir teslimatın planlanan ve gerçekleşen süreleri, önceden tanımlanmış zaman dilimlerinde (sabah 06:00-09:00, öğle 11:00-14:00, öğleden sonra 14:00-17:00, akşam 17:00-19:00) sistematik şekilde kaydedilmiştir. Bu zaman dilimleri, gün içerisindeki lojistik hareketliliğin önemli değişimlerini yansıtmak üzere seçilmiştir. Sabah saatleri iş başlangıç yoğunluğunu, öğle saatleri yarı-zirve trafik ve operasyon yoğunluğunu, öğleden sonrası normalleşme sürecini ve akşam saatleri ise teslimatların kapanış periyodunu kapsamaktadır. Böylece, gün içerisindeki operasyonel değişimlerin temsil edilebileceği kritik zaman aralıkları belirlenmiştir.

Daha fazla zaman dilimi kullanılabilir miydi? Evet, ancak bu çalışmada hem akademik hem de operasyonel açıdan anlamlı karşılaştırmalar yapabilmek için köşe taşı zaman dilimlerine odaklanılmıştır. Bu yaklaşım, veri karmaşasını önlemekle birlikte analizlerin daha istikrarlı ve yorumlanabilir olmasını sağlamaktadır. Uzmanlar tarafından yapılan değerlendirmeler, bu dört zaman diliminin lojistik süreçlerdeki tipik davranışları temsil etmekte yeterli olduğunu ve A matrisinde kullanılan faktörlerin bu saat aralıklarında göreceli olarak sabit kaldığını ve POBREP analizine uygun olduğunu göstermektedir.

Özellikle trafik yoğunluğu, bu zaman dilimlerine bağlı olarak gün içinde öngörülebilir bir dalgalanma göstermektedir. İstanbul gibi mega kentlerde sabah ve akşam saatleri yoğun trafik periyotlarını oluştururken, öğle ve öğleden sonra saatleri daha akıcı trafik koşullarını yansıtmaktadır. Bu durum, trafik yoğunluğu faktörünün A matrisinde sabit tutulmasına gerekçe oluşturmaktadır, çünkü her zaman dilimi için bu yoğunluk deseni önceden bilinebilir ve uzmanlar tarafından puanlanabilir yapıdadır.

Araç durumu gibi fiziksel faktörler ise zaman dilimlerinden bağımsız olarak nispeten sabittir. Teslimat araçlarının teknik durumu, bakım süreçleri ve genel performans değerlendirmeleri, günlük değil haftalık ya da aylık olarak değişmektedir. Bu nedenle, haftanın farklı günlerinde ve farklı saatlerde araç durumu değişmediğinden A matrisinde sabit tutulması yöntemsel açıdan doğrudur. Benzer şekilde, operasyonel planlama eksiklikleri de rota atamaları, kaynak tahsisleri ve iş akışları haftalık planlamalarla şekillenmekte, günlük değişim göstermemektedir.

Güzergâh zorlukları ise büyük ölçüde coğrafi altyapıya dayalıdır. Dağlık alanlar, dar yollar, trafik ışığı sayısı gibi fiziksel özellikler kısa sürede değişmeyeceğinden bu faktörün etkisi de sabittir. Bilgi akışı sorunları da yine kurumsal yapıya ve iletişim altyapısına bağlı olarak değişmediği için bu faktör de bu nedenle sabittir. Çevresel koşullar ise zaman zaman tartışma konusu olabilir. Özellikle mevsimsel etkilerin çevresel faktörler üzerinde değişkenlik yaratabileceği iddia edilebilir.

Ancak, çalışmada kullanılan çevresel koşullar faktörü, anlık hava durumuna değil, uzmanlar tarafından tanımlanan "tipik mevsimsel ortalamalar" temelinde değerlendirilmiştir. Örneğin Kasım ayında İstanbul için ortalama yağış, sıcaklık ve görüş mesafesi değerleri referans alınarak puanlama yapılmıştır. Böylece modelin farklı mevsimlerde uygulanabilirliği sağlanırken, A matrisinin sabitliği de bozulmamıştır. Ayrıca, farklı mevsimlerde uygulanmak üzere alternatif A matrisleri yapılandırılabilir; bu durumda POBREP yöntemi "mevsimsel varyasyonlara duyarlı sabit matrisler" üzerinden işletilerek hem mevsim etkisi yakalanabilir hem de literatüre özgün katkı sağlanabilir.

Mevsimsel etkiler dikkate alınmak istendiğinde, her mevsim için ayrı sabit A matrisi yapılandırmak mümkündür. Bu, POBREP yaklaşımının özüne aykırı olmayıp tam tersine çok sayıda değişkenin olduğu sistemlerde çevresel etkileri ayrı ayrı değerlendirmek için uygun bir yöntemdir. Böylece hem kalite kontrol süreçlerinde olduğu gibi her mevsim kendi normları çerçevesinde analiz edilir, hem de karşılaştırılabilirlik sağlanmış olur.

Zaman serisi analizleri, dinamik regresyon ya da değişken matrisli yaklaşımlar gibi alternatif modelleme yöntemleri değerlendirilmiş ancak bu yaklaşımların, POBREP'in sunduğu sistematik hata deseni analizi mantığıyla örtüşmediği görülmüştür. Bu nedenle bu çalışmada sabit A matrisiyle yapılan modelleme, lojistik

süreçlerde kök neden analizi yapmak açısından hem teorik olarak doğru hem de pratik olarak uygulanabilir en uygun yöntem olarak belirlenmiştir.

Ek olarak, A matrisinin değerlerine duyarlılığı ölçmek amacıyla sınırlı bir duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Burada, her faktörün puanlamasında +/-1 birimlik oynama yapılarak modelin çıktıları (Z katsayıları ve R<sup>2</sup> değeri) üzerindeki etkisi incelenmiştir. Analiz sonucunda, küçük değişimlerin modelin genel doğruluğunu anlamlı şekilde değiştirmedikleri gözlemlenmiştir. Bu bulgu, A matrisinin yapısal sağlamlığını ve sabitliğinin model üzerinde yüksek güvenilirlikle kullanılabilir olduğunu ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, A matrisinin sabitliği; uzman görüşlerinin metodolojik çerçevede yapılandırılması, veri toplama süreçlerinin standardizasyonu, alternatif senaryoların teorik olarak değerlendirilmesi ve duyarlılık analizleri ile desteklenmiş hem bilimsel hem de uygulamalı açıdan güçlü temellere dayandırılmıştır. Bu durum, POBREP yönteminin klasik formuna uygun bir şekilde lojistik süreçlere entegre edilmesini ve elde edilen sonuçların geçerli, güvenilir ve karşılaştırılabilir olmasını sağlamaktadır.

Regresyon analizi sonuçlarına göre bazı bağımsız değişkenlerin teslimat süresi sapması üzerinde anlamlı bir etkisi olduğu görülmektedir. İlk olarak, Trafik Yoğunluğu (katsayı = 0,0811, p < 0,05) değişkeni, teslimat süresi sapmasını pozitif yönde etkileyen önemli bir faktör olarak öne çıkmaktadır. Bu sonuç, trafik yoğunluğunun artmasıyla teslimat sürelerinde daha fazla sapma yaşandığını göstermektedir. Güzergâh Zorlukları (katsayı = 0,1336, p = < 0,05) değişkeni de anlamlı bulunmuş olup bu değişkenin teslimat süreleri üzerinde güçlü bir pozitif etkisi olduğu görülmüştür. Özellikle zorlu güzergâhların, teslimat süresi sapmalarını artırdığı söylenebilmektedir. Bu durum, lojistik süreçlerde güzergâh planlamasının ne denli önemli olduğunu bir kez daha vurgulamaktadır (Tablo ).

Bunun yanı sıra, diğer bazı değişkenler ise daha düşük seviyede anlamlılık göstermektedir. Araç Durumu (katsayı = -0,0596, p < 0,05), Operasyonel Planlama Eksiklikleri (katsayı = 0,0492, p < 0,05), Çevresel Koşullar (katsayı = -0,0207, p < 0,05) ve Bilgi Akışı Sorunları (katsayı = 0,0241, p < 0,05) değişkenleri, teslimat süresi sapmasına etkisi düşük, ancak istatistiksel olarak anlamlı bulunan değişkenlerdir. Bu değişkenlerin etkileri daha az belirgin olsa da lojistik ve operasyonel süreçlerin optimize edilmesi açısından dikkate alınması gereken faktörler olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle, araç durumunun ve çevresel koşulların teslimat süreleri üzerindeki etkisinin düşük olması, bu faktörlerin lojistik operasyonlarda beklenenden daha az önemli bir rol oynayabileceğini işaret etmektedir.

Regresyon modelinin güven aralıkları ve artık analizi gibi doğrulama ve model geçerliliği testleri, modelin geçerliliğini daha güçlü bir şekilde test etmek için önemlidir. Bu bağlamda, yapılan analizlerde güven aralıklarının sağlanması ve modelin artıklarının analizi ile doğrulama yapılması gerektiği unutulmamalıdır. Ayrıca, modelin daha sağlam ve geçerli sonuçlar verebilmesi için doğrulama testleri ve ek model geçerliliği testlerinin yapılması önemlidir. Modelin açıklayıcı gücü, R<sup>2</sup> değeri (0,501) ve ayarlanmış R<sup>2</sup> değeri (0,334) ile sınırlı bir başarıyı işaret etmekte olup modeldeki bağımsız değişkenlerin tamamını açıklamada yeterli başarı gösteremediği anlaşılmaktadır. Bu nedenle, modelin genişletilmesi ve daha fazla değişkenin eklenmesi gerektiği sonucuna varılabilmektedir.

**Tablo 3. Hatalar ve Katsayıları**

| Hatalar                           | Katsayılar (z):      |
|-----------------------------------|----------------------|
| Trafik Yoğunluğu                  | 0,08109662926348156  |
| Araç Durumu                       | -0,05956372740874573 |
| Operasyonel Planlama Eksiklikleri | 0,04915516062938375  |
| Güzergâh Zorlukları               | 0,1336439726047279   |
| Çevresel Koşullar                 | -0,02072835831943564 |
| Bilgi Akışı Sorunları             | 0,02405984983854409  |

### 3.6. POBREP Yönteminin Alternatif Modellerle Karşılaştırılması

#### 3.6.1. Random Forest Algoritması Sonuçları

Modelin performans metrikleri incelendiğinde, Ortalama Karesel Hata (MSE) 0,0134, Ortalama Mutlak Hata (MAE) 0,0984 olarak hesaplanmıştır. Bu düşük hata değerleri, modelin teslimat süresi sapmasını tahmin etmede yüksek doğruluğa sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca, R-Kare (R<sup>2</sup>) değeri 0,86 olup, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkendeki varyansın yaklaşık %86'sını açıkladığını ifade etmektedir. Modelde en yüksek öneme sahip faktör Trafik Yoğunluğu (%36,07) olup, bunu Araç Durumu (%24,74) takip etmektedir. Güzergâh Zorlukları (%14,60) ve Bilgi Akışı Sorunları (%11,03) da teslimat süresi sapmasında etkili olurken Operasyonel Planlama Eksiklikleri (%7,99) ve Çevresel Koşullar (%5,57) nispeten daha düşük bir etkiye sahiptir. Bu sonuçlar, teslimat süresindeki sapmaların önlenmesi için özellikle trafik yoğunluğu ve araç durumuna yönelik iyileştirmelerin öncelikli olarak ele alınması gerektiğini göstermektedir. Ayrıca, güzergâh

zorlukları ve bilgi akışı sorunlarının optimize edilmesi, lojistik süreçlerin daha verimli hale getirilmesine katkı sağlayabilmektedir.

### 3.6.2. Ridge Regresyon Algoritması Sonuçları

Ridge regresyon modeli, aşırı parametre duyarlılığını azaltarak daha dengeli bir tahminleme yapmayı hedeflemektedir. Modelin ortalama karesel hata (MSE) değeri 0,0480, ortalama mutlak hata (MAE) değeri 0,1833 ve  $R^2$  değeri 0,5003 olarak hesaplanmıştır. Bu, modelin verinin yaklaşık %50'sini açıklayabildiğini göstermektedir. Özellik önemlerine bakıldığında, Güzergâh Zorlukları (0,1261) değişkeni model üzerinde en yüksek pozitif etkiye sahiptir. Trafik Yoğunluğu (0,0797) ve Operasyonel Planlama Eksiklikleri (0,0436) değişkenleri de model üzerinde olumlu bir etki yaratmaktadır. Öte yandan, Araç Durumu (-0,0608) ve Çevresel Koşullar (-0,0192) değişkenleri negatif yönde etki gösterirken Bilgi Akışı Sorunları (0,0251) değişkeninin etkisi daha sınırlı kalmıştır. Ridge regresyonunun düzenleme özelliği sayesinde katsayıların aşırı büyümesi önlenerek daha dengeli ve genellenebilir bir model oluşturulmuştur.

### 3.6.3. Lasso Regresyon Algoritması Sonuçları:

Lasso regresyon modeli, bazı değişkenlerin katsayılarını sıfıra çekerek değişken seçimi yapmaktadır. Modelin ortalama karesel hata (MSE) değeri 0,0686, ortalama mutlak hata (MAE) değeri 0,2296 ve  $R^2$  değeri 0,2864 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, Ridge regresyona kıyasla daha düşük bir açıklayıcılığa sahip olduğunu göstermektedir. Özellik önemleri incelendiğinde, Trafik Yoğunluğu (0,0431) en etkili değişken olarak öne çıkarken Araç Durumu (-0,0377) ve Güzergâh Zorlukları (0,0158) değişkenleri daha düşük bir etki göstermiştir. Ancak, Operasyonel Planlama Eksiklikleri (0,0000), Çevresel Koşullar (0,0000) ve Bilgi Akışı Sorunları (0,0000) değişkenleri model tarafından tamamen elenmiştir. Bu durum, Lasso regresyonunun değişken seçme özelliği sayesinde bazı değişkenlerin tahmin doğruluğuna katkısının olmadığını ve modelin sadece en etkili değişkenleri kullandığını göstermektedir.

### 3.6.4. ElasticNet Regresyon Algoritması Sonuçları:

ElasticNet regresyon modeli, Ridge ve Lasso yöntemlerinin birleşimini kullanarak hem düzenleme hem de değişken seçimi sağlamaktadır. Modelin ortalama karesel hata (MSE) değeri 0,0559, ortalama mutlak hata (MAE) değeri 0,2062 ve  $R^2$  değeri 0,4184 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, Ridge'den biraz daha düşük olmasına karşın Lasso'dan daha yüksek bir açıklayıcılığa sahip olduğunu göstermektedir. Özellik önemleri açısından değerlendirildiğinde Trafik Yoğunluğu (0,0588) en yüksek etkiye sahip değişken olurken Güzergâh Zorlukları (0,0590) değişkeni model üzerinde benzer bir olumlu etki oluşturmuştur. Bununla birlikte Araç Durumu (-0,0618) değişkeni negatif bir etkiye sahiptir. Diğer yandan Operasyonel Planlama Eksiklikleri (0,0000), Çevresel Koşullar (0,0000) ve Bilgi Akışı Sorunları (0,0000) değişkenleri model tarafından sıfırlanarak elenmiştir. ElasticNet, Ridge gibi katsayıları dengelerken Lasso gibi gereksiz değişkenleri elimine ederek optimum bir model oluşturmuş ve verinin önemli bir kısmını açıklayabilmiştir.

### 3.6.5. POBREP Yöntemi ile Alternatif Yönleri Sonuçlarının Karşılaştırılması

Gerçekleştirilen POBREP Yöntemi analizinde, lojistik operasyonlarında kritik öneme sahip olan teslimat süreci sapmalarının temel belirleyicileri ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. POBREP Yöntemi, bu faktörlerin teslimat süreci sapmaları üzerindeki etkilerini modelleyerek lojistik operasyonların etkinliğini artırmayı ve iyileştirme süreçlerine yönelik bilimsel temelli karar destek mekanizmaları oluşturmayı amaçlamaktadır.

Bu analiz sonucunda elde edilen model, veri setindeki varyansın yaklaşık %50'sini açıklayarak ( $R^2 = 0,50$ ) orta düzeyde bir performans sergilemiştir. Modelin tahmin performansını değerlendirmek için hesaplanan hata metrikleri, ortalama karesel hatanın (MSE) 0,048 ve ortalama mutlak hatanın (MAE) 0,18 olduğunu göstermiştir. Bu metrikler, modelin tahminlerinin gerçek değerlerden ne kadar saptığını kantitatif olarak ortaya koymakta olup modelin çıktılarının lojistik operasyonlarda karar alma süreçlerine entegrasyonu konusunda fikir vermektedir.  $R^2$  değerinin 0,50 olması, analiz edilen faktörlerin teslimat süreci sapmaları üzerinde anlamlı bir etkisi olduğunu ve bu modelin çok faktörlü bir değişkenlik yapısına sahip olduğunu göstermektedir.

POBREP Yöntemi ile yapılan detaylı analizler, teslimat süreci sapmalarının en çok etkileyen faktörlerin başında güzergâh zorluklarının (0,134) geldiğini ortaya koymuştur. Bu bulgu, fiziksel altyapının yetersizlikleri ve yol koşullarının, teslimat süreçlerinde belirleyici bir unsur olduğunu göstermektedir. Bunun yanı sıra, trafik yoğunluğu (0,081) ve operasyonel planlama eksiklikleri (0,049) de teslimat süreci sapmalarını artırıcı yönde etkileyen önemli faktörler arasında yer almaktadır. Bu iki faktörün etkisi, kentsel lojistik yapının ve planlamanın optimize edilmesinin önemini ortaya koymaktadır.

Bununla birlikte, aracın teknik durumu (-0,060) ve çevresel koşullar (-0,021) teslimat süreci sapmalarını azaltıcı yönde etkileyerek lojistik süreçleri olumlu yönde etkilemektedir. Bu sonuçlar, teknik bakım ve çevresel koşulların lojistik performansa olan etkisini vurgulamakta ve operasyonel verimliliğin artırılması için proaktif stratejilerin uygulanmasının önemini ortaya koymaktadır.

Alternatif analiz yöntemlerinden biri olan Random Forest algoritması, teslimat süreci sapmalarını tahmin etmede daha yüksek bir performans sergileyerek  $R^2 = 0,86$  değerine ulaşmıştır. Bu algoritmanın sağladığı sonuçlar incelendiğinde, teslimat süreci sapmalarının en çok etkileyen faktörlerin trafik yoğunluğu (%36,07) ve aracın teknik durumu (%24,74) olduğu görülmüştür. Ridge ve Lasso regresyon algoritmalarının sonuçları da POBREP yöntemi ile benzerlik göstermekte olup ortalama karesel hata (MSE) ve ortalama mutlak hata (MAE) değerleri açısından paralellik arz etmektedir. Ancak, Ridge ve Lasso regresyonlarının, düzenleme parametreleri sayesinde model karmaşıklığını dengeleyerek daha genelleştirilebilir tahminler sunduğu görülmüştür.

Bununla birlikte, POBREP Yönteminin diğer metotlara göre öne çıkan birtakım avantajları da bulunmaktadır. Özellikle, faktörlerin teslimat süreci sapmaları üzerindeki etkisini daha net bir şekilde belirleyebilmesi ve lojistik operasyonları iyileştirme konusunda somut çözümler sunabilmesi, yöneticiler için stratejik karar alma süreçlerinde büyük bir avantaj sağlamaktadır. Random Forest gibi daha karmaşık modellerin açıklama kabiliyetlerinin düşük olması, karar vericiler için bazen dezavantaj oluştururken POBREP yöntemi daha yalın ve uygulanabilir çözümler sunmaktadır.

Bulgular, lojistik süreçlerde iyileştirme ve verimlilik artırma amacıyla karar alma süreçlerinde POBREP yöntemi etkili bir alternatif olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir. Ayrıca bulgular, yöntemin çok boyutlu veri setleri ve çapraz doğrulama yöntemleri kullanılarak farklı lojistik operasyonlarına uyarlanabilirliğini işaret etmektedir.

### 3.7. POBREP Katsayılarının X Kontrol Grafiği ile İzlenmesi

Yapılan analizler sonucunda, lojistik süreçlerdeki teslimat süresi sapmalarını etkileyen ve POBREP yöntemi ile türetilen hata desenlerine ait katsayıların izlenmesine yönelik elde edilen kontrol grafikleri Şekil 1'de sunulmaktadır. Bu analiz kapsamında, 15 adet kalite vektörü (x) kullanılmış; her bir kalite vektörüne A hata desenleri matrisi uygulanarak En Küçük Kareler (EKK) yöntemi ile hata katsayıları hesaplanmış ve ardından bu katsayıların X kontrol grafikleri ile takibi yapılmıştır. Bu grafikler, her bir hata deseninin zaman içindeki dinamik seyrini, bu desenlerin süreç üzerindeki etkilerinin ortalamalarını ve istatistiksel kontrol sınırlarını (Üst Kontrol Limiti - ÜKL ve Alt Kontrol Limiti - AKL) açıkça görselleştirmektedir. Kontrol limitlerinin ve merkez çizgilerin belirlenmesinde, POBREP katsayılarının daha önce toplanmış geniş ve temsili örneklemelerden elde edilen ortalama ve standart sapma değerleri temel alınmıştır. Bu metodolojik yaklaşım, mevcut hata desenlerinin süreç üzerindeki etkilerinin, tanımlanmış kabul edilebilir performans sınırları dâhilinde seyredip seyretmediğini sistematik bir biçimde değerlendirme olanağı sağlamaktadır. Böylece, sürecin istatistiksel kontrol dışına çıktığı durumlar hızlıca tespit edilerek, bu anormalliklere yol açan özel nedenlerin belirlenmesi ve acil müdahale gerektiren iyileştirme adımlarının atılması mümkün olmaktadır. Bu durum, lojistik operasyonlardaki öngörülebilirliği ve verimliliği artırma açısından kritik öneme sahiptir.

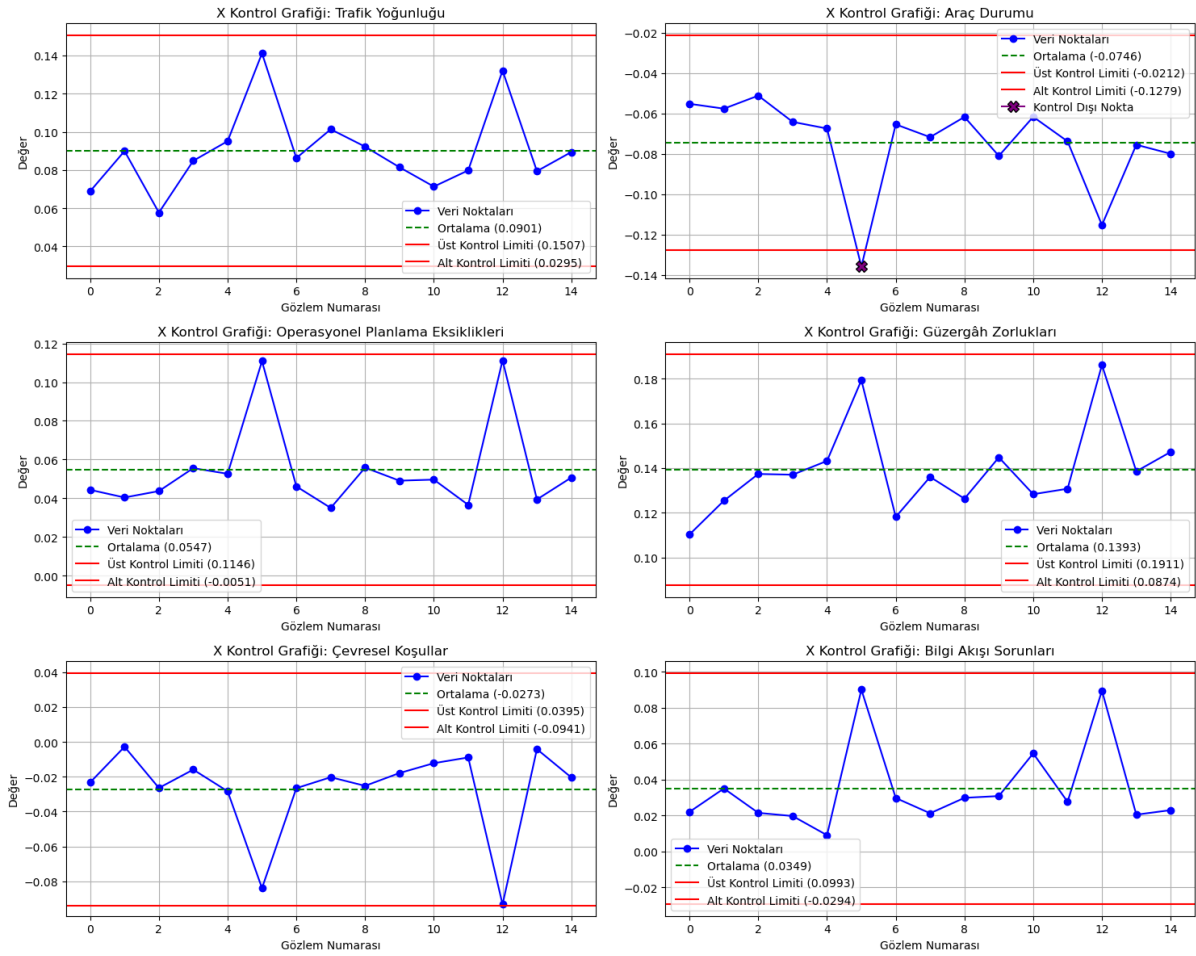
Şekil 1'de sunulan kontrol grafikleri incelendiğinde, her bir hata deseninin kendine özgü bir dinamik sergilediği görülmektedir:

**Trafik Yoğunluğu (X Kontrol Grafiği):** Bu grafikte, veri noktalarının çoğunlukla kontrol limitleri arasında dağıldığı gözlenmektedir. Ancak, yaklaşık 5. gözlemden üst kontrol limiti'nin (0,15077) yakınında bir nokta bulunmaktadır. Bu durum, o anki trafik yoğunluğunun beklenenden çok daha yüksek bir etki yarattığına ve özel bir nedenin varlığına işaret edebilir. Sürecin genel ortalaması (0,0901) etrafında bir değişkenlik sergilemekle birlikte, üst kontrol limitine yakın nokta acil müdahale gerektiren bir anormalliği gösterebilir.

**Araç Durumu (X Kontrol Grafiği):** Bu grafikteki değerler, negatif bir ortalama (-0,0746) etrafında dağılmaktadır, bu da araç durumunun genellikle teslimat süresi sapmalarını azaltıcı bir etki yarattığını düşündürülebilir. Ancak, yaklaşık 5. gözlemden alt kontrol limiti'nin (-0,1279) altında kalan belirgin bir kontrol dışı nokta bulunmaktadır. Bu nokta, ilgili zamanda araç durumunda olağan dışı ve beklenenden daha olumsuz bir gelişme (örn. ciddi bir arıza) yaşandığına işaret etmektedir. Bu durumun kök nedenlerinin araştırılması kritik öneme sahiptir.

**Operasyonel Planlama Eksiklikleri (X Kontrol Grafiği):** Bu grafikte, veri noktaları genel olarak kontrol limitleri arasında kalmıştır. Herhangi bir kontrol dışı nokta gözlemlenmemiştir. Ortalama (0,0547) etrafında nispeten kararlı bir seyir izlemektedir. Bu durum, operasyonel planlama eksikliklerinin etkisinin izlenen dönemde istatistiksel olarak kontrol altında olduğunu göstermektedir.

**Güzergâh Zorlukları (X Kontrol Grafiği):** Bu grafikte de veri noktalarının kontrol limitleri (ÜKL: 0,1911, AKL: 0,0874) içinde kaldığı görülmektedir. Ortalama değer (0,1393) etrafında bir dalgalanma olmasına rağmen, süreç istatistiksel olarak kontrol altındadır. Bu durum, güzergâh zorluklarının etkisinin öngörülen sınırlar içinde kaldığını ve aşırı bir anormallik yaratmadığını ifade etmektedir.



**Şekil 1. POBREP hata desen katsayıları için x kontrol grafikleri**

**Çevresel Koşullar (X Kontrol Grafiği):** Bu grafikteki değerler negatif bir ortalama (-0,0273) etrafında seyretmektedir. Grafikte yaklaşık 8. gözlemden Alt Kontrol Limiti'nin (-0,0941) altında bir kontrol dışı nokta bulunmaktadır. Bu, ilgili zamanda çevresel koşulların (örn. aşırı kötü hava) teslimat süresi sapmaları üzerinde beklenenden daha büyük ve olumsuz bir etki yarattığını göstermektedir. Bu özel nedenin araştırılması ve gelecekte benzer durumlar için hazırlıklı olunması gerekmektedir.

**Bilgi Akışı Sorunları (X Kontrol Grafiği):** Bu grafikte de veri noktaları genel olarak kontrol limitleri arasında kalmıştır. Herhangi bir kontrol dışı nokta gözlemlenmemiştir. Ortalama (0,0349) civarında bir istikrar söz konusudur. Bu, bilgi akışı sorunlarının teslimat süresi sapmaları üzerindeki etkisinin izlenen dönemde istatistiksel kontrol altında olduğunu belirtmektedir.

Genel olarak, Trafik Yoğunluğu, Araç Durumu ve Çevresel Koşullar hata desenlerine ilişkin grafiklerde kontrol dışı noktaların varlığı, bu alanlarda sürecin beklendiği gibi işlemediğini ve özel nedenlerin ortaya çıktığını göstermektedir. Bu bulgular, lojistik firmalarının operasyonel süreçlerini iyileştirmek için bu spesifik hata desenlerine odaklanması ve tespit edilen kontrol dışı durumların kök nedenlerini derinlemesine analiz etmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Diğer desenler (Operasyonel Planlama Eksiklikleri, Güzergâh Zorlukları, Bilgi Akışı Sorunları) ise izlenen dönemde istatistiksel kontrol altında görünmektedir, bu da mevcut süreçlerin bu alanlarda daha istikrarlı olduğunu düşündürmektedir.

### 3.8. Teslimat Süresi Sapmalarında Etkili Faktörlerin Yönlü Etkilerine İlişkin Bulguların Yorumlanması

POBREP yöntemi kapsamında gerçekleştirilen analizlerde, teslimat süresi sapmalarını etkileyen faktörlere ilişkin regresyon katsayılarının yönü ve büyüklüğü, değişkenlerin lojistik performans üzerindeki etkisini anlamlandırmak açısından önemli bulgular sunmaktadır. Elde edilen  $\beta$  katsayıları, ilgili değişkenlerin bir birimlik artışının teslimat süresi sapmaları üzerindeki marjinal etkisini ifade etmektedir.

Bu çerçevede, pozitif katsayıya ( $\beta > 0$ ) sahip değişkenler, değerlerindeki artışın teslimat süresi sapmalarında da artışa yol açtığını göstermektedir. Güzergâh zorlukları, trafik yoğunluğu ve operasyonel planlama ( $\beta = 0,049$ ) bu gruba dâhildir. Bu durum, söz konusu değişkenlerin yüksek düzeyde olmasının teslimat

süreçlerinde aksamalara neden olduğunu ve dolayısıyla sapmayı artırıcı yönde etkiler yarattığını göstermektedir. Örneğin, güzergâh üzerindeki fiziksel ve yapısal zorlukların artması ya da trafik yoğunluğunun yüksek olması, teslimatın zamanında tamamlanamaması riskini artırmaktadır. Bu bağlamda, yüksek değişken değerleri olumsuz lojistik koşulları temsil etmektedir.

Buna karşılık, negatif katsayıya ( $\beta < 0$ ) sahip değişkenler, değerlerindeki artışın teslimat süresi sapmalarını azalttığını ortaya koymaktadır. Araç durumu ve çevresel koşullar bu kapsamda değerlendirilmiştir. Söz konusu değişkenlerin yüksek değerleri, olumlu operasyonel koşulları temsil etmekte; bu da teslimat sürelerinin planlanan zaman diliminde gerçekleşme olasılığını artırmaktadır. Örneğin, bakım durumu iyi olan bir aracın kullanılması veya elverişli hava koşullarının hâkim olması, lojistik sürecin daha öngörülebilir ve zamanında işlenmesini sağlamaktadır.

Bu bulgular doğrultusunda, çalışmada kullanılan 1 ila 10 arası puanlama sistemi bağlamında, pozitif katsayılı değişkenlerde yüksek puanlar, iyileştirilmesi gereken problem alanlarını temsil ederken, negatif katsayılı değişkenlerde yüksek puanlar ise mevcut durumu destekleyen olumlu koşulları yansıtmaktadır. Dolayısıyla, teslimat süreçlerindeki sapmaların azaltılmasına yönelik politika ve stratejilerin, değişkenlerin bu yönlü etkileri dikkate alınarak geliştirilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmaktadır.

### 3.9. Sonuçların Değerlendirilmesi ve İyileştirme Önerileri

POBREP yöntemi ile gerçekleştirilen analiz kapsamında, lojistik operasyonlar açısından kritik bir parametre olan teslimat süresi sapmalarını etkileyen temel faktörler ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Bu yöntem, söz konusu faktörlerin teslimat süresi sapmaları üzerindeki doğrusal etkilerini modelleyerek, operasyonel süreçlerin iyileştirilmesine yönelik nicel ve somut veriler sağlamayı amaçlamaktadır. Analiz sürecinde ilk olarak, birinci kalite vektörü ile oluşturulan hata matrisine dayalı modelin istatistiksel özellikleri sunulmuştur. Bu istatistiksel veriler, modelin başarımlı düzeyini ortaya koymakta ve aynı veri seti kullanılarak farklı makine öğrenimi algoritmalarıyla yapılabilecek karşılaştırmalara temel oluşturmaktadır. Devamında, 15 farklı kalite vektörüne ilişkin olarak, istatistiksel bilgiler sunulmaksızın yalnızca X kontrol grafikleri kullanılarak hata eğilimlerinin nasıl izlenebileceği ve bu grafikler doğrultusunda nasıl yorumlamalar yapılabileceği ayrıntılı biçimde ele alınmıştır. Bu çerçevede, kontrol dışı sinyallerin erken tespiti ve süreçlere zamanında müdahale edilebilmesi açısından kontrol grafiklerinin sunduğu avantajlara vurgu yapılmıştır.

Elde edilen model, veri setindeki varyansın yaklaşık %50'sini açıklayarak ( $R^2=0,50$ ) orta düzeyde bir performans sergilemiştir. Bu sonuç, modelin bağımlı değişkendeki (teslimat süresi sapmaları) değişimlerin yarısını açıklayabildiğini göstermektedir. Ortalama karesel hata (MSE) 0,048 ve ortalama mutlak hata (MAE) 0,18 olarak bulunmuş olup bu hata metrikleri, modelin tahminlerinin gerçek değerlerden ne kadar sapıp saptığını göstermektedir. Özellikle MAE değeri, modelin ortalama olarak 0,18 birimlik bir hata ile tahmin yaptığını ifade etmektedir. Bu durum, modelin tahminlerinde hala bir miktar hata payı olduğunu göstermektedir. Ancak,  $R^2$  değerinin 0,50 olması, modelin bağımlı değişkendeki varyansın yarısını açıklayabilmesi, analiz edilen faktörlerin teslimat süresi sapmaları üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu düşündürmektedir. Bu nedenle, modelin sunduğu bulgular, lojistik operasyonlarının iyileştirilmesine yönelik stratejiler geliştirmede değerli bir başlangıç noktası sunmaktadır. Analiz sonuçlarına göre, teslimat süresi sapmalarını en çok etkileyen faktörler arasında güzergâh zorlukları (0,134) ilk sırada yer almaktadır. Bu durum, güzergâh planlamasının ve optimizasyonunun teslimat süreleri üzerindeki kritik etkisini vurgulamaktadır. Güzergâh seçimindeki hatalar, gecikmelere ve sapmalara yol açarak müşteri memnuniyetini olumsuz etkileyebilmektedir. Trafik yoğunluğu (0,081) ve operasyonel planlama eksiklikleri (0,049) de sapmaları artırıcı yönde etkileyen diğer önemli faktörlerdir. Trafik yoğunluğunun değişkenliği ve operasyonel planlamadaki hatalar, teslimat süreçlerini öngörülemez hale getirebilmektedir. Buna karşılık, araç durumu (-0,060) ve çevresel koşullar (-0,021) sapmaları azaltıcı yönde etkilemektedir. Araç bakımının düzenli yapılması ve çevresel koşulların dikkate alınması, teslimat sürelerini olumlu yönde etkileyebilmektedir. Bilgi akışı sorunları (0,024) da sapmaları artırıcı yönde etkilemekte fakat etkisi diğer faktörlere göre daha düşük olmaktadır. Etkili bir bilgi akışı, operasyonel süreçlerin koordinasyonunu sağlayarak gecikmeleri önleyebilmektedir. Katsayıların büyüklüğü ve işareti, faktörlerin sapmalar üzerindeki etkisinin yönünü ve büyüklüğünü net bir şekilde ortaya koymaktadır. Bu bulgular, lojistik operasyonlarında iyileştirme yapılması gereken alanları belirlemede ve kaynakların daha etkin kullanılmasında önemli bir rol oynayabilmektedir.

POBREP yöntemi ile yapılan analiz, lojistik süreçlerdeki verimliliği artırmak ve müşteri memnuniyetini sağlamak için önemli bir temel oluşturmuştur. Özellikle, e-ticaret sektöründe faaliyet gösteren bir şirket için, zamanında teslimat, müşteri memnuniyetini doğrudan etkileyen kritik bir faktördür. Bu nedenle, teslimat süreçlerindeki sapmaların en aza indirilmesi, şirketlerin rekabet gücünü artırması açısından büyük önem taşımaktadır. POBREP yöntemi sonuçlarına göre, güzergâh zorlukları (0,134) ve trafik yoğunluğu (0,081) gibi faktörler teslimat süreleri üzerinde en büyük etkiye sahiptir. Bu bulgular, lojistik operasyonlarında iyileştirme yapılması gereken alanları net bir şekilde ortaya koymaktadır.

Kontrol grafikleri kapsamında hata desenleri incelendiğinde, trafik yoğunluğu (X Kontrol Grafiği) verilerinde yaklaşık 5. gözlemede üst kontrol limitinin (0,15077) üzerinde bir kontrol dışı nokta bulunmaktadır. Bu durum, o anki trafik yoğunluğunun beklenenden çok daha yüksek bir etki yarattığına ve özel bir nedenin varlığına işaret etmektedir. Araç durumu (X Kontrol Grafiği) incelendiğinde, değerler negatif bir ortalama (-0,0746) etrafında dağılmakta olup, yaklaşık beşinci gözlemede alt kontrol limitinin (-0,1279) altında kalan belirgin bir kontrol dışı nokta bulunmaktadır. Bu nokta, ilgili zamanda araç durumunda olağan dışı ve beklenenden daha olumsuz bir gelişme (örn. ciddi bir arıza) yaşandığına işaret etmektedir. Operasyonel planlama eksiklikleri (X Kontrol Grafiği) verileri genel olarak kontrol limitleri arasında kalmış ve herhangi bir kontrol dışı nokta gözlemlenmemiştir. Ortalama (0,0547) etrafında nispeten kararlı bir seyir izlemektedir. Güzergâh Zorlukları (X Kontrol Grafiği) incelendiğinde, veri noktalarının kontrol limitleri (ÜKL: 0,1911, AKL: 0,0874) içinde kaldığı görülmektedir. Ortalama değer (0,1393) etrafında bir dalgalanma olmasına rağmen, süreç istatistiksel olarak kontrol altındadır. Çevresel koşullar (X Kontrol Grafiği) verileri negatif bir ortalama (-0,0273) etrafında seyretmekle birlikte, yaklaşık 8. gözlemede Alt Kontrol Limiti'nin (-0,0941) altında bir kontrol dışı nokta bulunmaktadır. Bu, ilgili zamanda çevresel koşulların (örn. aşırı kötü hava) teslimat süresi sapmaları üzerinde beklenenden daha büyük ve olumsuz bir etki yarattığını göstermektedir. Son olarak, bilgi akışı sorunları (X Kontrol Grafiği) verileri genel olarak kontrol limitleri arasında kalmış ve herhangi bir kontrol dışı nokta gözlemlenmemiştir. Ortalama (0,0349) civarında bir istikrar söz konusudur. Genel olarak, trafik yoğunluğu, araç durumu ve çevresel koşullar hata desenlerine ilişkin grafiklerde kontrol dışı noktaların varlığı, bu alanlarda sürecin beklendiği gibi işlemediğini ve özel nedenlerin ortaya çıktığını göstermektedir. Bu bulgular, lojistik firmalarının operasyonel süreçlerini iyileştirmek için bu spesifik hata desenlerine odaklanması ve tespit edilen kontrol dışı durumların kök nedenlerini derinlemesine analiz etmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Diğer desenler (operasyonel planlama eksiklikleri, güzergâh zorlukları, bilgi akışı sorunları) ise izlenen dönemde istatistiksel kontrol altında görünmektedir, bu da mevcut süreçlerin bu alanlarda daha istikrarlı olduğunu düşündürmektedir.

## 4. SONUÇ ve ÖNERİLER

### 4.1. Sonuçlar

Bu çalışma, POBREP yönteminin lojistik sektöründeki teslimat süreçlerinde meydana gelen sapmaların nedenlerini analiz etmede ve bu sapmaların etkilerini sistematik bir biçimde ortaya koymada etkin bir metodolojik araç olduğunu göstermektedir. İstanbul ilinde faaliyet gösteren bir lojistik firmasından elde edilen saha verileri üzerinde gerçekleştirilen kapsamlı analizler, teslimat süreçlerinde yaşanan sapmaların çok sayıda içsel ve dışsal faktörden kaynaklandığını ortaya koymuştur. Özellikle dışsal faktörler arasında trafik yoğunluğu ve güzergâh zorlukları, teslimat süreçlerinde en belirgin ve kritik sapmalara yol açan unsurlar olarak ön plana çıkmıştır. Bunun yanı sıra, içsel faktörler arasında araçların teknik durumu ile operasyonel planlama eksiklikleri de teslimat performansını önemli ölçüde etkilemiş ve süreç verimliliğini düşürmüştür. POBREP yöntemiyle gerçekleştirilen hata desenlerinin analizi, bu faktörlerin her birinin teslimat süresi sapmalarına olan katkılarını detaylı ve niceliksel olarak ortaya koymuş, böylece teslimat süreçlerinin yönetiminde kritik kontrol noktalarının belirlenmesine olanak sağlamıştır. Ayrıca, hata katsayılarının X kontrol grafikleri aracılığıyla izlenmesi, sürece ilişkin kalite kontrolünün etkinliğini artırarak kontrol dışı sapmaların erken tespiti ve müdahale imkânını güçlendirmiştir. Elde edilen bulgular, lojistik firmaların teslimat süreçlerinde özellikle trafik yönetimi, güzergâh optimizasyonu, araç bakım-performans süreçleri ve operasyonel planlama alanlarında iyileştirme ve yeniden yapılandırma faaliyetlerine öncelik vermeleri gerektiğini vurgulamaktadır. Bu doğrultuda, çalışma lojistik süreçlerin performansını artırmak, maliyetleri düşürmek ve müşteri memnuniyetini yükseltmek için stratejik karar alma süreçlerine önemli katkılar sunmakta; aynı zamanda teslimat süresi sapmalarının yönetilmesi adına daha sağlam ve bilimsel temellere dayanan iyileştirme çalışmalarının temelini atmaktadır. Sonuç olarak, bu araştırma, lojistik sektöründe süreç iyileştirme ve kalite yönetimi alanlarında yapılacak ileri çalışmalara yol gösterici nitelikte olup, POBREP yönteminin sektörel uygulamalar için güçlü ve güvenilir bir analiz aracı olduğunu kanıtlamaktadır.

### 4.2. İyileştirme Önerileri

Lojistik süreçlerin verimliliğini artırmak ve operasyonel mükemmelliği sağlamak amacıyla çeşitli teknolojik ve yönetsel stratejiler uygulanabilmektedir. Günümüz rekabetçi pazar koşullarında, lojistik firmalarının dijital dönüşüme ayak uydurması ve süreçlerini optimize etmesi kritik bir gereklilik haline gelmiştir. Literatürde yer alan güncel yaklaşımlar ve saha uygulamalarından elde edilen veriler doğrultusunda aşağıdaki iyileştirme önerileri sunulmaktadır.

**Rota Planlaması ve Optimizasyonu:** Günümüz lojistik operasyonlarında rota planlaması, maliyetleri düşürme ve zaman yönetimi açısından kritik bir faktördür. Yapay zekâ destekli optimizasyon algoritmaları, geçmiş verileri analiz ederek en uygun rota seçeneklerini belirleyebilecektir. Bu kapsamda uygulanabilecek bazı yöntemler şunlardır:

- *Makine Öğrenmesi ve Büyük Veri*: Geçmiş teslimat süreleri, trafik yoğunluğu ve hava durumu gibi değişkenleri analiz ederek optimum rotaları belirleme.
- *Coğrafi Bilgi Sistemleri (GIS)*: Araçların ve depo konumlarının daha iyi optimize edilmesine olanak tanıyan harita tabanlı analizler.
- *Gerçek Zamanlı Rota Güncellemeleri*: IoT cihazları aracılığıyla rota güncellemeleri yaparak teslimat süreçlerinde %15'e varan iyileştirme sağlanabilir.

Dijital rota optimizasyonu, müşteri memnuniyetini artırırken yakıt tüketimini ve çevresel etkiyi de azaltarak sürdürülebilir lojistik uygulamalarına katkı sağlamaktadır (Atalay ve Çelik, 2017; Çolakoğlu, 2020).

*Araç ve Ekipman Yönetimi*: Lojistik süreçlerin etkinliği, araçların ve ekipmanların durumu ile doğrudan ilişkilidir. Önleyici bakım stratejileri ve akıllı takip sistemleri sayesinde operasyonel kesintiler en aza indirilebilecektir.

- *IoT ve Sensör Teknolojileri*: Araçlardaki sensörler, lastik basıncı, motor sıcaklığı gibi kritik bileşenleri izleyerek bakım ihtiyaçlarını öngörebilir.
- *Büyük Veri Analitiği ile Arıza Tahmini*: Geçmiş bakım kayıtlarını analiz ederek potansiyel arıza risklerini öngörmek.
- *Blokzincir Tabanlı Takip Sistemleri*: Yedek parça tedarik zincirini optimize ederek araç bakım süreçlerini hızlandırmak.

Örneğin, Predictive Maintenance algoritmaları uygulayan lojistik firmaları, bakım maliyetlerinde %20'ye varan düşüşler elde etmiştir. Bu sayede lojistik şirketleri, araçların kullanım ömrünü uzatarak operasyonel sürekliliği artırmaktadır (Pusat Lojistik, 2024; Sevinç ve diğerleri, 2022).

*Operasyonel Planlama ve Tedarik Zinciri Yönetimi*: Operasyonel verimliliği artırmak için ileri planlama teknikleri ve simülasyon modelleri kullanılmalıdır.

- *Talep Tahmini İçin Makine Öğrenmesi*: Geçmiş sipariş verileri ve piyasa trendlerine dayalı tahminleme sistemleri.
- *Otomatik Depo Yönetim Sistemleri (WMS)*: Depo içi envanter hareketlerini optimize ederek sipariş hazırlama sürelerini %30 oranında azaltabilir.
- *Blokzincir Tabanlı Şeffaf Tedarik Zinciri*: Malzeme hareketlerini gerçek zamanlı izleyerek süreç güvenliğini artırmak.

Lojistik firmaları için esnek ve dayanıklı tedarik zincirleri oluşturmak, kriz anlarında operasyonel aksaklıkları en aza indirerek rekabet avantajı sağlamaktadır (Çakaloz, 2008; Sevinç ve diğerleri, 2022).

*Bilgi Akışı ve Dijital Dönüşüm*: Etkili lojistik yönetimi için bilgi akışının hızlandırılması ve sistemlerin entegrasyonu kritik önem taşımaktadır.

- *Bulut Tabanlı ERP ve CRM Sistemleri*: Sipariş yönetimi, müşteri ilişkileri ve stok kontrol süreçlerini entegre ederek veri paylaşımını hızlandırır.
- *Nesnelerin İnterneti (IoT) ile Gerçek Zamanlı Takip*: Araçların ve depo stoklarının gerçek zamanlı olarak izlenmesi.
- *Yapay Zekâ Destekli Karar Destek Sistemleri*: Lojistik yöneticilerine operasyonel kararlar konusunda öneriler sunarak hatalı karar alma riskini azaltır.

Bu tür sistemlerin uygulanmasıyla lojistik süreçlerde hata oranlarında %25'e kadar düşüş sağlanabilmektedir (Bayraktutan ve Özbilgin, 2015; Sevinç ve diğerleri, 2022). Ayrıca, veri odaklı süreç yönetimi sayesinde şirketler, daha esnek ve müşteri odaklı hizmetler sunabileceklerdir.

*Çevresel Faktörler ve Sürdürülebilir Lojistik*: Çevresel sürdürülebilirlik, lojistik süreçlerde giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Yeşil lojistik uygulamaları sayesinde karbon ayak izi azaltılabilirken operasyonel verimlilik artırılabilir.

- *Elektrikli ve Hibrit Araç Kullanımı*: Fosil yakıt tüketimini azaltarak uzun vadeli maliyetleri düşürme.
- *Karbon Ayak İzi Hesaplama Modelleri*: Taşıma süreçlerinde emisyonları azaltmaya yönelik analizler.
- *Dijital Dokümantasyon ve Kağıtsız Operasyonlar*: Evrak süreçlerini dijitalleştirerek sürdürülebilirliğe katkı sağlama.

Nitekim yazındaki çalışmalar (Matek Çevre, 2024, Hiper Lojistik, 2024; Devkas, 2023) sürdürülebilir lojistik uygulamalarıyla operasyonel maliyetlerde %10-15 oranında azalma sağlanabilmektedir. Ayrıca, çevre dostu lojistik süreçleri, şirketlerin kurumsal sosyal sorumluluk projeleri kapsamında marka değerlerini artırmalarına da yardımcı olmaktadır.

**Sonuç ve Genel Değerlendirme:** Lojistik süreçlerin iyileştirilmesi için ileri teknoloji ve veri analitiği tabanlı yaklaşımlar benimsenmelidir. Yapay zekâ, büyük veri, IoT, blokzincir ve makine öğrenmesi gibi dijital dönüşüm araçları sayesinde lojistik operasyonlarında hız, maliyet, güvenlik ve sürdürülebilirlik gibi temel unsurlar optimize edilebilecektir. Önerilen yöntemlerin uygulanmasıyla;

- Teslimat sürelerinde %15-30 iyileşme,
- Bakım maliyetlerinde %20 azalma,
- Depo operasyonlarında %30 verimlilik artışı,
- Hata oranlarında %25 düşüş sağlanabilir.

Bu bağlamda, lojistik sektöründe faaliyet gösteren şirketlerin ve yöneticilerin, dijital dönüşüm ve veri analitiği tabanlı çözümlere yatırım yaparak süreçlerini sürekli olarak iyileştirmeleri büyük önem taşımaktadır. Gelecekte rekabet avantajı elde etmek isteyen firmalar, teknoloji destekli lojistik stratejilerine öncelik vermelidir.

#### 4.3. Genel Değerlendirme ve Gelecek Çalışmalar

Bu çalışma, lojistik sektöründe teslimat sürelerinde ortaya çıkan sapmaların nedenlerini sistematik bir şekilde ortaya koyarak, bu sapmaların azaltılmasına yönelik önemli iyileştirme önerileri geliştirmiştir. POBREP yöntemi, lojistik süreçlerdeki karmaşık hata desenlerinin tanımlanması ve analizinde etkin bir araç olarak kullanılmıştır. Elde edilen bulgular, teslimat sürelerinde sapmalara yol açan başlıca faktörlerin; trafik yoğunluğu, güzergâh zorlukları, araç durumu, operasyonel planlama eksiklikleri ile bilgi akışındaki aksaklıklar olduğunu ortaya koymuştur. Bununla birlikte, çalışmada kullanılan veri seti İstanbul ilinde faaliyet gösteren tek bir lojistik firmaya ait olup, bu durum bulguların genellenebilirliği açısından bir sınırlılık teşkil etmektedir. Gelecek araştırmalarda, farklı coğrafi bölgeler ve çeşitli lojistik firmaları üzerinde POBREP yöntemiyle yapılacak benzer analizlerin, sonuçların geçerliliğini artırarak literatüre önemli katkılar sunması beklenmektedir. Ayrıca, lojistik süreçlere yapay zekâ ve makine öğrenmesi gibi ileri düzey teknolojilerin entegrasyonu, teslimat sürelerindeki sapmaların daha hassas tahmin edilmesine ve etkili yönetimine imkân sağlayacaktır.

Sonuç olarak, teslimat süreçlerindeki sapmaların kontrol altına alınması, lojistik firmalarının operasyonel verimliliklerini artırarak maliyetlerini azaltmalarına ve müşteri memnuniyetini artırmalarına önemli katkılar sunacaktır. Bu bağlamda, çalışmada tanımlanan iyileştirme stratejilerinin etkin bir biçimde uygulanması, lojistik sektöründe sürdürülebilir rekabet avantajının elde edilmesinde belirleyici olacaktır. Dolayısıyla, bu araştırmanın lojistik süreçlerin optimize edilmesine yönelik literatürdeki boşluğu doldurması ve gelecekte yapılacak çalışmalara ışık tutması beklenmektedir.

#### Yazar Katkıları /Author Contributions

**Kenan Orçanlı:** Literatür taraması, Kavramsallaştırma, Metodoloji, Veri Derleme, Analiz, Makale Yazımı-  
orijinal taslak **İlkay Erarslan:** Modelleme, Makale Yazımı-inceleme ve düzenleme, **Hasan Boztoprak:** Veri  
Derleme, Analiz, Makale Yazımı-orijinal taslak

**Kenan Orçanlı:** Literature review, Conceptualization, Methodology, Data Curation, Analysis, Writing-  
original draft **İlkay Erarslan:** Modelling, Writing-review and editing, **Hasan Boztoprak:** 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.*

#### 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.*

## KAYNAKÇA

- Acar, A.Z. (2020). "Lojistik Yönetimi", Anadolu Üniversitesi Yayınları, Eskişehir.
- Acar, A.Z. ve Köseoğlu, A. M. (2014). "Lojistik Yaklaşımıyla Tedarik Zinciri Yönetimi", Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara.
- Atalay, M. ve Çelik, E. (2017). Büyük Veri Analizinde Yapay Zekâ ve makine Öğrenmesi Uygulamalar", *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 9(22), 155-172.
- Barton, R.R. ve Gonzalez-Barreto, D.R. (1996). "Process Oriented Basis Representations for Multivariate Process Diagnostics", *Quality Engineering*, 9, 107-118.
- Barton, R.R. ve Gonzalez-Barreto, D.R. (1999). "Process-Oriented Basis Representations: Linking Manufacturing Process Design and Diagnosis", *Proceedings of the European Conference on Concurrent Engineering*, 9, 109-114.
- Bayraktutan, Y. ve Özbilgin, M. (2015). "Uluslararası ve Yurtiçi Ticarete Taşıma Türlerinin Payı: Bir Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) Uygulaması", *Çankırı Karatekin Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 6(2), 405-436.
- Bayram, M., Şahin, H. ve Topal, B. (2023), "Tedarik Esnekliği, Teslimat Esnekliği, Planlama Süreci ve Tedarik Süreci Arasındaki Doğrudan ve Dolaylı İlişkilerin İncelenmesi", *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, 5(2), 338-348. <https://doi.org/10.46387/bjesr.1335992>
- Birgören, B. (1998). "Multivariate Statistical Process Control for Quality Diagnostics and Applications to Process Oriented Basis Representations", Doktora Tezi, PennState University, Pennsylvania.
- Birgören, B. (2009). "Diagnosing Quality Problems on A Complex CNC Machine via Process-Oriented Basis Representations", *International Journal of Engineering, Research and Development*, 12, 34-47.
- Buran, A.Ç. ve Ağca, A. (2018). "Tedarik Zinciri Risklerinin Tedarik Zinciri Performansı Üzerinde Etkisi: Üretim İşletmelerinde Bir Araştırma", *Paradoks Ekonomi Sosyoloji ve Politika Dergisi*, 14(2), 1-18.
- Christopher, M. (2016). "Logistics & Supply Chain Management", Pearson, London.
- Colón, E. (1997). "Component Registration Diagnosis for Printed Circuit Boards Using Process-Oriented Basis Elements", *Computers & Industrial Engineering*, 33, 389-392. [https://doi.org/10.1016/S0360-8352\(97\)00119-8](https://doi.org/10.1016/S0360-8352(97)00119-8)
- Çakaloz, B. (2008). "Lojistik Yönetiminde Simülasyon Temelli Eğitim Yaklaşımları", Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir
- Çolakoğlu, A. A. (2020). "Makine Öğrenmesi Algoritmaları ile Avrupa Havalimanları Analizi, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Çotur, Ö.K. (2017). "İnşaat Tedarik Zincirleri ve İnşaat Lojistiği Üzerine Nitel Bir Araştırma", *Business & Management Studies: An International Journal*, 5(2), 423-447.
- Devkas (2023). <https://www.devkas.com/>, (Erişim Tarihi:12.10.2024)
- Dilek, Ş. ve İncaz, S. (2021), "Küreselleşme Sürecinde Teknolojik Dönüşümün Lojistik Sektörüne Etkileri", *Beykoz Akademi Dergisi*, 9(2), 30-49. <https://doi.org/10.14514/BYK.m.26515393.2021.9/2.30-49>
- Emirkadı, Ö. ve Balcı, H. (2018). "Lojistik Sektörü ve Türkiye Dış Ticaretine Etkileri", *Journal of Institute of Economic Development and Social Researches*, 4(8), 123-132.
- Foster, E.J., Barton, R.R., Gautam, N, Truss, L.T. ve Tew, J.D. (2005). "The Process Oriented Multivariate Capability Index", *International Journal of Production Research*, 43, 2135-2148.
- Gedikli, T. ve Çayır Ervural, B. (2022). "En Uygun Tersine Lojistik Hizmet Sağlayıcısının Bulanık Grup Karar Verme Yaklaşımı Altında Belirlenmesi", *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 34(1), 50-64. <https://doi.org/10.7240/jeeps.929885>
- Hiper Lojistik (2024). <https://www.hiperlojistik.com/>, (Erişim Tarihi:15.10.2024)
- Kayabaşı, A. (2010). "Elektronik (Online) Alışverişte Lojistik Faaliyetlere Yönelik Müşteri Şikayetlerinin Analizi ve Bir Alan Araştırması", *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 2(2), 21-42.
- Matek Çevre (2024). <https://matekcevre.com.tr/>, (Erişim Tarihi: 25.08.2024)
- Orçanlı, K. (2017). "Çok Değişkenli Kalite Kontrol Grafikleri ve Yapay Sinir Ağları Yöntemiyle Döküm Sanayinde Bir İstatistiksel Süreç Kontrolü Uygulaması", Yayımlanmamış Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Erzurum.
- Orçanlı, K. (2021). "A Statistical Process Control with Process Oriented Basis Representation in Casting Industry", *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 9(1), 134-158.
- Orçanlı, K., Oktay, E. ve Birgören, B. (2017). "The Effects of Covariance Over the Residuals of Process Oriented Basis Representation in Mulivariate Quality Control", *Social Sciences Research Journal*, 6(2), 20-40.

- Özcan, S. (2014). "Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmelerde Lojistik Yönetiminin Önemi", *Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 5(10), 275-300.
- Öztürk, Z.K., Güngör, K. ve Lepki, B. (2016). "Lojistik Sektöründe Çok Amaçlı Kapı Atama Problemleri İçin Bir Karar Destek Sistemi", *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 4(1), 21-29.
- Padilla, V.O. (2005), "Process Oriented Basis Estimation in Presence of Non-Orthogonal Basis Elements", Yüksek Lisans Tezi, University of Puerto Rico, Puerto Rico.
- Pusat Lojistik (2024). <https://pusatlojistik.com/>, (Erişim Tarihi: 15.10.2024)
- Runger, G.C., Barton, R.R., del Castillo, E. ve Woodall, W.H. (2007). "Optimal Monitoring of Multivariate Data for Fault Patterns", *Journal of Quality Technology*, 39(2), 159-172.
- Schmitt, A.J., Marcus, A. ve Barton, R. (2002). "Benefit Analysis of Process-Oriented Basis Representation As A Method Of Multivariate Statistical Process Control". IIE 2002 Conference Proceedings.
- Sevinç, H.K., Karakaş, İ.R. ve İbrahim, H. (2022). "Konumsal Büyük Veri: Özellikleri ve Avantajları", *VIII. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS 2022)*, 17-19 Kasım 2022, Ankara.
- Tang, O. ve Musa, S.N. (2011). "Identifying Risk Issues and Research Advancements in Supply Chain Risk Management", *International Journal of Production Economics*, 133(1), 25-34.
- Yaprak, H. (2024). "Lojistik Performans Ölçütleri ve 2007-2023 Yılları Arasında Türkiye'nin Performansı", *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 14(2), 19-35. <https://doi.org/10.47147/ksuiibf.1539599>

## Adoption of Industry 4.0 in Developing Countries: Scale Development and Empirical Validation

Sayıl Saçak Düzgün<sup>1</sup> , Üstün Özen<sup>2</sup> , Derya Fındık<sup>3</sup> 

### ABSTRACT

**Purpose:** The primary aim of this study is to develop a valid and reliable scale for measuring the factors influencing the adoption of Industry 4.0 technologies in developing countries. By identifying these factors, the study seeks to provide a comprehensive understanding of how developing economies can more effectively manage their transition processes towards Industry 4.0.

**Methodology:** A systematic scale development process was followed in the study. In the initial phase, scale items were generated based on a comprehensive literature review and expert opinions. Subsequently, preliminary tests and pilot applications were conducted to assess the face validity of the scale. In the final phase, survey data collected from a large sample were analyzed using exploratory factor analysis (EFA) and confirmatory factor analysis (CFA) to evaluate the construct validity properties of the scale.

**Findings:** The analysis revealed that the factors influencing the adoption of Industry 4.0 could be categorized into eight distinct dimensions. The developed scale demonstrated high validity and reliability, and its factor structure was confirmed to be robust.

**Originality:** This study represents one of the first systematically developed scales to measure the factors influencing Industry 4.0 adoption in developing countries. Given that the literature on scale development is largely confined to developed nations or specific sectors, this research fills a significant gap within the context of developing countries.

**Keywords:** Industry 4.0, Developing Countries, Scale Development, Digital Transformation, Factor Analysis.

**JEL Codes:** L6, M11, M15, O3.

## Endüstri 4.0'ın Gelişmekte Olan Ülkelerde Benimsenmesi: Ölçek Geliştirme ve Ampirik Doğrulama

### ÖZET

**Amaç:** Bu çalışmanın temel amacı, gelişmekte olan ülkelerde Endüstri 4.0 teknolojilerinin benimsenmesini etkileyen faktörleri ölçmek üzere geçerli ve güvenilir bir ölçek geliştirmektir. Söz konusu faktörlerin tespit edilmesiyle, gelişmekte olan ekonomilerin Endüstri 4.0'a yönelik geçiş süreçlerini daha etkin bir şekilde nasıl yönetebileceklerine dair kapsamlı bir anlayış sunulması hedeflenmektedir.

**Yöntem:** Çalışmada sistematik bir ölçek geliştirme süreci izlenmiştir. İlk aşamada, kapsamlı bir literatür taraması ve uzman görüşleri doğrultusunda ölçek maddeleri oluşturulmuştur. Ardından, ön test ve pilot uygulamalar gerçekleştirilerek ölçeğin görünüş geçerliliği değerlendirilmiştir. Son aşamada, geniş bir katılımcı kitlesine uygulanan anket verileri açımlayıcı faktör analizi (AFA) ve doğrulayıcı faktör analizi (DFA) ile incelenerek ölçeğin yapı geçerliliği özellikleri test edilmiştir.

**Bulgular:** Analizler sonucunda, Endüstri 4.0'ın benimsenmesini etkileyen faktörlerin sekiz farklı boyuta ayrıldığı belirlenmiştir. Geliştirilen ölçeğin geçerlilik ve güvenilirlik değerleri yüksek bulunmuş ve faktör yapısının güçlü olduğu doğrulanmıştır.

**Özgünlük:** Bu çalışma, gelişmekte olan ülkelerde Endüstri 4.0'ın benimsenmesini etkileyen faktörleri ölçen ilk sistematik ölçeklerden biridir. Gelişmiş ülkeler veya belirli sektörlerle sınırlı alan yazın göz önüne alındığında, bu araştırma gelişmekte olan ülkeler bağlamında önemli bir boşluğu doldurmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Endüstri 4.0, Gelişmekte Olan Ülkeler, Ölçek Geliştirme, Dijital Dönüşüm, Faktör Analizi.

**JEL Kodları:** L6, M11, M15, O3.

<sup>1</sup> Atatürk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, Erzurum, Türkiye,

<sup>2</sup> Atatürk Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, Erzurum, Türkiye

<sup>3</sup> Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, Ankara, Türkiye

Corresponding Author: Sayıl Saçak Düzgün, sayil@atauni.edu.tr

DOI: 10.51551/verimlilik.1647544

Research Article | Submitted: 26.02.2025 | Accepted: 23.06.2025

Atıf/Cite: Saçak Düzgün, S., Özen, Ü. and Fındık, D. (2025). "Adoption of Industry 4.0 in Developing Countries: Scale Development and Empirical Validation", *Verimlilik Dergisi*, 59(3), 682-700.

## 1. INTRODUCTION

Industry 4.0 represents the digital transformation of manufacturing processes and is considered an industrial revolution driven by advanced technologies such as artificial intelligence, big data analytics, the Internet of Things (IoT), cloud computing, and cyber-physical systems (Pattanapairoj et al., 2021; Bonekamp and Sure, 2015; Lasi et al., 2014). Industry 4.0 transformation enables the establishment of smart factories through innovative technologies such as smart logistics, integrated decision-making mechanisms, advanced sensors, and big data analytics (Kang et al., 2016; Lee, 2015; Wang et al., 2016). The primary objective of Industry 4.0 is to enhance flexibility, efficiency, and competitiveness in manufacturing processes. Advanced economies which are ready for this transformation have swiftly embraced this transformation, strengthening their global competitive advantage (Aygün and Satı, 2022; Sarvari et al., 2018). However, for developing countries, this transformation process presents numerous challenges.

The adoption of Industry 4.0 in developing countries faces several obstacles, including infrastructure deficiencies, the need for a skilled workforce, investment costs, and technological adaptation (Aygün and Satı, 2022; Horváth and Szabó, 2019). While large-scale firms lead the transformation, the cost-benefit analysis of this process is critical, especially for small and medium-sized enterprises (SMEs) (Jovanovski et al., 2019).

The adoption of Industry 4.0 in developing countries is closely linked not only to economic factors but also to workforce transformation and social change. Digitalization automates traditional manufacturing processes, necessitating the acquisition of new skills by employees. This situation requires workforce retraining and the enhancement of digital competencies (Pessl et al., 2017). Moreover, for developing countries, defining digitalization strategies, restructuring industrial policies, and increasing international competitiveness have become significant issues (Slusarczyk et al., 2021; Grabowska, 2018).

This study aims to develop a valid and reliable scale to measure the factors influencing the adoption of Industry 4.0 in developing countries. Existing literature primarily focuses on developed economies, and comprehensive scale studies evaluating the adaptation of developing countries to Industry 4.0 are quite limited (Aygün and Satı, 2022; Horváth and Szabó, 2019). Therefore, this study will identify the key determinants of Industry 4.0 adoption in developing countries and create a scale suitable for measuring these factors. By obtaining more robust data in critical areas such as industrial policies, business strategies, and workforce transformation, this study aims to provide decision-makers with a useful tool for policy and strategy formulation.

Measurement can be defined as the assignment of numbers to objects (Aygün and Satı, 2022; Wu et al., 2016). In social sciences, scale development is an essential method used to systematically measure individuals' attitudes, beliefs, and behaviors (DeVellis, 2012). Developing reliable and valid scales is crucial for collecting accurate data and making sound inferences in social sciences. Additionally, measurement studies prevent research from remaining purely theoretical by elevating it to an empirical level (Hays, 1973). Such scale development efforts bring social sciences closer to natural sciences (Greer, 1989). By quantifying qualitative findings, scale development plays a significant role in concretizing abstract concepts (DeVellis and Thorpe, 2021; DeVellis, 2012).

Several scale development studies related to Industry 4.0 exist in the literature. Ghlolami et al. (2025) developed a multi-item scale to measure Green Lean Six Sigma applications in the Industry 4.0 era. Sözbilir (2021) designed a scale to assess employees' adaptation potential to Industry 4.0. Mishra et al. (2024) conducted a scale development study to evaluate digitalization practices in supply chains. Pinto et al. (2025) focused on collaborative robots and validated a scale designed to measure acceptance in the context of human-robot interaction (HRI). Özkanlısoy & Bulutlar (2022) developed a measurement tool for assessing supply chain management practices in the field of disruptive technology. Leichtmann et al. (2023) designed material to measure employees' attitudes toward mobile production robots working in collaboration with humans. Şimşek Demirbağ (2021) examined the current state of Industry 4.0 in the literature, identify research trends and gaps through thematic analysis, and assess the Industry 4.0 maturity levels, current practices, advantages, and challenges faced by both main and subcontractor companies in Türkiye's white goods industry. While all these studies are connected to Industry 4.0, none specifically address the factors influencing its adoption in developing countries.

Without a reliable and well-validated scale, it becomes challenging to adequately assess the adoption of Industry 4.0 technologies in developing countries, compare the digitalization levels of different industrial sectors, and understand the impact of Industry 4.0 applications on performance. Our study aims to fill this critical gap in literature.

The research questions that this study seeks to address are as follows:

RQ1: What are the subdimensions affecting the adoption of Industry 4.0 in developing countries?

RQ2: How can we measure the different dimensions influencing the adoption of Industry 4.0 in developing countries?

RQ3: How can a valid and reliable scale be developed to measure the factors influencing the adoption of Industry 4.0 in developing countries?

Therefore, this study aims to identify the subdimensions affecting the adoption of Industry 4.0 in developing countries and develop a valid and reliable scale to measure these dimensions.

The subsequent sections of this study are structured as follows: The literature review section provides the requisite theoretical and empirical background; the methodology section delineates the research design and analytical procedures; the findings section present the empirical results derived from the data analysis; and finally, the conclusion synthesizes the study's key contributions, implications, and limitations.

## **2. LITERATURE REVIEW**

Industry 4.0 refers to intelligent production systems integrated with information technologies, placing digitalization at the center of manufacturing processes (Yin et al., 2017; Reischauer, 2018; Baio Junior and Carrer, 2022). Today, this transformation enhances the efficient use of production factors, helping businesses gain a competitive advantage in terms of flexibility, speed, and quality (Dalenogare et al., 2018). Industry 4.0 transforms traditional manufacturing methods through integrated technologies. The key components of this transformation include:

### **2.1. Cyber-Physical Systems (CPS)**

CPS synchronizes physical production processes with digital networks, enabling real-time control and digital modeling of machines and production equipment (Zezulka et al., 2016; Baio Junior and Carrer, 2022). CPS is indispensable for transitioning to Industry 4.0, integrating information technologies with physical operations (Lu, 2017; Wang and Wang, 2016; Duman and Akdemir, 2021). By enabling real-time decision-making, CPS reduces resource consumption, increases efficiency, and supports sustainability (Prinz et al., 2016). These systems enhance automation rates, improve monitoring, and optimize business processes (Dey et al., 2018; Baio Junior and Carrer, 2022).

### **2.2. Internet of Things (IoT)**

IoT enables machines and sensors in factories to share data over the internet, making production processes more autonomous and efficient (Wang et al., 2016). For example, IoT sensors in smart factories optimize energy consumption, supporting sustainable production systems (Lu, 2017; Duman and Akdemir, 2021). IoT has broad applications in service industries (Rha and Lee, 2022), and studies highlight the importance of network architectures in healthcare services (Dhanvijay and Patil, 2019; Pandya and Kumar, 2023). Ghosh et al. (2016) propose an IoT-based system for remote patient monitoring, improving healthcare services. IoT enhances interoperability, security, and operational efficiency by connecting objects through unique identities and network protocols (Greengard, 2017; Xu et al., 2014). Additionally, IoT reduces carbon emissions, increases energy efficiency, and facilitates resource sharing (Atzori et al., 2017; Çevik Onar and Ustundag, 2018).

### **2.3. Big Data and Analytics**

Analyzing data from production processes enhances decision-making mechanisms and reduces error rates (Raguseo, 2018). Predictive maintenance algorithms, for instance, minimize failure risks in production facilities, increasing operational efficiency (Dalenogare et al., 2018). Big Data and Analytics (BDA) techniques, such as text mining and analytics, help firms extract meaningful insights from customer data. Studies by Schaeffer et al. (2014) and Donnelly et al. (2015: 422–442) emphasize that BDA enables SMEs to derive value from collected data. Another critical application of BDA is detecting fraudulent activities in online banking. Wongchinsri and Kuratach (2016) provide a detailed framework for using BDA techniques to detect credit card fraud. Thus, BDA significantly enhances the sustainability of SMEs in the service sector. Moreover, big data technologies transform large and complex datasets into valuable insights, offering businesses real-time analytics and competitive advantages (Banger, 2017; Santos et al., 2017). The integration of cloud computing further strengthens big data applications by providing scalable, cost-effective, and efficient data management solutions (Basl, 2016).

### **2.4. Cloud Computing**

Storing, analyzing, and sharing production data on cloud-based platforms enhances businesses' remote management capabilities (Frank et al., 2019; Baio Junior and Carrer, 2022). This allows production processes to be synchronized across geographically dispersed facilities (Bag et al., 2021). Cloud

Computing (CC) enables high-speed data access remotely and is increasingly adopted in the service sector due to its scalability, mobility, and security advantages (Riazul Islam et al., 2015; Pandya and Kumar, 2023). In the healthcare sector, CC facilitates efficient information dissemination and reduces medical record errors.

## 2.5. 3D Printing

3D printing transforms digital 3D data into physical objects, reducing production costs and providing a competitive advantage (Onday, 2017; Duman and Akdemir, 2021). It lowers costs for small-scale production and allows for on-demand manufacturing of spare parts, enhancing production flexibility (Dopico et al., 2016). Additionally, it accelerates prototyping and testing, facilitating product development (Popovich et al., 2017). By enabling customized mass production, 3D printing shortens production times, reduces costs, and fosters innovation while promoting eco-friendly manufacturing processes (Schwab, 2016). Widely used in healthcare, education, industry, and services, 3D printing plays a crucial role in business sustainability within Industry 4.0.

## 2.6. Robotics Applications

Advancements in robotics have enabled machines to provide services. The COVID-19 pandemic accelerated the adoption of robotic solutions in hospitality and healthcare, reducing frontline workloads and minimizing infection risks (Belanche et al., 2020). Humanoid robots enhance customer satisfaction and comfort (Becker et al., 2022). Additionally, robots lower labor costs, increase efficiency, and improve workplace safety (Gorçun, 2017; Salkın et al., 2018; Duman and Akdemir, 2021). Their integration allows businesses to operate independently, improving operational efficiency under challenging conditions (Banger, 2017; Richert et al., 2016).

## 2.7. Augmented Reality (AR) & Virtual Reality (VR)

AR and VR technologies, used in industrial training, maintenance, and remote support systems, enhance workers' technical skills and improve production efficiency (Tortorella et al., 2020). AR integrates virtual and physical environments, improving interactions and training experiences (Vaidya et al., 2018). In education, AR is used for pilot training (Schaffernak et al., 2020), while in tourism and hospitality, it enhances customer engagement (Flavián et al., 2021). Furthermore, AR improves product design, reduces costs, and shortens development cycles (Mourtzis et al., 2020).

## 2.8. Artificial Intelligence (AI)

The use of AI-powered systems in production lines accelerates defect detection in quality control processes and enhances robotic automation systems (Bag et al., 2020). AI-driven automated quality control systems detect defects that are difficult for the human eye to identify, reducing error rates (Büchi et al., 2020). AI enables precise diagnostics and intelligent decision-making, transforming industries such as healthcare, banking, and e-commerce (Flavián and Casaló, 2021; Giger, 2018). AI-powered smart medical devices monitor and regulate health metrics (Metcalf et al., 2016; Pandya and Kumar, 2023). AI-based automation boosts efficiency across industries, supporting sustainability.

## 2.9. Industry 4.0 Technologies and Productivity

Industry 4.0 technologies have both direct and indirect impacts on productivity. Smart manufacturing systems reduce error rates, optimize processes, and shorten production times. Research suggests that Industry 4.0 applications can increase factory productivity and reduce production costs (Baur and Wee, 2015).

The most frequently mentioned benefit of Industry 4.0 in the literature is increased productivity (Saçak Düzgün et al., 2024). Industry 4.0 also enhances workforce productivity. AI-powered robots collaborate with human workers, handling repetitive tasks while employees focus on high-value activities (Horváth and Szabó, 2019). Additionally, smart supply chain management reduces inventory costs and optimizes logistics processes (Bag et al., 2020).

## 3. METHODOLOGY

The primary aim of this study is to develop a measurement tool that assesses the impact of factors influencing digital transformation on the adoption of Industry 4.0 in developing countries. This tool is designed to be applicable across multiple developing nations, independent of country-specific conditions.

To develop a scale, Carpenter (2018) proposed a ten-step scale development method. The first step involves reviewing the theoretical background and establishing the conceptual framework. Next, the sampling method and sample size must be determined. Ensuring the quality of collected data is also essential. Following this, a statistical evaluation should be conducted to determine whether factor analysis

can be performed on the dataset. Once this is confirmed, factor analysis is carried out, requiring decisions on the factor extraction method and the number of factors to be retained. Additionally, the appropriate rotation method must be selected. The scale items should then be evaluated based on predefined criteria, and finally, the results must be reported.

Boateng et al. (2018) proposed an alternative nine-step scale development methodology. According to this approach, the first step is defining the research domain and generating scale items. The next step is ensuring content validity. This is followed by a pre-testing phase for the survey items. Once these steps are completed, the study moves on to sampling and survey administration. The subsequent stages involve item reduction and factor extraction. Next, dimensionality tests are conducted, followed by reliability testing. Finally, the validity of the scale is assessed. In this study, the scale was developed through six main steps, as illustrated in Figure 1.

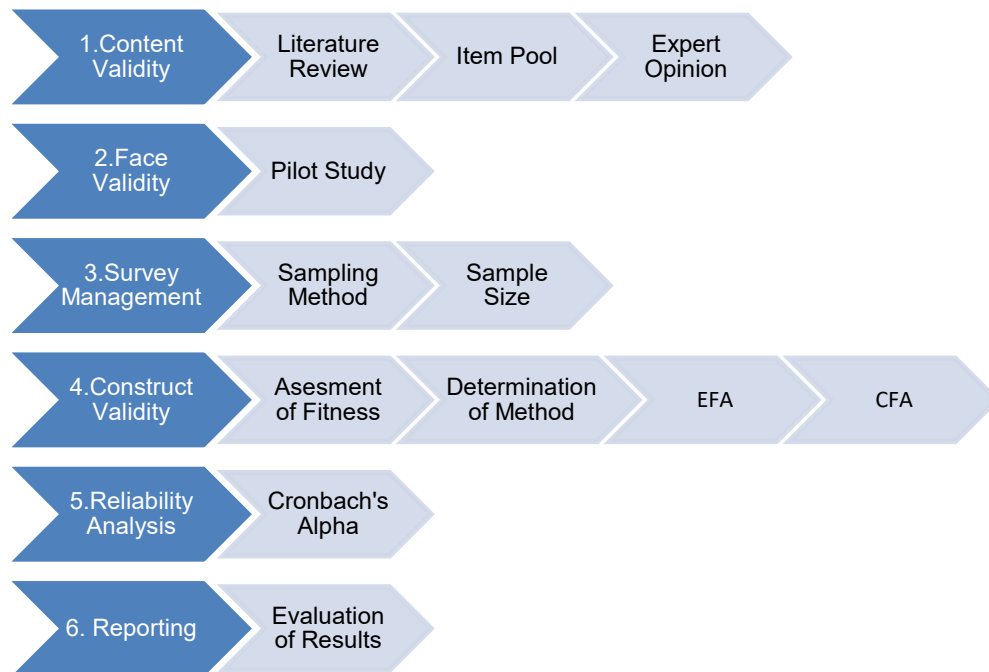


**Figure 1. Scale development methodology applied in the study**

This study represents one of the first systematically developed scales to measure the factors influencing Industry 4.0 adoption in developing countries. Given that the literature on scale development is largely confined to developed nations or specific sectors, this research fills a significant gap within the context of developing countries.

## 4. FINDINGS

### 4.1. Ensuring Content Validity

As observed in similar studies, the first step in a scale development study is to define the scope and establish the conceptual framework. The most appropriate method for this purpose is a systematic literature review (Mishra et al., 2024; Özkanlısoy and Bulutlar, 2022). In this study, the systematic literature review was conducted following internationally recognized methodological steps in academic research.

In the initial phase of the literature review, known as the planning stage, search queries were defined, and screening criteria were established. In this context, the term "Industry 4.0" was used as a keyword, along with the names of countries classified as developing economies by the International Monetary Fund (IMF, 2021), including Argentina, Brazil, Chile, China, Colombia, Egypt, Hungary, India, Indonesia, Iran, Malaysia, Mexico, the Philippines, Poland, Russia, Saudi Arabia, South Africa, Thailand, Turkey, and the United Arab Emirates. Separate queries were conducted for each country. The scope of the search was set to begin from 2011, the year the concept of Industry 4.0 was introduced, and only academic journal articles written in English were included. The academic databases Scopus and Web of Science, which are widely recognized in the literature, were chosen for the study.

The implementation phase of the systematic literature review was carried out in March and April 2023. Initially, searches were conducted in the Scopus database, where country names were queried in the title, keywords, and abstract sections of the articles. The term "Industry 4.0" was searched only in the keywords

and abstract sections. A similar search strategy was applied in the Web of Science database, and the retrieved publications were recorded.

In the final evaluation stage of the retrieved articles, duplicate records were removed by identifying publications that appeared in both databases and those returned in multiple country queries. Next, the abstracts of the articles were reviewed, and publications that did not meet the following criteria were excluded:

- Articles published in languages other than English,
- Articles focusing solely on a specific disruptive technology rather than the general concept of Industry 4.0,
- Technically focused articles,
- Publications not centered on Industry 4.0,
- Studies that did not examine developing countries,
- Articles containing only bibliometric analysis,
- Publications retracted by the authors.

Finally, the included articles were analyzed in detail using the document analysis method, and factors influencing the adoption of Industry 4.0 in developing countries were identified based on the conceptual framework. A 44-item item pool was then created in alignment with this framework.

To confirm the alignment of the prepared item pool with the study's objectives, it was shared with three professors and one associate professor specializing in both industry and academia, as well as a business owner with expertise in survey research. Based on expert opinions, the number of items was reduced to 41. Through this process, content validity for the scale was ensured.

At the end of this phase results of revealed 10 distinct constructs namely "Perceived Technological Usefulness in Achieving Sustainability", "Perceived Technological Usefulness in Achieving a Circular Economy", "Perceived Technological Usefulness in Supply Chain Performance", "Readiness", "Innovation", "Awareness", "Quality Management", "Education System", "Competencies", "Plan, Policy, and Strategy Studies".

#### 4.2. Establishing Face Validity

Before the large-scale administration of the survey, a pilot study was conducted with 61 participants to assess the adequacy of the scale (Isaac and Michael, 1995; Hertzog, 2008; Johanson and Brooks, 2010; Chahal et al., 2018). The pilot study employed a five-point Likert scale consisting of items deemed appropriate in the previous phase. The scale ranged from 1 (strongly disagree) to 5 (strongly agree). The five-point Likert scale has been frequently preferred in similar studies in the literature (Sözbilir, 2021: 704-721; Gholami et al., 2025: 179-202). Participants were asked to provide feedback on the clarity of the included items, the appropriateness of their order and length, and the adequacy and meaningfulness of the response options.

Although some participants expressed negative feedback regarding the measurement adequacy of items related to quality management and maturity/readiness levels, these items were not removed from the survey as they did not compromise its face validity. The reliability coefficient calculated from the 61 responses obtained in the pilot study was 0.954. At this stage, face validity was confirmed, and the survey was deemed suitable for the data collection process.

#### 4.3. Survey Implementation

After finalizing the survey form, an online survey was conducted to collect data from relevant sectors to test the validity of the scale. Before implementation, approval for the study was obtained from the Ethics Committee of Atatürk University.

The study participants were employees working in firms operating in the manufacturing and industry, information technology, energy and infrastructure, healthcare and medical technology, logistics and transportation, and finance and banking sectors in Turkey. Participants were selected using purposive sampling and convenience sampling methods.

Purposive sampling is a method that involves the deliberate selection of participants most relevant to the research topic and objectives. This approach is widely used in qualitative research and allows researchers to select individuals or groups that best represent a particular phenomenon (Patton, 2002). Convenience sampling, on the other hand, involves selecting participants who are most easily accessible to the researcher. This method was preferred due to its advantages in terms of time and cost (Etikan et al., 2016). The target participants included white-collar employees in decision-making positions and those directly influencing the technical aspects of the transition to Industry 4.0, such as senior executives (CEOs, general

managers, directors), mid-level managers (department heads, branch managers, team leaders), specialists/engineers (technical experts, project managers, consultants), and operational-level employees (technicians, operators, analysts). The study aimed to assess factors influencing the adoption of Industry 4.0 technologies. Therefore, gathering the perspectives of decision-makers, experts, engineers, and operational employees was deemed more appropriate (Rogers, 2003). The focus of the research was to evaluate the views of professionals who directly interact with and drive the digitalization process. Since blue-collar employees are generally not involved in strategic decision-making and digital transformation initiatives, their data may not sufficiently contribute to the study's objectives (Venkatesh et al., 2003: 425-478). For this reason, blue-collar workers were not included in the sample.

Various approaches exist in the literature regarding the determination of sample size. Comrey and Lee (1992) provided the following guidelines for sample sizes in exploratory factor analysis: 50 (very poor), 100 (poor), 200 (fair), 300 (good), 500 (very good), and 1000 (excellent). Guadagnoli and Velicer (1988), based on their simulation studies with different sample sizes, suggested that a minimum of 300–450 participants is necessary to observe an acceptable pattern comparability. Tabachnick and Fidell (2013) recommended a 5:1 ratio for factor analysis. The research data were collected from 400 participants via an online survey in November and December 2024. The online survey was distributed to participants using Google Forms.

**Table 1. Demographic Statistics**

| <i>Demographic</i> |                               | <i>Frequency</i> | <i>Percentage</i> |
|--------------------|-------------------------------|------------------|-------------------|
| Gender             | Female                        | 232              | 58                |
|                    | Male                          | 168              | 42                |
| Age                | 18-29                         | 119              | 29,8              |
|                    | 30-39                         | 177              | 44,3              |
|                    | 40-49                         | 80               | 20                |
|                    | 50 and over                   | 24               | 6,1               |
|                    | Senior Executives             | 30               | 7,5               |
| Position           | Mid-Level Managers            | 107              | 26,8              |
|                    | Specialists/Engineers         | 112              | 28                |
|                    | Operational-Level Employees   | 151              | 37,8              |
|                    | Manufacturing Industry        | 161              | 40,3              |
| Business Sector    | Information Technology        | 78               | 19,5              |
|                    | Energy and Infrastructure     | 19               | 4,8               |
|                    | Health and Medical Technology | 65               | 16,3              |
|                    | Logistics and Transportation  | 46               | 11,5              |
|                    | Finance and Banking           | 31               | 7,8               |
| Business Scale     | Small                         | 128              | 32                |
|                    | Medium                        | 116              | 29                |
|                    | Large                         | 156              | 39                |

The demographic characteristics of the 400 participants in this study are presented in Table 1. In terms of gender distribution, 58% of the respondents were female, while 42% were male. Regarding age groups, the majority of participants were between 30-39 years old (44.3%), followed by those aged 18-29 (29.8%), 40-49 (20%), and 50 and over (6.1%).

In terms of professional positions, 37.8% of respondents were operational-level employees, 28% were specialists or engineers, 26.8% were mid-level managers, and 7.5% were senior executives. The business sector distribution indicated that the highest proportion of participants worked in the manufacturing industry (40.3%), followed by information technology (19.5%), health and medical technology (16.3%), logistics and transportation (11.5%), finance and banking (7.8%), and energy and infrastructure (4.8%).

Lastly, business scale analysis showed that 39% of the participants were employed in large enterprises, 32% in small enterprises, and 29% in medium-sized enterprises. These demographic findings provide a comprehensive overview of the sample composition, ensuring a diverse representation across different sectors, job positions, and company sizes.

#### 4.4. Establishing Construct Validity

Exploratory Factor Analysis (EFA) was employed to establish the construct validity of the developed scale. Factor analysis is a statistical technique aimed at reducing a set of related variables into a smaller number of uncorrelated and conceptually meaningful factors (Leech et al., 2005).

Researchers utilize EFA during scale development to mitigate the possibility of errors in their assumptions about the dimensions of the construct and to ensure item quality (Gholami et al., 2025; Sözbilir, 2021;

Mishra et al., 2024; Pinto et al., 2025; Özkanlısoy and Bulutlar, 2022; Jamwal et al., 2023; Leichtmann et al., 2023).

A common error in EFA is the use of Principal Component Analysis (PCA), which differs conceptually and mathematically from common factor analysis. Instead, Principal Axis Factoring (PAF) or Maximum Likelihood (ML) should be selected (Carpenter, 2018).

Rotation is essential for clarifying the factors (or dimensions) of the scale. Two types of rotation are available: oblique and orthogonal. Orthogonal rotation produces uncorrelated factors, but in social sciences, factors are rarely uncorrelated. Oblique rotation options include Direct Oblimin and Promax, both allowing factors to correlate. Promax is suggested to yield more robust results (Thompson, 2004).

For the above reasons, Principal Axis Factoring and Promax rotation were used to test the construct validity of the scale in this study. The EFA was conducted using IBM SPSS Statistics 20. The fitness of the sample for factor analysis was assessed initially. According to Field (2013), Bartlett's test of sphericity should yield  $p < 0.01$ , and the minimum recommended Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) value should be 0.60. For the sample of 400, the KMO value was 0.944, indicating sufficient sample size for EFA. Bartlett's test yielded  $\chi^2 (276) = 4987.351$ ,  $p < 0.05$ , demonstrating adequate inter-item correlation for EFA.

The initial stage of the study, involving a literature review and content analysis, revealed 10 distinct constructions, each potentially representing a separate factor. To examine this 10-factor structure, an Exploratory Factor Analysis (EFA) was conducted on 40 items with a suppression value of 0.30, forcing a 10-factor solution. This approach is supported by prior research where a predetermined number of factors were specified (Pinto et al., 2025; Krägeloh et al., 2019, 88; Nomura et al., 2012, 242). In the Scale an additional item (item 41) was included to directly assess Industry 4.0 adoption. However, due to its single-item nature, it was excluded from the factor analysis. Instead, the EFA focused solely on items representing the multidimensional construction.

The initial EFA revealed cross-loadings and misplacements among items related to Readiness and Maturity Levels, consistent with feedback from the pilot survey. Consequently, these 8 items were removed due to compromised construct validity. A subsequent EFA, forcing an 8-factor solution, led to the removal of 8 more cross-loading items. The final EFA resulted in a 25-item scale loading onto 8 factors, explaining 59.22% of the total variance. Table 2 shows the factors loadings of the items. Since the original survey is in Turkish, the final version of the items in Turkish can be found in the appendix. The first factor represents perceived technological benefits in achieving a circular economy. The second factor is planning, the third factor is perceived technological benefits in supply chain performance, and the fourth factor is perceived technological benefits in sustainability. The remaining factors are awareness, education system, workforce qualifications, and innovation, respectively.

To validate the factor structure identified through Exploratory Factor Analysis (EFA), Confirmatory Factor Analysis (CFA) was conducted using IBM SPSS AMOS Version 20, as is common practice in similar studies (Gholami et al., 2025; Sözbilir, 2021; Mishra et al., 2024; Pinto et al., 2025; Özkanlısoy and Bulutlar, 2022; Jamwal et al., 2023; Leichtmann et al., 2023). Confirmatory Factor Analysis is an evaluation method that allows for the comparison of a predetermined factor structure based on systematic goodness-of-fit evaluation procedures and estimates the relationship between latent constructs free from measurement errors. In this process, the extent to which the model explains the obtained data is determined by goodness-of-fit indices. Goodness-of-fit tests enable the decision to accept or reject the model.

The 8-factor, 24-item scale structure derived from the EFA was used as input for the Confirmatory Factor Analysis (CFA). Based on this EFA model, a measurement model (Figure 2) was developed for the CFA, and the goodness-of-fit index values of this measurement model were examined and evaluated. The Maximum Likelihood method was employed as the estimation method. To utilize the Maximum Likelihood estimation method, the data must exhibit a normal distribution (Tabachnick and Fidell, 2013). They stated that skewness and kurtosis values should be between -1.5 and +1.5 to ensure the normality assumption. In the research model, these values ranged between -1.103 and +1.259, thus the normality condition was satisfied.

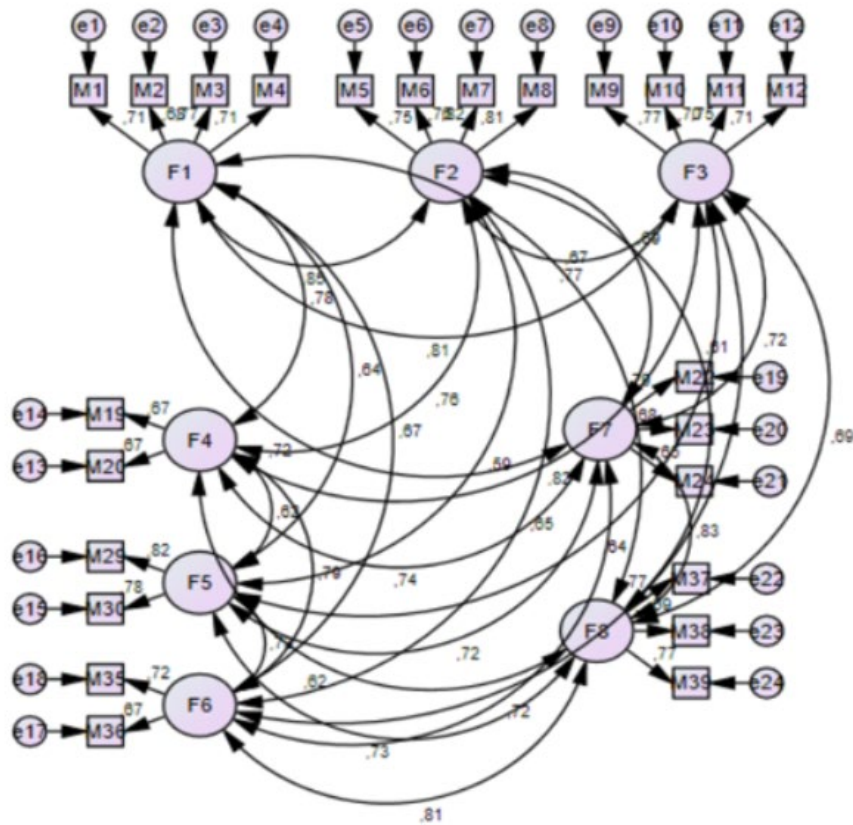
The standardized factor loadings of all items in the CFA were found to be greater than 0.6, and as shown in Table 3, the goodness-of-fit indices of the measurement model indicate an excellent fit. At this stage, there was no need to make any modifications to the scale, such as removing items. Thus, the fit criteria for the measurement model of Industry 4.0 adoption in developing countries were met.

**Table 2. Factors and Factor Loadings**

| Item No | Factor Loading |    |    |       |       |       |       |    | Item                                                                                                                                                                                                                         |
|---------|----------------|----|----|-------|-------|-------|-------|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|         | F1             | F2 | F3 | F4    | F5    | F6    | F7    | F8 |                                                                                                                                                                                                                              |
| 1       |                |    |    | 0,462 |       |       |       |    | The digital transformation targeted by Industry 4.0 in the field of industry, supports society and industry in achieving sustainability goals.                                                                               |
| 2       |                |    |    | 0,834 |       |       |       |    | In a developing country, Industry 4.0 applications provide benefits on social sustainability issues such as meeting the basic needs of people like health, education, food, water and shelter.                               |
| 3       |                |    |    | 0,547 |       |       |       |    | In a developing country, Industry 4.0 applications provide benefits on economic sustainability issues such as ensuring a long-term perspective in the economy, regulating the finance industry, reducing national debt, etc. |
| 4       |                |    |    | 0,354 |       |       |       |    | In a developing country, Industry 4.0 applications provide benefits on environmental sustainability issues such as global warming, climate change, etc.                                                                      |
| 5       | 0,506          |    |    |       |       |       |       |    | In developing countries, Industry 4.0 applications are beneficial for the transition from a linear economy to a circular economy.                                                                                            |
| 6       | 0,780          |    |    |       |       |       |       |    | In developing countries, Industry 4.0 technologies increase the efficiency of circular economy applications.                                                                                                                 |
| 7       | 0,955          |    |    |       |       |       |       |    | In developing countries, Industry 4.0 supports the transition to a circular economy.                                                                                                                                         |
| 8       | 0,815          |    |    |       |       |       |       |    | The adoption of Industry 4.0 helps to improve the circular economy by providing operational and strategic information on time.                                                                                               |
| 9       |                |    |    | 0,489 |       |       |       |    | Industry 4.0, by making the entire supply chain smarter, enables the rapid production of products needed by customers.                                                                                                       |
| 10      |                |    |    | 0,789 |       |       |       |    | Industry 4.0 facilitates information sharing in supply chains digitally through horizontal and vertical integrations.                                                                                                        |
| 11      |                |    |    | 0,707 |       |       |       |    | Industry 4.0 applications provide agility and flexibility in supply chain management.                                                                                                                                        |
| 12      |                |    |    | 0,496 |       |       |       |    | Using digitalized solutions helps firms cope with internal and external changes and uncertainties and succeed in a competitive environment.                                                                                  |
| 19      |                |    |    |       |       |       | 0,651 |    | Disruptive technologies such as artificial intelligence, which Industry 4.0 is based on, offer businesses the opportunity to create new business opportunities with the innovation support they provide.                     |
| 20      |                |    |    |       |       |       | 0,472 |    | The technologies provided by Industry 4.0 play a critical role in establishing mutual trust, which is a key challenge in the open innovation process.                                                                        |
| 22      |                |    |    |       | 0,473 |       |       |    | In order to reach the determined level of digitalization, firms must first be aware of the innovations brought by Industry 4.0 and the advantages and disadvantages provided by this phenomenon.                             |
| 23      |                |    |    |       | 0,690 |       |       |    | The lack of awareness regarding the requirements and impact of Industry 4.0 technologies in firms reduces their chances of exploring opportunities related to Industry 4.0.                                                  |
| 24      |                |    |    |       | 0,601 |       |       |    | Lack of information is one of the inhibiting factors in the transition to Industry 4.0.                                                                                                                                      |
| 29      |                |    |    |       |       | 0,575 |       |    | In developing countries, the preparation of the workforce for the future by education systems affects the transition to Industry 4.0.                                                                                        |
| 30      |                |    |    |       |       | 0,923 |       |    | Increasing the competencies of teachers in vocational schools and universities regarding Industry 4.0 affects the transition of developing countries to Industry 4.0.                                                        |

**Table 2. (Continued)**

| Item No | Factor Loading |    |    |    |    |    |       |    | Item                                                                                                                                                                                                      |
|---------|----------------|----|----|----|----|----|-------|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|         | F1             | F2 | F3 | F4 | F5 | F6 | F7    | F8 |                                                                                                                                                                                                           |
| 35      |                |    |    |    |    |    | 0,498 |    | In the transition to Industry 4.0, leaders must possess technical and digital skills that enable them to navigate and communicate in the digital world while adapting to disruptive technologies.         |
| 36      |                |    |    |    |    |    | 0,509 |    | The gap between the competencies possessed by the current workforce and the competencies associated with Industry 4.0 creates a significant obstacle to the economic development of developing countries. |
| 37      | 0,763          |    |    |    |    |    |       |    | A comprehensive industrial policy is necessary for the sustainability of advancements like Industry 4.0.                                                                                                  |
| 38      | 0,850          |    |    |    |    |    |       |    | Organizations need innovative strategies and government policies to successfully implement Industry 4.0.                                                                                                  |
| 39      | 0,664          |    |    |    |    |    |       |    | To foster the development of necessary technologies for Industry 4.0 adoption, enabling regulations should be implemented for innovation and entrepreneurship ecosystems.                                 |

**Figure 2. CFA measurement model****Table 3. DFA Fit Indices**

| Indices | Referans Value | Measured Value |
|---------|----------------|----------------|
| CMIN/DF | < 3            | 2,211          |
| NFI     | > 0,90         | 0,903          |
| CFI     | > 0,90         | 0,944          |
| GFI     | > 0,90         | 0,905          |
| RMSEA   | < 0,07         | 0,055          |

Source: The reference values were obtained from the studies by Gholami (2024: 179-202) and Mishra et al. (2024:1278-1297).

#### 4.5. Reliability Analysis

Evaluating reliability is a critical step in determining the psychometric properties of a scale (Churchill, 1979). In this study, item-total correlations and Cronbach's alpha coefficient were calculated to measure the internal consistency of the digitalization scales (Nunnally and Bernstein, 1994).

The analysis revealed that all item-total correlations were above the threshold value of 0.30. The lowest item-total correlation value was calculated as 0.514, which indicates sufficient internal consistency of the scale (Hair et al., 2014). Furthermore, the Cronbach's alpha coefficient was found to be 0.942, demonstrating that the scale possesses excellent internal consistency (Nunnally and Bernstein, 1994).

Reliability analysis was used to identify inconsistent items at the item level and to evaluate the quality of the scale (Hair et al., 2014). The scale's reliability is supported by item-total correlations exceeding the threshold of 0.50 and item-item correlations being higher than 0.30, which are among the most common methods for assessing internal consistency (Hair et al., 2014). Additionally, due to the Cronbach's alpha coefficient being significantly above the threshold of 0.70, there was no need to make any changes to the scale (Nunnally, 1978).

In conclusion, the calculated Cronbach's alpha and item-total correlation values demonstrate that the current dataset is highly reliable (Hair et al., 2009; Nunnally and Bernstein, 1994).

#### 5. CONCLUSION and EVALUATION of FINDINGS

This study conducted a comprehensive scale development process to identify and measure the factors influencing the adoption of Industry 4.0 in developing countries. Utilizing rigorous methodological approaches such as systematic literature reviews, expert opinions, pilot studies, and factor analyses, this scale aims to understand the key variables affecting Industry 4.0 adoption at both academic and practical levels.

Although the initial stage of the study, involving a literature review and content analysis, revealed 10 distinct constructs namely "Perceived Technological Usefulness in Achieving Sustainability", "Perceived Technological Usefulness in Achieving a Circular Economy", "Perceived Technological Usefulness in Supply Chain Performance", "Readiness", "Innovation", "Awareness", "Quality Management", "Education System", "Competencies", "Plan, Policy, and Strategy Studies". In this study, the developed dimensions are generally consistent with the existing literature. However, while some studies in the literature support the inclusion of "Readiness and Maturity Levels" (Ávila Bohórquez and Gil Herrera, 2022; Brodny and Tutak 2023, Stawiarska et al. 2021) and "Quality Management" (Ganjavi and Fazlollahab, 2021; Kannan and Garad, 2020) as distinct dimensions, the results of the Exploratory Factor Analysis (EFA) do not support these structures within the context of this research.

Numerous studies have shown that Industry 4.0 technologies can increase production efficiency, reduce costs, and enhance labor productivity by reallocating human effort to higher value-added tasks (Baur and Wee, 2015; Rikalovic et al., 2021; Saçak Düzgün et al., 2024). Therefore it is important for emerging countries to investigate how to apply Industry 4.0 widely. The findings of the study indicate that technological, organizational, environmental, and socio-economic factors play a critical role in the transition to Industry 4.0. The results of the factor analysis have demonstrated that the scale possesses a reliable and valid structure, enabling a more systematic examination of the digital transformation processes of businesses in developing countries.

This research augments the existing literature in three significant ways. Firstly, it extends the previously fragmented and constrained conceptual understanding of Industry 4.0 adoption through the development of a holistic and integrated measurement scale. Secondly, by focusing on developing nations, this study addresses the current gap in research, which is predominantly oriented towards developed economies, and provides a tailored framework for these countries. Thirdly, the insights generated from this work offer actionable guidance for academic scholars, policymakers, and industry practitioners.

**Limitations of The Study:** Firstly, in the phase of literature review only the research in form of articles included. For a boarder look into developing countries thesis and other academical reseach could be included. Secondly, during the literature review period academic databases are queried only once for each developing country. This may cause overlooking of some of the articles which is published in that period but after the exact query for that country. Lastly, in the phase of pilot study sample size is limited. Although sample size of 61 is above the trashhold value mention in literature, it would have been statistically more powerful with a sample size of more than 100.

**Recommendations for Policymakers:** To accelerate the Industry 4.0 transformation in developing countries, policymakers should implement structural reforms that encourage technological adaptation. Primarily, financial support mechanisms such as tax reductions, subsidies, and low-interest loans should

be established to incentivize businesses to adapt to digital transformation. Additionally, education curricula should be updated, and university-industry collaboration should be enhanced to cultivate a skilled workforce necessary for the adoption of Industry 4.0 technologies. Furthermore, regulatory frameworks should be developed in areas such as data security, cybersecurity, and intellectual property rights to ensure the safe and sustainable progression of the digital transformation process.

**Recommendations for Businesses:** Adapting to Industry 4.0 technologies is critical for businesses to gain a long-term competitive advantage. In this context, companies should develop digital transformation strategies and integrate technologies such as robotics, artificial intelligence, and big data analytics to optimize production processes. However, technological transformation should not be limited to infrastructural investments alone. Continuous training programs should be organized to enhance employees' digital skills, and awareness of digitalization should be raised within the business culture. In particular, SMEs should be encouraged to effectively utilize government support to overcome the financial and technical barriers they face during the digital transformation process.

**Recommendations for Academicians and Researchers:** While the findings of this study provide significant contributions to the understanding of the factors influencing Industry 4.0 adoption, they also offer various avenues for future research. Firstly, in-depth studies should be conducted to examine how Industry 4.0 is shaped by local and cultural dynamics. Additionally, the scale developed in this study should be applied across different sectors and regions to test its generalizability. Future research can focus on analyzing the long-term effects of Industry 4.0 investments on businesses' productivity, profitability, and employment structure.

In conclusion, this study not only contributes to academic literature by developing a systematic scale for the adoption of Industry 4.0 technologies in developing countries but also provides various practical recommendations for policymakers, businesses, and academicians. Effective management of the digital transformation process will only be possible through the collaboration of all stakeholders and will ensure the maximum utilization of the opportunities offered by Industry 4.0.

#### Author Contributions

*Sayıl Saçak Düzgün:* Literature review, Conceptualization, Methodology, Data Curation, Analysis, Writing-original draft *Üstün Özen:* Modelling, Writing-review and editing *Derya Fındık:* Modelling, Writing-review and editing

#### Conflict of Interest

No potential conflict of interest was declared by the authors.

#### Funding

This study is supported by the Scientific Research Projects Office of Atatürk University. The project number is SDK-2023-11763."

#### Compliance with Ethical Standards

For this study, the approval of the Ethics Committee of Atatürk University Social and Human Sciences was obtained with the decision dated 22.10.2024 and numbered 252.

#### Ethical Statement

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.



*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

- Atzori, L., Iera, A., Morabito, G. (2017). "Understanding the Internet of Things: Definition, Potentials, and Societal Role of A Fast Evolving Paradigm", *Ad Hoc Networks*, 56, 122-140. <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2016.12.004>
- Ávila Bohórquez, J.H. and Gil Herrera, R. de J. (2022). "Proposal and Validation of An Industry 4.0 Maturity Model for SMEs", *Journal of Industrial Engineering and Management*, 15(3), 433-454. <https://doi.org/10.3926/jiem.3673>
- Aygün, D. and Satı, Z.E. (2022). "Evaluation of Industry 4.0 Transformation Barriers for SMEs in Turkey", *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 17(1), 239-255. <https://doi.org/10.17153/oguiibf.991213>
- Bag, S., Gupta, S. and Kumar, S. (2021). "Industry 4.0 Adoption and 10R Advance Manufacturing Capabilities for Sustainable Development", *International Journal of Production Economics*, 231, 107844. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107844>
- Bag, S., Wood, L.C., Mangla, S.K. and Luthra, S. (2020). "Procurement 4.0 and Its Implications on Business Process Performance in A Circular Economy", *Resources, Conservation and Recycling*, 152, 104502. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104502>
- Baio Junior, A.A., Carrer, M.J. (2022). "Adoption of Industry 4.0 technologies: an analysis of small and medium-sized companies in the state of São Paulo, Brazil", *Gestão & Produção*, 29, e122. <https://doi.org/10.1590/1806-9649-2022v29e122>
- Banger, G. (2017). "Endüstri 4.0 Ekstra", Dorlion Yayınları, Eskişehir.
- Basl, J. (2016). "The Pilot Survey of the Industry 4.0 Principles Penetration in the Selected Czech and Polish Companies", *Journal of Systems Integration*, 7(4), 3-8.
- Baur, C., and Wee, D. (2015). Manufacturing's next act. McKinsey & Company. <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/manufacturings-next-act>, (Accessed: 20.01.2025)
- Becker, M., Mahr, D. and Odekerken-Schröder, G. (2023). "Customer Comfort During Service Robot Interactions", *Service Business*, 17(1), 137-165. <https://doi.org/10.1007/s11628-022-00499-4>
- Belanche, D., Casalo, L.V. and Flavián, C. (2021). "Frontline Robots in Tourism and Hospitality: Service Enhancement or Cost Reduction?", *Electronic Markets*, 31(3), 477-492. <https://doi.org/10.1007/s12525-020-00432-5>
- Boateng, G.O., Neilands, T.B., Frongillo, E.A., Melgar-Quinonez, H.R. and Young, S.L. (2018). "Best Practices for Developing and Validating Scales for Health, Social, and Behavioral Research: A Primer", *Frontiers in Public Health*, 6, 149. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2018.00149>
- Bonekamp, L. and Sure, M. (2015). "Consequences of Industry 4.0 on Human Labour and Work Organization", *Journal of Business and Media Psychology*, 6(1), 33-40.
- Brodny, J. and Tutak, M. (2023). "Assessing the Level of Digital Maturity in the Three Seas Initiative Countries", *Technological Forecasting and Social Change*, 190, 122462. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122462>
- Büchi, G., Cugno, M. and Castagnoli, R. (2020). "Smart Factory Performance and Industry 4.0", *Technological Forecasting and Social Change*, 150, 119790. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.119790>
- Carpenter, S. (2018). "Ten Steps in Scale Development and Reporting: A Guide for Researchers", *Communication Methods and Measures*, 12(1), 25-44. <https://doi.org/10.1080/19312458.2017.1396583>
- Cevik Onar, S., Ustundag, A. (2018). "Smart and Connected Product Business Models", *Industry 4.0: Managing The Digital Transformation*, Springer Series in Advanced Manufacturing. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-57870-5\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-57870-5_2)
- Chahal, H., Gupta, M., Lonial, S. (2018). "Operational Flexibility in Hospitals: Scale Development and Validation", *Journal of the Operational Research Society*, 56 (10), 3733-3755. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1442941>
- Churchill, G.A. (1979). "A Paradigm for Developing Better Measures of Marketing Constructs", *Journal of Marketing Research*, 16 (1), 64-73.
- Comrey, A.L. and Lee, H.B. (1992). "A First Course in Factor Analysis", Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ.
- Dalenogare, L.S., Benitez, G.B., Ayala, N.F. and Frank, A.G. (2018). "The Expected Contribution of Industry 4.0 Technologies for Industrial Performance", *International Journal of Production Economics*, 204, 383-394. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.08.019>
- DeVellis, R.F. (2012). "Scale Development: Theory and Applications", 3rd Ed. Sage Publications, Thousand Oaks, CA, USA.
- DeVellis, R.F. and Thorpe, C.T. (2021). "Scale Development: Theory and Applications", Sage Publications, Thousand Oaks, CA, USA.
- Dey, N., Ashour, A.S., Shi, F., Fong, S.J. and Tavares, J.M.R.S. (2018). "Medical Cyber-Physical Systems: A Survey", *Journal of Medical Systems*, 42, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s10916-018-0921-x>

- Dhanvijay, M.M. and Patil, S.C. (2019). "Internet of Things: A Survey of Enabling Technologies in Healthcare and Its Applications", *Computer Networks*, 153, 113-131. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2019.03.006>
- Donnelly, C., Simmons, G., Armstrong, G. and Fearn, A. (2015). "Digital Loyalty Card 'Big Data' and Small Business Marketing: Formal versus Informal or Complementary?", *International Small Business Journal*, 33(4), 422-442. <https://doi.org/10.1177/0266242613502691>
- Dopico, M., Gómez, A., De la Fuente, D., García, N., Rosillo, R. and Puche, J. (2016). "A Vision of Industry 4.0 from An Artificial Intelligence Point of View", *Proceedings on the International Conference on Artificial Intelligence (ICAI)*, 407.
- Duman, M.C. and Akdemir, B. (2021). "A Study to Determine the Effects of Industry 4.0 Technology Components on Organizational Performance", *Technological Forecasting and Social Change*, 167, 120615. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120615>
- Etikan, I., Musa, S.A. and Alkassim, R.S. (2016). "Comparison of Convenience Sampling and Purposive Sampling", *American Journal of Theoretical and Applied Statistics*, 5(1), 1-4. <https://doi.org/10.11648/j.ajtas.20160501.11>
- Field, A. (2013). "Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics", Sage.
- Flavián, C. and Casaló, L.V. (2021). "Artificial Intelligence in Services: Current Trends, Benefits and Challenges", *The Service Industries Journal*, 41, 853-859. <https://doi.org/10.1080/02642069.2021.1989177>
- Flavián, C., Ibáñez-Sánchez, S. and Orús, C. (2021). "Impacts of Technological Embodiment through Virtual Reality on Potential Guests' Emotions and Engagement", *Journal of Hospitality Marketing & Management*, 30, 1-20. <https://doi.org/10.1080/19368623.2020.1770146>
- Frank, A.G., Dalenogare, L.S. and Ayala, N.F. (2019). "Industry 4.0 Technologies: Implementation Patterns in Manufacturing Companies", *International Journal of Production Economics*, 210, 15-26. <https://doi.org/10.1016/j.iipe.2019.01.004>
- Ganjavi, N. and Fazlollahtabar, H. (2021). "Integrated Sustainable Production Value Measurement Model Based on Lean and Six Sigma in Industry 4.0 Context", *IEEE Transactions on Engineering Management*, 70(6), 2320-2333. <https://doi.org/10.1109/TEM.2021.3078169>
- Gholami, H., Lee, J.K.Y., Garza-Reyes, J.A. and Salameh, A.A. (2025). "Green Lean Six Sigma Practices: A Scale Development and Measurement Model from An Engineer's Perspective", *Journal of Manufacturing Technology Management*, 36(1), 179-202. <https://doi.org/10.1108/JMTM-12-2023-0555>
- Ghosh, A.M., Halder, D. and Hossain, S.A. (2016). "Remote health monitoring system through IoT", *5th International Conference on Informatics, Electronics and Vision (ICIEV)*. IEEE, 921-926.
- Giger, M.L. (2018). "Machine Learning in Medical Imaging", *Journal of the American College of Radiology*, 15, 512-520. <https://doi.org/10.1038/s41746-022-00592-y>
- Görçün, Ö.F. (2017). "Dördüncü Sanayi Devrimi Endüstri 4.0", Beta Yayıncılık, İstanbul.
- Grabowska, M. (2018). "Przemysł 4.0 w Unii Europejskiej. Studia Europejskie", *Studies in European Affairs*, 3, 257-279.
- Greengard, S. (2017). "Internet of Things", Optimist Yayınları, İstanbul.
- Greer, S.A. (1989). "The Logic of Social Inquiry", Transaction Publishers, Piscataway, NJ, USA.
- Guadagnoli, E. and Velicer, W.F. (1988). "Relation of Sample Size to the Stability of Component Patterns", *Psychological Bulletin*, 103(2), 265.
- Hair, J.F., Black, W.C. and Babin, B.J. (2009). "Multivariate Data Analysis: A Global Perspective", 7th Ed. Prentice Hall, Upper Saddle River.
- Hair, J.F., Black, W.C., Babin, B.J. and Anderson, R.E. (2014). "Multivariate Data Analysis", Pearson New International Edition, Pearson Education Limited.
- Hays, W.L. (1973). "Statistics for the Social Sciences", 2nd Ed. Holt, Rinehart and Winston, New York, NY, USA.
- Hertzog, M.A. (2008). "Considerations in Determining Sample Size for Pilot Studies", *Research in Nursing & Health*, 31(2), 180-191. <https://doi.org/10.1002/nur.20247>
- Horváth, D. and Szabó, R.Z. (2019). "Driving Forces and Barriers of Industry 4.0: Do Multinational and Small and Medium-Sized Companies Have Equal Opportunities?", *Technological Forecasting and Social Change*, 146, 119-132. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.05.021>
- IMF. (2021). "The Future of Emerging Markets", <https://www.imf.org>, (Accessed: February 22, 2024).
- Isaac, S. and Michael, W.B. (1995). "Handbook in Research and Evaluation: A Collection of Principles, Methods, and Strategies Useful in the Planning, Design, and Evaluation of Studies in Education and the Behavioral Sciences", 3. Ed., EdITS Publishers.

- Jamwal, A., Agrawal, R. and Sharma, M. (2023). "Challenges and Opportunities for Manufacturing SMEs in Adopting Industry 4.0 Technologies for Achieving Sustainability: Empirical Evidence from An Emerging Economy", *Operations Management Research*, 1-26. <https://doi.org/10.1007/s12063-023-00428-2>
- Johanson, G.A. and Brooks, G.P. (2010). "Initial Scale Development: Sample Size for Pilot Studies", *Educational and Psychological Measurement*, 70(3), 394-400. <https://doi.org/10.1177/0013164409355692>
- Jovanovski, D.B., Seykova, D., Boshnyaku, A. and Fischer, D.C. (2019). "The Impact of Industry 4.0 on the Competitiveness", *International Scientific Journal 'Industry 4.0'*, 5, 250-255.
- Kang, H.S., Lee, J.Y., Choi, S., Kim, H., Park, J.H., Son, J.Y. and Noh, S.D. (2016). "Smart Manufacturing: Past Research, Present Findings, and Future Directions", *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 3(1), 111-128. <https://doi.org/10.1007/s40684-016-0015-5>
- Kannan, K.S.P. and Garad, A. (2020). "Competencies of Quality Professionals in the Era of Industry 4.0: A Case Study of Electronics Manufacturer from Malaysia", *International Journal of Quality & Reliability Management*, 38(3), 839-871. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-04-2019-0124>
- Krägeloh, C.U., Bharatharaj, J., Sasthan Kutty, S.K., Nirmala, P.R. and Huang, L. (2019). "Questionnaires to Measure Acceptability of Social Robots: A Critical Review", *Robotics*, 8(4), 88. <https://doi.org/10.3390/robotics8040088>
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H.G., Feld, T. and Hoffmann, M. (2014). "Industrie 4.0", *Wirtschaftsinformatik*, 56(4), 261-264.
- Lee, J. (2015). "Smart Factory Systems", *Informatik-Spektrum*, 38(3), 230-235. <https://doi.org/10.1007/s00287-015-0891-z>
- Leech, N.L., Barrett, K.C. and Morgan, G.A. (2005). "SPSS for Intermediate Statistics: Use and Interpretation", 2nd Ed., Lawrence Erlbaum Associates.
- Leichtmann, B., Hartung, J., Wilhelm, O. and Nitsch, V. (2023). "New Short Scale to Measure Workers' Attitudes toward the Implementation of Cooperative Robots in Industrial Work Settings: Instrument Development and Exploration of Attitude Structure", *International Journal of Social Robotics*, 15(6), 909-930. <https://doi.org/10.1007/s12369-023-00996-0>
- Lu, Y. (2017). "Industry 4.0: A Survey on Technologies, Applications and Open Research Issues", *Journal of Industrial Information Integration*, 6, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2017.04.005>
- Metcalf, D., Milliard, S.T.J., Gomez, M. and Schwartz, M. (2016). "Wearables and the Internet of Things for Health: Wearable, Interconnected Devices Promise More Efficient and Comprehensive Health Care", *IEEE Pulse*, 7, 35-<https://doi.org/39.10.1109/MPUL.2016.2592260>
- Mishra, R., Singh, R.K. and Gunasekaran, A. (2024). "Digitalization of Supply Chains in Industry 4.0 Environment of Manufacturing Organizations: Conceptualization, Scale Development & Validation", *Production Planning & Control*, 35(11), 1278-1297. <https://doi.org/10.1080/09537287.2023.2172622>
- Mourtzis, D., Siatras, V., Zogopoulos, V. (2020). "Augmented Reality Visualization of Production Scheduling and Monitoring", *Procedia CIRP*, 88, 151-156. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.05.027>
- Nomura, T., Sugimoto, K., Syrdal, D.S. and Dautenhahn, K. (2012). "Social Acceptance of Humanoid Robots in Japan: A Survey for Development of the Frankenstein Syndrome Questionnaire", *12th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots (Humanoids 2012)*, 242-247. IEEE. <https://doi.org/10.1109/HUMANOIDS.2012.6651527>
- Nunnally, J.C. (1978). "An Overview of Psychological Measurement." *Clinical Diagnosis of Mental Disorders*, Editor: B.B. Wolman, 97-146. Springer.
- Nunnally, J.C. and Bernstein, I.H. (1994). "Psychometric Theory", McGraw-Hill.
- Onday, O. (2017). "Dijital Dönüşüm", Gazi Kitabevi, Ankara.
- Özkanlısoy, Ö. and Bulutlar, F. (2022). "Measuring Using Disruptive Technology in the Supply Chain Context: Scale Development and Validation", *Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research*, 17(4), 1336-1360. <https://doi.org/10.3390/jtaer17040068>
- Pandya, D. and Kumar, G. (2023). "Applying Industry 4.0 Technologies for the Sustainability of Small Service Enterprises", *Service Business*, 17(1), 37-59. <https://doi.org/10.1007/s11628-022-00507-7>
- Pattanapairoj, S., Nitisiri, K. and Sethanan, K. (2021). "A Gap Study between Employers' Expectations in Thailand and Current Competence of Master's Degree Students in Industrial Engineering under Industry 4.0", *Production Engineering Archives*, 27(1), 50-57. <https://doi.org/10.30657/pea.2021.27.7>
- Patton, M.Q. (2002). "Qualitative Research & Evaluation Methods", 3rd Ed., Sage Publications.
- Pessl, E., Sorko, S.R. and Mayer, B. (2017). "Roadmap Industry 4.0 – Implementation Guideline for Enterprises" *Technology and Society*, 5(6), 10.

- Pinto, A., Lemos, L., Carvalho, C., Santos, J., Menezes, P. and Nomura, T. (2025). "Translation, Adaptation, and Validation in Portuguese of an Acceptance Scale for Human–Robot Interaction in an Industrial Context", *Human Behavior and Emerging Technologies*, 2025(1), 8816379. <https://doi.org/10.1155/hbe2/8816379>
- Popovich, A.A., Sufiarov, V.S. and Grigoriev, A.V. (2017). "Additive Technologies-The Basis of Digital Custom Manufacturing", *Industry 4.0: Entrepreneurship and Structural Change in the New Digital Landscape*, 219-230.
- Prinz, C., Morlock, F., Freith, S., Kreggenfeld, N., Kreimeier, D. and Kuhlenkotter, B. (2016). "Learning Factory Modules for Smart Factories in Industrie 4.0", *Procedia CIRP*, 54, 113-118. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.05.105>
- Raguseo, E. (2018). "Big Data Technologies: An Empirical Investigation on Their Adoption, Benefits and Risks for Companies", *International Journal of Information Management*, 38(1), 187-195. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2017.07.008>
- Reischauer, G. (2018). "Industry 4.0 as Policy-Driven Discourse to Institutionalize Innovation Systems in Manufacturing", *Technological Forecasting and Social Change*, 132, 26-33. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.02.012>
- Rha, J.S. and Lee, H.H. (2022). "Research Trends in Digital Transformation in the Service Sector: A Review Based on Network Text Analysis", *Service Business*, 16, 77-98. <https://doi.org/10.1007/s11628-022-00481-0>
- Riazul Islam, S.M., Kwak, D., Humaun Kabir, M., Hossain, M. and Kwak, K-S. (2015). "The Internet of Things for Health Care: A Comprehensive Survey", *IEEE Access*, 3, 678–708. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2015.2437951>
- Richert, A., Shehadeh, M., Müller, S., Schröder, S. and Jeschke, S. (2016). "Robotic Workmates: Hybrid Human-Robot Teams in the Industry 4.0", *The 11th International Conference on e-Learning-ICEL2016*, Kuala Lumpur.
- Rikalovic, A., Suzic, N., Bajic, B. and Piuri, V. (2021). "Industry 4.0 Implementation Challenges and Opportunities: A Technological Perspective", *IEEE Systems Journal*, 16(2), 2797-2810. <https://doi.org/10.1109/JSYST.2020.3023041>
- Rogers, E.M. (2003). "Diffusion of Innovations", Free Press.
- Saçak Düzgün, S., Özen, Ü. and Fındık, D. (2024). "Endüstri 4.0 Teknolojilerinin Getirileri ve Önündeki Engeller Üzerine Kavramsal bir Çerçeve Önerisi", *AJIT-E: Academic Journal of Information Technology*, 15(3), 246-264. <https://doi.org/10.5824/ajite.2024.03.004.x>
- Salkın, C., Oner, M., Ustundag, A. and Çevikcan, E. (2018). "A Conceptual Framework for Industry 4.0", *Industry 4.0: Managing the Digital Transformation. Springer International Publishing*, Editors: A. Ustundag, E. Çevikcan, Switzerland.
- Santos, M.Y., Oliveira Sá, J., Andrade, C., Lima, F.V., Costa, E., Costa, C., Martinho, B. and Galvão, J. (2017). "A Big Data System Supporting Bosch Braga Industry 4.0 Strategy", *International Journal of Information Management*, 37, 750-760. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2017.07.012>
- Sarvari, P.A., Ustundag, A., Cevikcan, E., Kaya, I. and Cebi, S. (2018). "Technology Roadmap for Industry 4.0", *Industry 4.0: Managing the Digital Transformation. Springer International Publishing*, Editors: A. Ustundag, E. Çevikcan, 95-103.
- Schaeffer, D.M. and Olson, P.C. (2014). "Big Data Options for Small and Medium Enterprises", *Review of Business Information Systems*, 18, 41-46. <https://doi.org/10.19030/rbis.v18i1.8542>
- Schaffernak, H., Moesl, B., Vorraber, W., Koglbauer, I.V. (2020). "Potential Augmented Reality Application Areas for Pilot Education: An Exploratory Study", *Education Sciences*, 10, 86. <https://doi.org/10.3390/educsci10040086>
- Schwab, K. (2016). "Die Vierte Industrielle Revolution", Pantheon Verlag.
- Şimşek Demirbağ, K. (2021). "Endüstri 4.0 Dönüşümünün Türkiye Beyaz Eşya Sektöründeki Mevcut Durumu ve Mühendislik İşleri Üzerindeki Etkisi", Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ślusarczyk, B., Nathan, R. J. and Pyplacz, P. (2021). "Employee Preparedness for Industry 4.0 in Logistic Sector: A Cross-National Study between Poland and Malaysia", *Social Sciences*, 10(7), 258. <https://doi.org/10.3390/socsci10070258>
- Sözbilir, F. (2021). "Development and Validation of An Industry 4.0 Adaptation Potential Scale (4IRAPS)", *Technological and Economic Development of Economy*, 27(3), 704-721. <https://doi.org/10.3846/tede.2021.14513>
- Stawiarska, E., Szwajca, D., Matusek, M. and Wolniak, R. (2021). "Diagnosis of the Maturity Level of Implementing Industry 4.0 Solutions in Selected Functional Areas of Management of Automotive Companies in Poland", *Sustainability*, 13(9), 4867. <https://doi.org/10.3390/su13094867>
- Tabachnick, B.G. and Fidell, L.S. (2013). "Using Multivariate Statistics", 6<sup>th</sup> Ed., Pearson.
- Thompson, B. (2004). "Exploratory and Confirmatory Analysis: Understanding Concepts and Applications", *American Psychological Association*, Washington, DC, USA.

- Tortorella, G.L., Vergara, A.M.C., Garza-Reyes, J.A. and Sawhney, R. (2020). "Organizational Learning Paths Based upon Industry 4.0 Adoption: An Empirical Study with Brazilian Manufacturers", *International Journal of Production Economics*, 219, 284-294. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.06.023>
- Vaidya, S., Ambad, P. and Bhosle, S. (2018). "Industry 4.0 - A Glimpse", *Procedia Manufacturing*, 20, 233-238. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.034>
- Venkatesh, V., Morris, M.G., Davis, G.B. and Davis, F.D. (2003). "User Acceptance of Information Technology: Toward A Unified View", *MIS Quarterly*, 27(3), 425-478.
- Wang, L. and Wang, G. (2016). "Big Data in Cyber-Physical Systems, Digital Manufacturing and Industry 4.0", *International Journal of Engineering and Manufacturing*, 4, 1-8.
- Wang, S., Wan, J., Li, D. and Zhang, C. (2016). "Implementing Smart Factory of Industry 4.0: An Outlook", *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 12(1), 3159805. <https://doi.org/10.1155/2016/315980>
- Wongchinsri, P. and Kuratach, W. (2016). "A Survey—Data Mining Frameworks in Credit Card Processing", *13th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*. IEEE, Chiang Mai, Thailand, 1-6.
- Wu, M., Tam, H.P. and Jen, T.H. (2016). "Educational Measurement for Applied Researchers Theory into Practice", Springer, Singapore.
- Xu, L., He, W. and Li, S. (2014). "Internet of Things in Industries: A Survey", *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(4), 2233-2243.
- Yin, Y., Stecke, K.E. and Li, D. (2017). "The Evolution of Production Systems from Industry 2.0 through Industry 4.0", *International Journal of Production Research*, 7543, 1-14. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1403664>
- Zezulka, F., Marcon, P., Vesely, I. and Sajdl, O. (2016). "Industry 4.0: An Introduction in the Phenomenon", *IFAC-PapersOnLine*, 49(25), 8-12.

## APPENDIX

**Table A1. Turkish scale items from original questionnaire**

- 1) E4.0'ın sanayide hedeflediği dijital dönüşüm, toplumu ve sanayiyi sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada destekler.
- 2) Gelişmekte olan bir ülkede, E4.0 uygulamaları insanların sağlık, eğitim, gıda, su ve barınma gibi temel ihtiyaçlarının karşılanması gibi sosyal sürdürülebilirlik konularında fayda sağlar.
- 3) Gelişmekte olan bir ülkede, E4.0 uygulamaları ekonomide uzun vadeli bir bakış açısının sağlanması, finans endüstrisinin düzenlenmesi, ulusal borcun azaltılması vb. ekonomik sürdürülebilirlik konularında fayda sağlar.
- 4) Gelişmekte olan bir ülkede, E4.0 uygulamaları küresel ısınma, iklim değişikliği, vb. çevresel sürdürülebilirlik konularında fayda sağlar.
- Döngüsel ekonominin sağlanması konusunda algılanan fayda
- 5) Gelişmekte olan ülkelerde E4.0 uygulamaları lineer ekonomiden döngüsel ekonomiye geçiş için faydalıdır.
- 6) Gelişmekte olan ülkelerde E4.0 teknolojileri döngüsel ekonomi uygulamalarının verimliliğini artırır.
- 7) Gelişmekte olan ülkelerde E4.0, döngüsel ekonomiye geçişi destekler.
- 8) E4.0'ın benimsenmesi, operasyonel ve stratejik bilgiyi zamanında sağlayarak döngüsel ekonomiyi geliştirmeye yardımcı olur.
- 9) E4.0, tüm tedarik zincirinin daha akıllı olmasını sağlayarak, müşterilerin ihtiyaç duyduğu ürünlerin hızlı bir şekilde üretilmesini sağlar.
- 10) E4.0, yatay ve dikey entegrasyonlarla tedarik zincirlerinde dijital bilgi paylaşımını kolaylaştırır.
- 11) E4.0 uygulamaları, tedarik zinciri yönetiminde çeviklik ve esneklik sağlar.
- 12) Dijitalleştirilmiş çözümler kullanmak, firmaların iç ve dış değişikliklerle ve belirsizliklerle başa çıkmalarına ve rekabet ortamında başarılı olmalarına yardımcı olur.
- 19) E4.0'ın temel aldığı yapay zeka gibi yıkıcı teknolojiler işletmelere sundukları yenilik desteği ile işletmelere yeni iş fırsatları yaratma olanağı sunar.
- 20) E4.0'ın sağladığı teknolojiler, açık yenilik sürecinde temel zorluk olan karşılıklı güvenin tesis edilmesinde kritik bir rol oynar.
- 22) Dijitalleşme konusunda belirlenen seviyeye ulaşmak için öncelikle firmaların E4.0'ın getirdiği yeniliklerden ve bu olgunun sağladığı avantaj ve dezavantajlardan haberdar olması gerekir.
- 23) Firmalardaki E4.0 teknolojilerinin gereksinimleri ve etkisi konusundaki farkındalık eksikliği firmaların E4.0 ile bağlantılı fırsatları keşfetme şanslarını azaltmaktadır.
- 24) Bilgi eksikliği E4.0'a geçişte engelleyici faktörlerden biridir.
- 29) Gelişmekte olan ülkelerde eğitim sistemlerinin iş gücünü geleceğe yönelik olarak hazırlaması, E4.0'a geçişi etkiler.
- 30) Mesleki okullardaki ve üniversitelerdeki öğretmenlerin E4.0 konusundaki yetkinliklerinin artırılması, gelişmekte olan ülkelerin E4.0'a geçişini etkiler.
- 35) E4.0'a geçişte liderler, yıkıcı teknolojilere adapte olurken dijital dünyada gezinmelerini ve iletişim kurmalarını sağlayacak teknik ve dijital yeteneklere sahip olmalıdırlar.
- 36) Mevcut iş gücünün sahip olduğu yetkinlikler ile E4.0 ile ilişkilendirilen yetkinlikler arasındaki fark, gelişmekte olan ülkelerin ekonomik kalkınması için önemli bir engel teşkil etmektedir.
- 37) E4.0 gibi ilerlemelerin sürdürülebilmesi için kapsamlı bir sanayi politikası gereklidir.
- 38) Organizasyonların E4.0'ı başarıyla uygulayabilmesi için yenilikçi stratejilere ve hükümet politikalarına ihtiyaçları vardır.
- 39) E4.0'a geçişte gerekli teknolojinin gelişmesi için yenilik ve girişimcilik ekosistemleri için kolaylaştırıcı düzenlemeler yapılması gerekmektedir.
- 41) Gelişmekte olan ülkelerde E4.0 uygulamalarının benimsenmesi ülkelerin rekabet gücü, ekonomik büyümesi ve sanayide verimliliği arttırmak açısından önemlidir.

## Türkiye'de Finansal Esneklik ve Yatırım Verimliliği: Borsa İstanbul BIST Temettü Endeksi Şirketleri Üzerine Bir İnceleme

Emine Karaçayır<sup>1</sup> 

### ÖZET

**Amaç:** Bu çalışmanın amacı, Türkiye'de 2005-2023 yılları arasında Borsa İstanbul BIST Temettü Endeksi'nde faaliyetlerine devam eden şirketlerin finansal esnekliğinin yatırım verimliliği üzerindeki etkisini araştırmaktır.

**Yöntem:** Borsa İstanbul Temettü Endeksi'nde faaliyet gösteren 89 şirketin 2005-2023 dönemi verileri kullanılarak panel veri analizi gerçekleştirilmiştir. Bağımlı değişkenin gecikmeli değerlerinin bulunması nedeniyle dinamik panel veri modeli kullanılmış ve Genelleştirilmiş Momentler Metodu (GMM) modeli tercih edilmiştir. Finansal esnekliği ölçmek için kullanılan yedek borç kapasitesi yönteminde üç yıl aralıksız finansal esnekliğe sahip olan şirketlere bir sonraki dönem için finansal esnekliğe sahip olması durumunda "1" değerinin verildiği, tersi durumda ise "0" değerinin verildiği kukla değişkeni oluşturulmuş, bu değişken aynı zamanda finansal esneklik değişkeni olarak kullanılmıştır.

**Bulgular:** Şirketlerin, yatırımlarını yedek borç kapasitelerini kullanarak artırdığı ve bu sayede yatırımlarını daha etkin bir şekilde yönetebildiği görülmüştür. Aynı zamanda finansal esnekliği yüksek olan şirketlerin yatırımlarını artırarak daha verimli sonuçlar elde ettiği tespit edilmiştir.

**Özgünlük:** Genel olarak finansal esneklik ve firma performansı arasındaki ilişki ve finansal esnekliğin; varlık yapısı, sermaye yapısı ve kar dağıtım politikaları ile olan ilişki araştırılmıştır. Bu çalışmada finansal esnekliğin yatırım verimliliği üzerine etkiyi araştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Finansal Esneklik, Yatırım Verimliliği, BIST Temettü.

**JEL Kodları:** G11, G31, G32.

## Financial Flexibility and Investment Efficiency in Türkiye: A Review of Borsa İstanbul BIST Dividend Index Companies

### ABSTRACT

**Purpose:** The aim of this study is to investigate the impact of financial flexibility on investment efficiency for companies that have been operating in the Borsa İstanbul BIST Dividend Index between 2005 and 2023.

**Methodology:** Panel data analysis was conducted using data from 89 companies operating in the Borsa İstanbul Dividend Index over the period 2005–2023. Due to the presence of lagged values of the dependent variable, a dynamic panel data model was employed, and the Generalized Method of Moments (GMM) estimator was selected. In the excess debt capacity method used to measure financial flexibility, a dummy variable was created that takes a value of "1" if companies maintaining financial flexibility for three consecutive years continue to be financially flexible in the subsequent period, and "0" otherwise. This variable was also used as the measure of financial flexibility.

**Findings:** It is observed that companies can increase their investments by utilizing their reserve debt capacity and thus manage their investments more efficiently. At the same time, it is also found that companies with high financial flexibility achieve more efficient results by increasing their investments.

**Originality:** In general, the relationship between financial flexibility and firm performance and the relationship between financial flexibility and asset structure, capital structure and dividend policy have been investigated. This study investigates the effect of financial flexibility on the investment efficiency.

**Keywords:** Financial Flexibility, Investment Efficiency, BIST Dividend.

**JEL Codes:** G11, G31, G32.

<sup>1</sup> Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, İktisadi. ve İdari Bilimler Fakültesi, Uluslararası Ticaret ve İşletmecilik Bölümü, Karaman, Türkiye

Sorumlu Yazar-Corresponding Author: Emine Karaçayır, eminekalayci@kmu.edu.tr

DOI: 10.51551/verimlilik.1646706

Araştırma Makalesi / Research Article | Geliş / Submitted: 25.02.2024 | Kabul / Accepted: 03.07.2025

Atrf: Karaçayır, E. (2025). "Türkiye'de Finansal Esneklik ve Yatırım Verimliliği: Borsa İstanbul BIST Temettü Endeksi Şirketleri Üzerine Bir İnceleme", *Verimlilik Dergisi*, 59(3), 701-714.

## EXTENDED ABSTRACT

Financial flexibility is the ability of businesses to obtain sufficient borrowing capacity that allows them to finance their operations at low cost. Financial flexibility plays a critical role not only during times of crisis but also in seizing opportunities. By maintaining financial flexibility, companies are better positioned to take advantage of growth opportunities. Financial flexibility is based on principles such as borrowing at favorable costs, maintaining adequate cash or liquid assets, effective management of financial resources, and properly managing financial risks against unforeseen events to achieve long-term strategic objectives. Therefore, companies should design their financial strategies to strengthen financial flexibility, which is essential for achieving a sustainable competitive edge. This study distinguishes itself from others by examining the effect of financial flexibility on investment efficiency. Using data from 89 companies listed in the BIST Dividend Index for the period 2005–2023, the study investigates both the levels of financial flexibility and its impact on investment efficiency.

The aim of this study is to investigate the effect of financial flexibility on investment efficiency for companies operating in the Borsa Istanbul BIST Dividend Index between 2005 and 2023 in Türkiye. This study distinguishes itself from others by examining the impact of financial flexibility on investment efficiency. Using data from 89 companies listed in the BIST Dividend Index for the 2005–2023 period, the study analyzes both the levels of financial flexibility and its effect on investment efficiency.

Using data from 89 companies listed in the Borsa Istanbul Dividend Index for the period 2005–2023, a panel data analysis was conducted. Due to the inclusion of lagged values of the dependent variable, a dynamic panel data model was employed, and the Generalized Method of Moments (GMM) was preferred. The dynamic leverage model, developed based on the studies of Frank and Goyal (2007), Marchica and Mura (2010), and Cherkasova and Kuzmin (2018), was used to determine the spare debt capacity. In the method used to measure financial flexibility through spare debt capacity, a dummy variable was created that takes the value "1" if a company has financial flexibility for three consecutive years and maintains it in the following period, and "0" otherwise. This dummy variable was also used as the financial flexibility variable.

The study found that firms with spare debt capacity and financial flexibility finance their investments through this capacity, and these firms exhibit higher investment efficiency. It was observed that firms with high financial flexibility are able to manage their investments more efficiently and take advantage of investment opportunities more effectively. A positive relationship was identified between financial flexibility and investment efficiency. Firms with high financial flexibility can enhance their investment efficiency by financing their investments through spare debt capacity. Additionally, firm size was found to have a positive and significant effect on investment efficiency.

When the overall results of the study are considered, it was found that firms with spare debt capacity and financial flexibility finance their investments using this capacity, and these firms exhibit higher investment efficiency. The findings indicate that all the proposed hypotheses were validated. These results reveal that financial flexibility is a significant factor in seizing investment opportunities and enhancing investment efficiency. It was observed that firms with high financial flexibility are able to manage their investments more efficiently and take advantage of investment opportunities more effectively. A positive relationship was identified between financial flexibility and investment efficiency. Firms with high flexibility can increase their investment efficiency by financing their investments through spare debt capacity. Additionally, firm size was found to have a positive and significant effect on investment efficiency.

The findings show that financial flexibility is a critical factor in utilizing investment opportunities and improving investment efficiency. Firms with financial flexibility can make more sustainable investments during periods of crisis, enhance their investment efficiency, and contribute to long-term growth. The study suggests that policymakers and regulatory authorities should develop supportive financial policies that encourage companies to increase their financial flexibility. Examining the impact of financial flexibility on investment decisions on a sectoral basis is important for understanding how financial flexibility functions across different industries.

## 1. GİRİŞ

Finansal esneklik, işletmelerin faaliyetlerini finanse etmek için düşük maliyetle borçlanma imkânı elde etmelerini sağlayan yeterli borçlanma kapasitesi yeteneğidir. Finansal esneklik, bir işletmenin ekonomik dalgalanmalar ve olumsuz koşullarda dahi uygun finansman kaynaklarına erişim sağlayarak, nakit akışları veya sermaye yatırımlarındaki beklenmedik değişimlere hızlı ve optimum şekilde yanıt verebilme kapasitesidir (Brigham, 1999:356). Aynı zamanda bir işletmenin yatırım yetersizliği sorunlarını ve finansal kısıtlamaları aşma becerisi olarak da tanımlanmaktadır (Bonaimê ve diğerleri, 2014:3). Genel anlamda finansal esneklik, bir işletmenin değişen ekonomik koşullara veya beklenmeyen finansal zorluklara hızla uyum sağlama ve bunları etkili bir şekilde yönetme yeteneğidir. Finansal esneklik, işletmelerin sadece kriz dönemlerinde değil, aynı zamanda fırsatları değerlendirme noktasında da kritik bir rol oynamaktadır. Şirketlerin finansal esnekliklerini koruyarak büyüme fırsatlarını daha etkin bir şekilde değerlendirmeleri mümkündür. Finansal esneklik, işletmelerin uzun vadeli stratejik hedeflerine ulaşabilmeleri için uygun maliyetli borçlanma, yeterli nakit veya likit varlık bulundurma, finansal kaynakların etkin bir şekilde yönetilmesi ve beklenmedik durumlara karşı finansal risklerin iyi yönetilmesi esaslarına dayanmaktadır. Bu doğrultuda şirketlerin finansal politikalarını finansal esnekliği artıracak şekilde oluşturmaları, rekabet avantajı elde etmeleri açısından önemlidir.

Finansman, yatırım ve kârlılık kararları ile finansal esneklik arasındaki ilişkiyi ilk inceleyen Gamba ve Triantis (2008), geliştirdikleri dinamik model sonucunda finansal esneklik ve firma değerini etkileyen beş faktörü belirlemişlerdir: Kârlılık, büyüklük, finansman maliyeti, nakit tutma maliyeti ve sermayenin dönüştürülebilirliği. Önceki çalışmalarda genellikle finansal esnekliğin; varlık yapısı, sermaye yapısı ve kâr dağıtım politikaları ile olan ilişkisi araştırılmıştır (Lie, 2005; Marchica ve Mura, 2010; Ayaydın-Arslan ve diğerleri, 2014; Abdioğlu ve Aytekin, 2016; Cherkasova ve Kuzmin, 2018; Söker ve Cihangir, 2022). Finansal esneklik ve firma performansı arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışmalar arasında Mokhtar ve diğerleri (2013), Choi ve diğerleri (2015), Bouchani ve Ghanbari (2015), Abdioğlu ve Aytekin (2016), Mahmood ve diğerleri (2018), Al-Slehat (2019), Chang ve Ma (2019), Altaf (2020) ve Topaloğlu ve Ege (2021) yer almaktadır.

Finansal esneklik ile yatırım kapasitesi arasındaki ilişkiyi Birleşik Krallık özelinde inceleyen Marchica ve Mura (2010), 1965-2008 dönemini kapsayan bir analizle finansal esnekliğin yatırım kapasitesini artırdığı sonucuna ulaşmışlar ve finansal açıdan esnek olan işletmelerin daha fazla yatırım yapabileceği tespit edilmiştir. Jong ve diğerleri (2012), ABD firmaları üzerinde 1985-2002 döneminde yaptıkları araştırmada, borçlanma düzeyi yüksek olan firmaların daha fazla yatırım yaptığı sonucuna ulaşmışlardır. Liping ve diğerleri (2013) ise Çin Borsası'nda 1999-2011 döneminde yaptıkları çalışmada, yüksek nakit düzeyi ve düşük kaldıraç oranının finansal esnekliği artırdığını ve finansal esnekliğin hem finansal performansı iyileştirdiğini hem de yatırımları artırdığını ortaya koymuşlardır. Arslan-Ayaydın ve diğerleri (2014), finansal esneklik, firma performansı ve yatırımlar arasındaki ilişkiyi Doğu Asya firmaları özelinde 1994-2009 döneminde incelemiş ve Asya krizi döneminde finansal esnekliğin firma performansı üzerinde belirleyici bir faktör olduğunu ortaya koymuşlardır. Özellikle kriz öncesinde finansal açıdan esnek olan firmaların yatırımlarının ve kârlılıklarının diğer firmalara göre daha iyi olduğu belirlenmiştir. Finansal esneklik ve yatırım ilişkisinin 33 gelişmekte olan ülke özelinde 1991-2010 döneminde inceleyen Yung ve diğerleri (2015), finansal esnekliğin pozitif bir etkiye sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Ma ve Jin (2016) ise Çin Borsası'na kote imalat işletmelerini 2010-2013 dönemi için inceleyerek, finansal esnekliğin yatırım ve firma performansı üzerindeki olumlu etkilerini ortaya koymuşlardır. Ayrıca, Abdioğlu ve Aytekin (2016), Borsa İstanbul imalat sanayi firmaları üzerinde finansal esnekliğin firma performansı üzerindeki etkisini inceleyerek, düşük kaldıraç oranına ve yüksek nakit seviyesine sahip firmaların finansal esneklik açısından avantajlı olduğunu tespit etmiştir. Akçay ve Sayın (2022) ise Borsa İstanbul'da faaliyet gösteren firmaların finansal esneklik düzeyleri ile yatırım harcamaları arasındaki pozitif ilişkiyi ortaya koymuştur. Söker ve Cihangir (2022), finansal esneklik ile finansal politikalar arasındaki bağlantıyı değerlendirerek, finansal esnekliğin firma değerini artırdığı sonucuna ulaşmıştır. Parlak ve Özdemir (2011), küreselleşme ve teknolojik değişimlerin finansal esneklik ihtiyacını artırdığını vurgulamıştır. Bu araştırmaların genel sonuçları değerlendirildiğinde, finansal esnekliğin yalnızca finansal performansı değil, aynı zamanda yatırım kararlarını da doğrudan etkilediği görülmektedir. Finansal esnekliği yüksek firmaların, özellikle ekonomik krizler gibi belirsizlik dönemlerinde daha sürdürülebilir yatırımlar gerçekleştirebildikleri ve kârlılıklarını koruyabildikleri anlaşılmaktadır. Bu durum, şirketlerin finansal stratejilerini oluştururken finansal esnekliği bir öncelik olarak değerlendirmelerinin önemini vurgulamaktadır.

Bu çalışma, finansal esnekliğin yatırım verimliliği üzerindeki etkisini inceleyerek diğer araştırmalardan ayrılmaktadır. BIST Temettü Endeksi'nde faaliyet gösteren 89 şirketin 2005-2023 dönemine ait verileri kullanılarak bu şirketlerin finansal esneklik düzeyleri ile finansal esnekliğin yatırım verimliliği üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmada veri seti ve yöntemin açıklanmasının ardından bulgulara yer verilmiş ve sonuç bölümünde bulgular yorumlanmıştır.

## 2. VERİ SETİ ve YÖNTEM

Finansal esneklik daha önce yapılan çalışmalarda farklı yöntemlerle belirlenmiştir. Finansal esneklikle ilgili önemli fikirler, Modigliani ve Miller (1958) tarafından ortaya konulan sermaye yapısı teorileri ve şirketlerin borçlanma kararlarının önemiyle ilişkilendirilse de literatürde genellikle iki temel yöntemin kullanıldığı görülmektedir.

Birinci yöntem, kaldıraç modelleri temel alınarak yedek borç kapasitesinin hesaplanmasıdır. Marchica ve Mura (2010) ile Cherkasova ve Kuzmin (2018) bu yöntemi kullanarak finansal esnekliği (FF) detaylı bir şekilde analiz etmişlerdir. Bu çalışmalar, şirketlerin borçlanma stratejilerinin finansal esneklik üzerindeki etkilerini anlamaya yönelik önemli katkılar sunmaktadır. Kaldıraç ve yedek borç kapasitesini finansal esneklikle ilişkilendiren bu araştırmalar, şirketlerin dış finansman kaynaklarına erişimi, yatırım politikaları ve büyüme stratejilerini değerlendirme açısından önemli bilgiler sağlamaktadır.

Bu yöntemde yedek borç kapasitesi, şirketlerin mevcut borçları ile tahmini borçları arasındaki fark olarak hesaplanmaktadır. Yedek borç kapasitesi yöntemine göre belirli bir süre boyunca şirketler yedek borç kapasitesine sahipse, bu şirketler gelecek dönemde finansal esnekliğe sahip olarak nitelendirilmektedir. Özellikle üç yıl boyunca aralıksız finansal esnekliğe sahip şirketlerin, bir sonraki dönemde de finansal esnekliğe sahip olup olmadığı belirlenerek "1" veya "0" değeri atanmakta ve böylece bir kukla değişken oluşturulmaktadır. Frank ve Goyal (2009), Marchica ve Mura (2010) ile Cherkasova ve Kuzmin (2018) tarafından yapılan çalışmalarda oluşturulan dinamik kaldıraç modeli, finansal esneklik analizlerinde sıkça kullanılan yöntemlerden biri olmuştur.

İkinci yöntem ise finansal esnekliği değer bazında hesaplayan finansal esneklik endeksi yöntemidir. Bu yöntemde, şirketlerin likidite oranları, kaldıraç oranları, nakit rezervleri ve borç ödeme kapasiteleri dikkate alınarak, finansal esneklik düzeyleri ölçülmektedir. Finansal esneklik endeksi, şirketlerin finansal karar alma süreçlerinde kritik bir gösterge olup, işletmelerin ekonomik dalgalanmalara karşı dayanıklılığını belirlemede önemli bir ölçüm aracı olarak kullanılmaktadır.

Genel olarak, finansal esneklik ölçüm yöntemleri, işletmelerin yatırım stratejilerini belirleme, finansman kararlarını optimize etme ve uzun vadeli sürdürülebilir büyüme sağlama açısından kritik bir rol oynamaktadır. Bu yöntemlerin her biri, işletmelerin finansal esneklik düzeylerini farklı açılardan ele alarak, işletme performansı ve sürdürülebilirlik üzerindeki etkilerini anlamamıza yardımcı olmaktadır.

Frank ve Goyal (2007), Marchica ve Mura (2010) ve Cherkasova ve Kuzmin (2018) yapmış oldukları çalışmalara göre oluşturulan yedek borç kapasitesinin belirlenmesi aşamasında oluşturulan dinamik kaldıraç modeli Eşitlik 1'de yer almaktadır.

$$LR_{it} = \beta_0 LR_{it-1} + \beta_1 \ln LR_{it} + \beta_2 Q_{it} + \beta_3 \log FB_{it} + \beta_4 VYO_{it} + \beta_5 Ebitda_{it} + \mu_i + \lambda_t + v_{it} \quad (1)$$

Finansal esneklik endeksi yöntemini potansiyel nakit girişleri ve nakit varlık düzeyleri ile ifade eden Ma ve Jin (2016) ile Chang ve Ma (2019) aynı zamanda finansal risklerinde etkili olduğunu savunmuşlardır. Marchica ve Mura (2010) ve Cherkasova ve Kuzmin (2018) geliştirmiş oldukları modelde esnekliğin yatırımları ve yatırımların verimliliğini etkilediğini savunmuşlardır. Finansal esneklik ve yatırım verimliliği hipotezleri Eşitlik 2-5'te yer almaktadır.

H1<sub>0</sub>: Yedek borç kapasitesi ve finansal esnekliği olan şirketler yatırımlarını yedek borç kapasitesi kullanarak finanse etmektedir.

$$SH_{(i,t)} = \beta_0 SH_{i,t-1} + \beta_1 FF_{(i,t)} + \beta_2 NA_{(i,t-1)} + \beta_3 FF_{(i,t)} * NA_{(i,t-1)} + \beta_4 Q_{(i,t)} + \mu_i + \lambda_t + v_{i,t} \quad (2)$$

$$SH_{(i,t)} = \beta_0 SH_{(i,t-1)} + \beta_1 FF_{(i,t)} + \beta_2 Ebitda_{(i,t-1)} + \beta_3 FF_{(i,t)} * Ebitda_{(i,t-1)} + \beta_4 Q_{(i,t)} + \mu_i + \lambda_t + v_{i,t} \quad (3)$$

H2<sub>0</sub>: Yedek borç kapasitesine ve finansal esnekliği olan şirketlerin, yatırımlarının verimlilikleri yüksektir.

$$LR_{(i,t)} = \beta_0 + \beta_1 FF_{i,t} + \beta_2 FB_{i,t} + \beta_3 Q_{i,t} + \mu_i + \lambda_t + v_{i,t} \quad (4)$$

H3<sub>0</sub>: Nakitler, varlıklar ve riskler baz alarak hesaplanan esneklik değeri yüksek şirketler yüksek yatırım verimliliğine sahiptir.

$$LR_{(i,t)} = \beta_0 + \beta_1 FF_{i,t} + \beta_2 FB_{i,t} + \beta_3 Q_{i,t} + \mu_i + \lambda_t + v_{i,t} \quad (5)$$

Değişkenlere ilişkin açıklamalar Tablo 1'de yer almaktadır.

**Tablo 1. Değişkenler ve açıklamalar**

| Değişkenler   | Açıklamalar                                                                                                                                                                      |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $LR_{it}$     | Toplam borçların/ toplam varlıklar                                                                                                                                               |
| $LR_{it-1}$   | Bir önceki döneme ait borç oranını                                                                                                                                               |
| $lnLR_{it}$   | Yedek borç kapasitesini temsil eden sektörün borç oranı medyanı. Bu değişken yatırım verimliliği değişkeni, 0'a yaklaştıkça verimliliğin arttığı şeklinde değerlendirilmektedir. |
| $Q_{it}$      | Şirketin piyasa değeri/ varlıkların yerine koyma maliyeti (Tobin ve William, 1976: 18)                                                                                           |
| $LogFB_{it}$  | Toplam varlıkların logaritmik değeri olan şirket büyüklüğü                                                                                                                       |
| $VY_{it}$     | Duran varlıklar/ toplam varlıklar                                                                                                                                                |
| $EBITDA_{it}$ | Faiz, vergi, amortisman öncesi kârını/toplam varlıklar                                                                                                                           |
| $SH$          | Duran varlık harcamaları/toplam varlıklar (Sermaye Harcamaları)                                                                                                                  |
| $FB$          | Varlıkların logaritmik değeri                                                                                                                                                    |
| $NA$          | Nakit vb. varlıklar/toplam varlıklar                                                                                                                                             |
| $FF$          | Yedek borç kapasitesine sahip şirketlere 1, sahip olmayan şirketlere ise 0 değeri atanan kukla değişken                                                                          |
| $\mu_i$       | Birim etkisi                                                                                                                                                                     |
| $\lambda_t$   | Zaman etkisi                                                                                                                                                                     |

Çalışmada 2005-2023 yılları arasında Borsa İstanbul BIST Temettü endeksinde yer alan Finnet 2000 plus veri tabanı aracılığıyla finansal verilerine tam erişilebilen 89 şirketin verileriyle panel veri analizi yapılmıştır. Panel veri analizinde, bağımlı değişkenin gecikmeli değerlerinin bağımsız değişkenler arasında yer alması durumunda dinamik panel veri modelleri uygulanmaktadır. Buna ek olarak, modellerde otokorelasyonun mevcut olduğu ve gözlem birimlerinin sayısının zaman periyotlarına oranla anlamlı derecede yüksek olduğu koşullarda, genelleştirilmiş momentler yöntemi (GMM) tercih edilmektedir (Yerdelen, 2020: 115). Modelin temel varsayım testlerinden biri olan otokorelasyon testi, Arellano ve Bond (1991) tarafından önerilen yöntemle gerçekleştirilmekte olup, modelde ikinci dereceden otokorelasyonun bulunmaması gerekmektedir. Bu testlerin ardından, GMM modelleri çerçevesinde Blundell ve Bond (1998) tarafından yapılan analiz, fark GMM modeline kıyasla daha etkin tahminler üretebilen sistem GMM modeli tercih edilmiştir. 3 yıl boyunca aralıksız finansal esnekliğe sahip şirketler, bir sonraki dönemde de finansal esnekliğe sahiplerse "1" değeri verilmiş değiller ise "0" değeri verilerek bir kukla değişken yani finansal esneklik değişkeni oluşturulmuştur. FF yönteminde kullanılan dinamik kaldıraç modeli baz alınarak hesaplanan tamamlayıcı istatistikler Tablo 2'de yer almaktadır. Tabloda 2005-2023 dönemi BIST Temettü endeksinde faaliyet gösteren 89 şirketin 1691 gözlemden oluşan verileri sunulmuştur.

**Tablo 2. Dinamik model için tanımlayıcı istatistikler**

|          | Ortalama | Medyan | Maks.  | Min.   | Std.Sapma | Çarpıklık | Basıklık |
|----------|----------|--------|--------|--------|-----------|-----------|----------|
| $LR$     | 0,4632   | 0,4668 | 0,9828 | 0,0082 | 0,1264    | 0,0002    | 2,5132   |
| $LnR$    | 0,4262   | 0,5002 | 0,8922 | 0,0629 | 0,1012    | 0,0000    | 3,9862   |
| $Q$      | 2,1023   | 1,2869 | 9,4202 | 0,1046 | 1,0308    | 0,0011    | 2,8951   |
| $LogFB$  | 3,4462   | 2,8201 | 4,7378 | 1,1802 | 0,2106    | 0,0000    | 3,0082   |
| $VYO$    | 0,4642   | 0,5842 | 0,9684 | 0,1080 | 0,1045    | 0,0003    | 2,6827   |
| $Ebitda$ | 0,1248   | 0,1022 | 1,6218 | 0,6247 | 0,0812    | 0,0000    | 1,9782   |

Tanımlayıcı istatistik sonuçlarına göre firmalarının varlıklarının yarıya yakını borç (LR) ile finanse ettiği, faiz, vergi ve amortisman öncesi kârlılıklarının (Ebitda) ortalama 0,12 düzeyinde olduğu, varlıklarının yaklaşık yarısının duran varlıklardan oluştuğu görülmektedir. Ayrıca çarpıklık ve basıklık değerleri incelendiğinde değişkenlerin normal dağıldıkları belirlenmiştir. ADF ve KPSS testleri sonuçlarına göre değişkenlerin durağan olmadığı tespit edilmiştir. Bu nedenle, değişkenlere logaritmik dönüşüm uygulanmış ve dönüşüm sonrasında değişkenlerin durağan hale geldiği gözlemlenmiştir.

Finansal esneklik değişkeninin belirlenmesi amacıyla, şirketlerin tahmini borç oranlarını tespit etmek ve yedek borç kapasitelerini hesaplamak için dinamik kaldıraç modeli kullanılmıştır. (1) fark genelleştirilmiş momentler metoduna göre daha etkili tahminler verdiği tespit edilen (Blundell ve Bond, 1998: 138) sistem genelleştirilmiş momentler metodu (SYSGMM) ile tahmin edilmiştir. Bu model, genelleştirilmiş momentler yöntemiyle oluşturulmuş olup, gecikmeli değişkenlerin kullanılması ve değişken farklarının alınması nedeniyle analize dahil edilen gözlem sayısının 1691'den 1513'e düşmüş ve bu gözlemler kullanılarak tahmini borç oranları hesaplanmıştır. Modele ilişkin tahmin sonuçları Tablo 3'te raporlanmıştır. Tablo 3'teki Arellano-Bond (1991) otokorelasyon testi sonuçları, birinci dereceden otokorelasyonun var olduğunu, ancak ikinci dereceden otokorelasyonun olmadığını göstermektedir.

**Tablo 3. Dinamik model için tahmin sonuçları**

| Değişkenler      | Katsayılar          | İstatistikler       | Değerler |
|------------------|---------------------|---------------------|----------|
| $LR_{(i,t-1)}$   | (0,0122) 0,5253***  | Olasılık Değeri     | 94,2011  |
| $lnR_{(i,t)}$    | (0,0164) 0,2849***  | Hansen J İstatistik | 0,1982   |
| $Q_{(i,t)}$      | (0,0028) 0,0097***  | Olasılık Değeri     | 0,0000   |
| $LogFB_{(i,t)}$  | (0,0064) 0,0512     | Arellano-Bond (1)   | -5,0212  |
| $VYO_{(i,t)}$    | (0,0112) -0,0728*** | Olasılık Değeri     | 0,1000   |
| $Ebitda_{(i,t)}$ | (0,0142) -0,1427*** | Arellano-Bond (2)   | -0,0142  |

Not: Modelde parantez içinde yer alan değerler standart hataları, \*\*\* işareti 0,01 düzeyinde anlamlılığı göstermektedir. Birim ve zaman etkisi mevcuttur.

Tablo 3'teki sonuçlara bakıldığında, gecikmeli borç oranının, şirketlerin tahmin edilen borç oranını en fazla etkileyen değişken olduğu görülmektedir. 0,5253 katsayısı ile 0,01 anlamlılık düzeyinde pozitif ve güçlü bir etkiye sahip ve bu bağımlı değişkenin geçmiş değerinin mevcut değer üzerinde önemli bir etkisi olduğunu gösterir. Elde edilen bu sonuç Marchica ve Mura (2010) ile Cherkasova ve Kuzmin (2018) daha önce yapmış olduğu çalışmaları destekler niteliktedir. Şirketin borç oranları üzerindeki diğer değişkenlerin etkileri incelendiğinde ise, Ebitda değişkeninin -0,1427 katsayısıyla negatif ve anlamlı, FB değişkeninin 0,0512 katsayısıyla pozitif, VYO değişkeninin -0,0728 katsayısıyla negatif ve anlamlı ve Q değişkeninin 0,0097 katsayısı ile istatistiksel olarak anlamlı etkiler sağladığı belirlenmiştir. Ayrıca Arellano-Bond (1991) test sonuçlarına göre modelde 1. derece otokorelasyon mevcut ancak 2. derece otokorelasyonun olmaması modelin güvenilir olduğunu gösteriyor. Bu modelden elde edilen katsayılarla, tahmin edilen borç oranlarının hesaplandığı denklem şu şekildedir (Eşitlik 6).

$$LR_{it} = 0,5353 * LR_{it-1} + 0,2849 * lnR_{it} + 0,0097 * Q_{it} + 0,0512 * LogFB_{it} - 0,0728 * VYO_{it} - 0,1427Ebitda_{it} + \mu_i + \lambda_t + v_{it} \quad (6)$$

Bu model kullanılarak her yıl için tahmin edilen borç oranları hesaplanmıştır. Yedek borç kapasitelerini elde etmek için, tahmin edilen borç oranları ve gerçekleşen borç oranları arasındaki fark alınmıştır. Elde edilen veriler ve tanımlayıcı istatistikler, Tablo 4'te sunulmuştur. Hesaplamalar, 2007-2023 yılları arasında 89 şirkete ait toplam 1513 gözlem üzerinden yapılmıştır.

**Tablo 4. Tanımlayıcı istatistikler**

|        | Ort.    | Med.   | Mak.   | Min.    | Std.S. |
|--------|---------|--------|--------|---------|--------|
| NA     | 0,1152  | 0,0764 | 0,6438 | 0,0000  | 0,1712 |
| Ebitda | 0,0884  | 0,9482 | 0,5824 | -0,6799 | 0,0846 |
| YBK    | 0,0872  | 0,9568 | 0,7122 | -0,4632 | 0,0702 |
| ÖFK    | 0,07501 | 1.0000 | 1.0000 | 0.0000  | 0,3462 |

Ebitda oranı ortalama %8 olarak gerçekleşmiştir. Dinamik kaldıraç modeliyle hesaplanan yedek borç kapasitesi (YBK) oranı da %8 seviyesinde, öz kaynaklarla sağlanan finansman kapasitesi (ÖFK) oranı ise %75 düzeyinde ölçülmüştür.

Finansal esnekliğin yatırım harcamalarıyla olan ilişkisinin incelendiği dinamik yatırım modeli, GMM yöntemiyle tahmin edilmiş ve değişkenlerin geçerliliği ile otokorelasyon test sonuçları Tablo 5'te sunulmuştur.

**Tablo 5. GMM yöntemine göre varsayım testleri**

| Testler             | FF      |
|---------------------|---------|
| Hansen J İstatistik | 78,3295 |
| Olasılık Değeri     | 0.0512  |
| Arellano-Bond (AR1) | -5,0095 |
| Olasılık Değeri     | 0,0000  |
| Arellano Bond (AR2) | -0,7618 |
| Olasılık Değeri     | 0,5252  |

Hansen J (1982) test sonuçları incelendiğinde, değişkenlerin dışsal olduğu, otokorelasyon test sonuçlarına bakıldığında ise, birinci dereceden otokorelasyon varlığı tespit edilmiş, ancak ikinci dereceden otokorelasyonun mevcut olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

### 3. BULGULAR

Yedek borç kapasitesi ve finansal esneklik düzeyinin yanı sıra, önceki dönemde yüksek esnekliğe sahip olan şirketlerin yatırım harcamaları Tablo 6'da raporlanmıştır. Tablo 6'ya göre yüksek esnekliğe sahip olan şirketlerin yatırım harcamaları arttığı görülmektedir.

**Tablo 6. Tahmin sonuçları**

| <i>SH</i>                        | <i>FF</i>             |
|----------------------------------|-----------------------|
| <i>FF</i> <sub>(i,t)</sub>       | (0,0012)<br>0,0038*** |
| <i>SH</i> <sub>(i,t-1)</sub>     | (0,0112)<br>0,2825**  |
| <i>Ebitda</i> <sub>(i,t-1)</sub> | (0,0188)<br>0,0659*** |
| <i>Q</i> <sub>(i,t)</sub>        | (0,0006)<br>0,0032**  |

Marchica ve Mura'nın (2010) yaklaşımına göre, finansal esneklik ile sermaye yatırımları arasındaki ilişkide Hansen (1982) J testi, modellerde araç değişkenlerin geçerliliğini doğrulamaktadır. Arellano-Bond (1991) otokorelasyon testi sonuçlarına göre, modellerde birinci dereceden otokorelasyonun mevcut olduğu, ancak ikinci dereceden otokorelasyonun olmadığı görülmüş, daha etkili sonuçlar elde etmek için Sistem Genelleştirilmiş Momentler Metodu SYSGMM modelinin tahmin sonuçları Tablo 7'de sunulmuştur.

**Tablo 7. SYSGMM modeli tahmin sonuçları**

| <i>SH</i>                           | <i>FF-Nakit ve Eşdeğer Varlık</i> |            | <i>FF Nakit Döngüsü</i> |            |
|-------------------------------------|-----------------------------------|------------|-------------------------|------------|
| <i>FF</i> <sub>(i,t)</sub>          | (0,0018)                          | 0,0210***  | (0,0017)                | 0,0048**   |
| <i>FF NA</i> <sub>(i,t-1)</sub>     | (0,0125)                          | -0,0850*** |                         |            |
| <i>NA</i> <sub>(i,t-1)</sub>        | (0,0076)                          | 0,0578**   |                         |            |
| <i>FF Ebitda</i> <sub>(i,t-1)</sub> |                                   |            | (0,0118)                | -0,0289*** |
| <i>Ebitda</i> <sub>(i,t-1)</sub>    |                                   |            | (0,0187)                | 0,0786**   |
| <i>SH</i> <sub>(i,t-1)</sub>        | (0,0218)                          | 0,3600**   | (0,0210)                | 0,3232**   |
| <i>Q</i> <sub>(i,t-1)</sub>         | (0,0006)                          | 0,0027***  | (0,0005)                | 0,0022***  |

Parantez içinde verilen değerler standart hataları, \*\*\* %1, \*\* %5 düzeyinde istatistiksel anlamlılığı ifade etmektedir. Birim ve zaman etkisi mevcuttur.

FF-Nakit ve Eşdeğer Varlık modeline göre, FF ve NA(t-1) değişkenlerinin sermaye yatırım harcamaları üzerinde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi olduğu; buna karşılık, finansal esnekliğe sahip işletmelerin nakit döngülerinin sermaye yatırım harcamaları üzerinde negatif ve anlamlı bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde, FF-Nakit Döngüsü modeline ilişkin analizler, FF ve NA(t-1) değişkenlerinin sermaye yatırım harcamalarını pozitif ve anlamlı bir şekilde etkilediğini, ancak finansal esnekliğe sahip işletmelerin nakit döngüsünün sermaye harcamalarıyla negatif ve anlamlı bir ilişki sergilediğini ortaya koymaktadır. Bu bulgular, finansal esnekliğe sahip şirketlerin sermaye yatırımlarını genellikle yedek borçlanma kapasitesini kullanarak finanse ettiklerini göstermektedir.

Esneklik ve verimlilik arasındaki ilişkiyi inceleyen modele ilişkin analizlerde, Hansen (1982) J testi sonuçları, kullanılan araç değişkenlerinin geçerliliğini doğrulamaktadır. Ayrıca, Arellano-Bond (1991) otokorelasyon testi bulgularına göre birinci derecede otokorelasyon tespit edilmiş, ancak ikinci derecede otokorelasyon olmadığı belirlenmiştir. Model sonuçları ise Tablo 8'de ayrıntılı olarak sunulmuştur.

**Tablo 8. Dinamik yatırım modeli sonuçları**

| <i>Değişkenler</i>               | <i>Katsayılar</i>      | <i>Test ve İstatistikler</i>           | <i>Değerler</i>   |
|----------------------------------|------------------------|----------------------------------------|-------------------|
| <i>SH</i> <sub>(i,t-1)</sub>     | (0,0056)<br>0,4148**   | Olasılık Değeri<br>Hansen (J)          | 0,1118<br>86,6235 |
| <i>NA</i> <sub>(i,t-1)</sub>     | (0,0039)<br>0,0364***  | Olasılık Değeri<br>Arellano Bond (AR1) | 0,0000<br>-4.3603 |
| <i>Ebitda</i> <sub>(i,t-1)</sub> | (0,0065)<br>0,0426***  | Olasılık Değeri<br>Arellano Bond (AR2) | 0,4012<br>-0,3809 |
| <i>LR</i> <sub>(i,t-1)</sub>     | (0,0027)<br>-0,0186**  |                                        |                   |
| <i>FB</i> <sub>(i,t-1)</sub>     | (0,0036)<br>-0,0316*** |                                        |                   |
| <i>Q</i> <sub>(i,t-1)</sub>      | (0,0019)<br>0,0046**   |                                        |                   |

Not: Parantez içinde verilen değerler standart hataları, \*\*\* %1, \*\* %5 düzeyinde istatistiksel anlamlılığı ifade etmektedir. Birim ve zaman etkisi mevcuttur.

Dinamik yatırım modeline ilişkin analiz sonuçları, şirketlerin yatırım harcamaları üzerinde, önceki dönemlere ait yatırım harcamalarının, nakit gibi varlık düzeylerinin ve Q oranlarının pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Buna karşılık, borçlanma düzeylerinin ve varlık değerlerinin yatırım harcamaları üzerinde negatif ve anlamlı bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. Modelin sonuçları

doğrultusunda, yatırım verimliliği değerlendirilmek üzere artık seriler tahmin edilmiş, bu serilerin mutlak değerleri kullanılarak yatırım verimliliği değişkeni (LR) oluşturulmuştur. Oluşturulan yatırım verimliliği (LnR) değişkenine ilişkin tanımlayıcı istatistikler ise Tablo 9'da sunulmuştur.

**Tablo 9. Yatırım verimliliği istatistikleri**

|     | Ortalama | Medyan | Maksimum | Minimum | Std. Sapma |
|-----|----------|--------|----------|---------|------------|
| LnR | 0,0356   | 0,0342 | 0,5248   | 0,0000  | 0,0319     |

Tablo 9'a göre ortalama değeri 0,0356 çıkmış ve firmaların yatırım verimliliğinin düşük ama pozitif olduğunu göstermektedir. Medyanın ortalamaya yakın olması ( $0,0342 \approx 0,0356$ ), yatırım verimliliği dağılımının dengeli olduğunu, standart sapması 0,0319 olması ise düşük bir yayılıma sahip olduğunu ve firmalar arasında yatırım verimliliğinin çok fazla değişmediğini göstermektedir.

Statik panel veri modelleri aracılığıyla finansal esneklik ve yatırım verimliliği arasındaki ilişki analiz edilmiş ve en uygun tahmin modelini belirlemek amacıyla F testi, LR testi ve Hausman (1978) testi uygulanmıştır. Elde edilen test sonuçları ise Tablo 10'da detaylı bir şekilde sunulmuştur.

**Tablo 10. Model seçim sonuçları**

| Testler          | İstatistik | Olasılık | İstatistik | Olasılık |
|------------------|------------|----------|------------|----------|
| Cross-Section F  | 3,8964     | 0,0000   | 3,8622     | 0,0000   |
| Cross-Section LR | 408,86     | 0,0000   | 412,64     | 0,0000   |
| Period F         | 2,8502     | 0,0032   | 2,9908     | 0,0005   |
| Period LR        | 32,988     | 0,0016   | 37,428     | 0,0003   |
| Hausman Testi    | 12,00      | 0,0026   | 12,68      | 0,0018   |

F ve LR testi sonuçlarına bakıldığında, modellerde klasik modelin geçerli olmadığı anlaşılmıştır. Hausman (1978) testi sonuçlarına göre, tesadüfi etkili modelin tutarsız, sabit etkili modelin ise tutarlı olduğu belirlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda, en uygun tahmin yönteminin, birim ve zaman etkilerini içeren iki yönlü sabit etkili modeller olduğu tespit edilmiştir.

Finansal esneklik ve yatırım verimliliği arasındaki ilişkiye yönelik oluşturulan modellerin temel varsayımlarını değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilen testlerde, heteroskedastisitenin varlığını incelemek için uygulanan Değiştirilmiş Wald testi sonuçları, birimlere göre heteroskedastisitenin mevcut olduğunu göstermiştir. Otokorelasyonun varlığını test etmek amacıyla kullanılan Bhargava ve diğerleri (1982) tarafından geliştirilen DW testi ile Baltagi-Wu (1999) tarafından önerilen LBI testi sonuçları, otokorelasyonun bulunmadığını ortaya koymuştur. Ek olarak, Pesaran (2004) CD testi sonuçları, modellerde birimler arası korelasyonun olmadığını göstermektedir. Temel varsayım testlerinin sonuçları doğrultusunda, daha etkin tahmin sonuçları elde edebilmek için White (1980) dirençli (robust) standart hatalar kullanılarak tahminler gerçekleştirilmiş ve model tahmin sonuçları Tablo 11'de ayrıntılı şekilde sunulmuştur.

**Tablo 11. Finansal esneklik ve yatırım verimliliği model tahmin sonuçları**

| InvR                      | FF        |          |
|---------------------------|-----------|----------|
| FF <sub>(i,t)</sub>       | (0,0024)  | -0,0062* |
| Size <sub>(i,t)</sub>     | (0,0198)  | 0,0176** |
| Tobinq <sub>(i,t)</sub>   | (0,0016)  | 0,0022   |
| C                         | (0,0822)  | -0,2108* |
| Birim/Zaman Etkisi        | Evet/Evet |          |
| Ayarlanmış R <sup>2</sup> | 0,1996    |          |
| F istatistik              | 3,8642*** |          |

Parantez içinde verilen değerler standart hataları göstermekte olup, \*\*\* %1, \*\* %5, \* %10 düzeyinde istatistiksel anlamlılığı ifade etmektedir.

Tablo 11'deki F istatistik değeri, modellerin anlamlı olduğunu gösterirken, R<sup>2</sup> değerinin yaklaşık 0,19 olduğu gözlemlenmektedir. Finansal esnekliğin (FF), şirketin yatırım verimliliği üzerinde negatif ve anlamlı bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, yatırım verimliliği değişkenindeki değerlerin düşmesinin yatırımların daha verimli olduğunu gösterdiği için, H<sub>20</sub> hipotezinin desteklendiğini göstermektedir. Ayrıca, yüksek nakit varlık oranları ve düşük finansal risklerin artırdığı finansal esneklik değeri ile yatırım verimliliği arasında negatif ve anlamlı bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Bu durum H<sub>30</sub> hipotezinin kabul edildiğini ortaya koymaktadır. Model sonucu genel olarak değerlendirildiğinde yedek borç kapasitesi ve finansal esneklik değerindeki artışların, işletmelerin yatırım verimliliğini artırdığı sonucuna ulaşılmıştır.

#### 4. SONUÇ

Bu çalışma, Türkiye'de 2005-2023 yılları arasında Borsa İstanbul BIST Temettü Endeksi'nde faaliyet gösteren şirketlerin finansal esneklik düzeyleri ile finansal esnekliğin yatırım verimliliği üzerindeki etkisini incelemektedir. Finansal esnekliğin yatırım kararları üzerindeki rolünü daha iyi anlamak için dinamik panel veri modeli kullanılmış ve Genelleştirilmiş Momentler Metodu (GMM) ile tahminler yapılmıştır.

Çalışmada, finansal esneklik ölçüm yöntemi olarak yedek borç kapasitesi modeli temel alınmış ve üç yıl boyunca finansal esnekliğe sahip olan firmalar için bu değişken "1", aksi durumda "0" olarak kodlanmıştır. Elde edilen bulgular, finansal esnekliğin işletmelerin yatırım kararları üzerinde olumlu ve anlamlı bir etkisi olduğunu göstermektedir. Çalışma finansal esnekliğin yatırım verimliliği üzerindeki etkisini incelediği için diğer çalışmalardan ayrılmaktadır. Gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen bulgular, finansal esnekliğin yatırım fırsatlarının değerlendirilmesinde ve yatırımların verimliliğinin artırılmasında önemli bir faktör olduğunu göstermektedir.

Çalışma sonuçlarına genel olarak bakıldığında yedek borç kapasitesi ve finansal esnekliğe sahip olan işletmeler yatırımlarını yedek borç kapasitesiyle finanse etmekte ve bu işletmelerinde yatırım verimliliklerinin yüksek olduğuna ulaşılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre kurulan hipotezlerin hepsinin geçerli olduğuna ulaşılmıştır. Bu bulgular, finansal esnekliğin yatırım fırsatlarını değerlendirmede ve yatırımların verimliliğini artırmada önemli bir faktör olduğunu ortaya koymaktadır. Söz konusu sonuçlar, Marchica ve Mura (2010) ile Cherkasova ve Kuzmin (2018) tarafından yapılan çalışmalarla uyumlu niteliktedir. Finansal esnekliği yüksek firmaların yatırımlarını daha verimli bir şekilde yönetebildiği ve yatırım fırsatlarını daha etkin değerlendirdiği görülmüştür. Finansal esneklik ile yatırım verimliliği arasında pozitif bir ilişki tespit edilmiştir. Yüksek esnekliğe sahip firmalar yatırımlarını yedek borç kapasitesi ile finanse ederek yatırım verimliliklerini artırabilmektedir. Firma büyüklüğünün yatırım verimliliği üzerinde pozitif ve anlamlı bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular, finansal esnekliğin yatırım fırsatlarını değerlendirmede ve yatırım verimliliğini artırmada kritik bir faktör olduğunu göstermektedir. Finansal esnekliğe sahip şirketler kriz dönemlerinde daha sürdürülebilir yatırımlar yapabilir, yatırım verimliliklerini artırabilir ve uzun vadeli büyümeye katkıda bulunabilir. Bu sonuçlar, Marchica ve Mura (2010) ile Cherkasova ve Kuzmin (2018) tarafından yapılan çalışmalarla tutarlı olup, finansal esnekliğin yatırım kararları üzerindeki etkisini doğrulamaktadır.

Çalışma politika yapıcılar ve düzenleyici kurumlar, şirketlerin finansal esnekliklerini artırmalarını teşvik edecek destekleyici finansal politikalar geliştirmelidir. Finansal esnekliğin yatırım kararları üzerindeki etkisini sektörel bazda incelemek, farklı sektörlerde finansal esnekliğin nasıl çalıştığını anlamak açısından önemlidir. Gelecekteki çalışmalar, finansal esnekliğin yatırım verimliliği üzerindeki etkisini ölçerken alternatif metodolojileri (örneğin makine öğrenmesi, yapay zekâ tabanlı tahmin modelleri) kullanarak daha kapsamlı analizler yapabilir. Gelecekteki araştırmalar, farklı ülkelerde ve sektörlerde finansal esneklik ve yatırım verimliliği ilişkisini inceleyerek daha geniş kapsamlı karşılaştırmalar yapabilir. Ayrıca, finansal esnekliğin şirketlerin inovasyon, sürdürülebilirlik ve uzun vadeli büyüme stratejileri üzerindeki etkisi incelenerek daha geniş bir perspektif sağlanabilir.

#### 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

- Abdioğlu, N. ve Aytekin, S. (2016). "Finansal Esneklik ve Sermaye Yatırımları Arasındaki İlişkinin İncelenmesi", *Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 8(1), 11-19.
- Akçay, A. Ö., ve Sayın, H. C. (2022). "Yatırım Harcamaları ve Finansal Esneklik İlişkisi: Borsa İstanbul Üzerine Bir İnceleme." *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 14(1), 846-864. <https://doi.org/10.20491/isarder.2022.1414>
- Al-Slehat, Z.A.F. (2019). "The Impact of the Financial Flexibility on the Performance: An Empirical Study on A Sample of Jordanian Services Sector Firms in Period (2010–2017)", *International Journal of Business and Management*, 14(6), 1-11. <https://doi.org/10.5539/ijbm.v14n6p1>
- Altat, N. (2020). "Working Capital Financing, Firm Performance and Financial Flexibility: Evidence from Indian Hospitality Firms", *Global Business Review*, 25(2), 199-210. <https://doi.org/10.1177/0972150920961>
- Arellano, M.ve Bond, S. (1991). "Some Tests of Specification for Panel Data:Monte Carlo Evidence and an Application to Employment Equations", *The Review of Economic Studies*, 58(2), 277-297. <https://doi.org/10.2307/2297968>
- Ayaydın-Arslan, Ö., Florackis, C. ve Özkan, A. (2014), "Financial Flexibility, Corporate Investment and Performance: Evidence from Financial Crises", *Review of Quantitative Finance and Accounting*, 42(2), 211-250. <https://doi.org/10.1007/s11156-012-0340-x>
- Baltagi, B.H. ve Wu, Ping X. (1999). "Unequally Spaced Panel Data Regressions with AR (1) Disturbances", *Econometric Theory*, 15(6), 814-823.
- Bhargava, A., Franzini, L. ve Narendranathan, W. (1982). "Serial Correlation and the Fixed Effects Model", *The Review of Economic Studies*, 49(4), 533-549.
- Bonaimê, A.A., Hankins, K.W. ve Harford, J. (2014). "Financial Flexibility, Risk Management and Payout Choice". *The Review of Financial Studies*, 27(4), 1074-1101.
- Bouchani, Z. ve Ghanbari, M. (2015). "The Relation Between Financial Flexibility and Financial Performance with the Ratio of Book Value to Market Value in Tehran Listed Firms", *Journal of Scientific Research and Development*, 2(2), 216-222.
- Brigham, E.F. (1999). "Finansal Yönetimin Temelleri", (Çeviri: Ö. Akmut, ve H. Sariarslan), Ankara Üniversitesi Rektörlüğü Yayınları, Ankara.
- Blundell, R., ve Bond, S. (1998). "Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models." *Journal of Econometrics*, 87(1), 115-143. [https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(98\)00009-8](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(98)00009-8)
- Chang, H.Y. ve Ma, C-A. (2019). "Financial Flexibility, Managerial Efficiency and Firm Life Cycle on Firm Performance an Empirical Analysis of Chinese Listed Firms", *Journal of Advances in Management Research*, 16(2), 168-180.
- Cherkasova, V. ve Kuzmin, E. (2018), "Financial Flexibility as an Investment Efficiency Factor in Asian Companies", *Gadjah Mada International Journal of Business*, 20(2), 137-164. <https://doi.org/10.22146/gamaijb.26239>
- Choi, J.J., M. Ju., Kotabe, M., Trigeorgis, L. ve Zhang, X.T. (2015), "Flexibility as Firm Value Driver: Evidence from Offshore Outsourcing", *Global Strategy Journal*, 8(2), 351-376. <https://doi.org/10.1002/gsj.1181>
- Frank, M.Z. ve Goyal, V.K. (2007), "Capital Structure Decisions: Which Factors Are Reliably Important?", *Financial Management*, 38(1), 1-37. <https://doi.org/10.1111/j.1755-053X.2009.01026.x>
- Gamba, A. ve Triantis, A. (2008). "The Value of Financial Flexibility". *The Journal of Finance*, 63(5), 2263-2296. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.2008.01397.x>
- Hansen, L.P. (1982), "Large Sample Properties of Generalized Method of Moments Estimators", *Econometrica*, 50(4), 1029-1054. <https://doi.org/10.2307/1912775>
- Hausman, J.A. (1978), "Specification Tests in Econometrics", *Econometrica*, 46(6), 1251-1271. <https://doi.org/10.2307/1913827>
- Jong, D., Verbeek, A. ve Verwijmeren, M.P. (2012). "Does Financial Flexibility Reduce Investment Distortions?" *Journal of Financial Research*, 35(2), 243-259. <https://doi.org/10.1111/j.1475-6803.2012.01316.x>
- Lie, E. (2005). "Financial Flexibility, Performance and the Corporate Payout Choice", *The Journal of Business*, 78(6), 2179-2202. <https://doi.org/10.1086/497043>
- Liping, X., Zhe, L. ve Shu, L. (2013). "Financial Flexibility, Corporate Investment and Performance: Evidence from China's Listed Companies", *2013 Fourth International Conference on Intelligent Systems Design and Engineering Applications*, 6-7 Kasım, Çin.
- Ma, C. ve Y. Jin (2016), "What Drives the Relationship between Financial Flexibility and Firm Performance: Investment Scale or Investment Efficiency? Evidence from China", *Emerging Markets Finance and Trade*, 52(9), 2043-2055. <https://doi.org/10.1080/1540496X.2015.1098036>

- Mahmood, Y., Rizwan, M.F. ve Rashid, A. (2018). "Exploring The Relationship Between Financial Distress, Financial Flexibility, and Firm Performance: Empirical Evidence From Pakistan Stock Exchange", *NICE Research Journal*, 1-16.
- Marchica, M. T., & Mura, R. (2010). "Financial Flexibility, Investment Ability, and Firm Value: Evidence from Firms with Spare Debt Capacity." *Financial Management*, 39(4), 1339-1365. <https://doi.org/10.1111/j.1755-053X.2010.01115.x>
- Modigliani, F. ve Miller, M.H. (1958). "The Cost of Capital, Corporation Finance and the Theory of Investment", *The American Economic Review*, 48(3), 261-297.
- Mokhtar, I., Salamudin, N. ve Zambahari, S.R. (2013). "Financial Flexibility and Corporate Performance of Bumiputera Public Listed Companies", *International Conference on Economics and Business Research*, 15-16 Temmuz, Malezya.
- Öztürkçü Akçay, A. ve Sayın H.C. (2022) "Yatırım Harcamaları ve Finansal Esneklik İlişkisi: Borsa İstanbul Üzerine Bir İnceleme", *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 14(1), 846-864. <https://doi.org/10.20491/isarder.2022.1414>
- Parlak, Z. ve Özdemir, S. (2011). "Esneklik Kavramı ve Emek Piyasalarında Esneklik", *Journal of Social Policy Conferences*, 60, 1-60.
- Pesaran, M.H. (2004), "General Diagnostic Tests for Cross Section Dependence in Panels", Discussion Paper (No. 1240), University of Cambridge.
- Söker, F. ve Cihangir, M. (2022). "Finansal Esnekliğin Yatırım ve Kâr Dağıtım Politikası Üzerindeki Etkisi: Borsa İstanbul'da Finans Dışı Firmalar Üzerinde Bir Uygulama", *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, 94, 1-30. <https://doi.org/10.25095/mufad.1032868>
- Topaloğlu, E.E. ve Ege, İ. (2021). "Finansal Esneklik, Firma Değeri ve Finansal Performans İlişkisi: İnşaat Sektörü Üzerine Panel Kantil Regresyon Yaklaşımı", *Sosyoekonomi*, 29(49), 409-425. <https://doi.org/10.17233/sosyoekonomi.2021.03.21>
- White, H. (1980), "A heteroskedasticity-Consistent Covariance Matrix and A Direct Test for Heteroskedasticity, *Econometrica*", 48(4), 817-838. <https://doi.org/10.2307/1912934>
- Yerdelen Tatoğlu, Ferda (2020b), İleri Panel Veri Analizi (4. Baskı). Beta Yayınları, İstanbul.
- Yung, K., Li, D.D. ve Jian, Y. (2015). "The Value of Corporate Financial Flexibility in Emerging Countries", *Journal of Multinational Financial Management*, 32, 25-41. <https://doi.org/10.1016/j.mulfin.2015.07.001>

## EK

Tablo A1. Analize dahil edilen şirketler

| Hisse Kodu | Hisse Adı                                                                           |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| ACSEL      | ACISELSAN ACIPAYAM SELÜLOZ SANAYİ VE TİCARET A.Ş.                                   |
| AEFES      | ANADOLU EFES BİRACILIK VE MALT SANAYİİ A.Ş.                                         |
| AFYON      | AFYON ÇİMENTO SANAYİ T.A.Ş.                                                         |
| AGHOL      | AG ANADOLU GRUBU HOLDİNG A.Ş.                                                       |
| AKBNK      | AKBANK T.A.Ş.                                                                       |
| AKCNS      | AKÇANSA ÇİMENTO SANAYİ VE TİCARET A.Ş.                                              |
| AKMGY      | AKMERKEZ GAYRİMENKUL YATIRIM ORTAKLIĞI A.Ş.                                         |
| AKSA       | AKSA AKRİLİK KİMYA SANAYİİ A.Ş.                                                     |
| AKSEN      | AKSA ENERJİ ÜRETİM A.Ş.                                                             |
| ALARK      | ALARKO HOLDİNG A.Ş.                                                                 |
| ALGYO      | ALARKO GAYRİMENKUL YATIRIM ORTAKLIĞI A.Ş.                                           |
| ALKIM      | ALKİM ALKALİ KİMYA A.Ş.                                                             |
| ANGEN      | ANATOLİA TANI VE BİYOTEKNOLOJİ ÜRÜNLERİ ARAŞTIRMA GELİŞTİRME SANAYİ VE TİCARET A.Ş. |
| ANHYT      | ANADOLU HAYAT EMEKLİLİK A.Ş.                                                        |
| ARASE      | DOĞU ARAS ENERJİ YATIRIMLARI A.Ş.                                                   |
| ARCLK      | ARÇELİK A.Ş.                                                                        |
| ARDYZ      | ARD GRUP BİLİŞİM TEKNOLOJİLERİ A.Ş.                                                 |
| ARENA      | ARENA BİLGİSAYAR SANAYİ VE TİCARET A.Ş.                                             |
| ASELS      | ASELSAN ELEKTRONİK SANAYİ VE TİCARET A.Ş.                                           |
| ASUZU      | ANADOLU ISUZU OTOMOTİV SANAYİ VE TİCARET A.Ş.                                       |
| BASGZ      | BAŞKENT DOĞALGAZ DAĞITIM GAYRİMENKUL YATIRIM ORTAKLIĞI A.Ş.                         |
| BEYAZ      | BEYAZ FİLO OTO KİRALAMA A.Ş.                                                        |
| BFREN      | BOSCH FREN SİSTEMLERİ SANAYİ VE TİCARET A.Ş.                                        |
| BOBET      | BOĞAZİÇİ BETON SANAYİ VE TİCARET A.Ş.                                               |
| BRISA      | BRİSA BRİDGESTONE SABANCI LASTİK SANAYİ VE TİCARET A.Ş.                             |
| BRYAT      | BORUSAN YATIRIM VE PAZARLAMA A.Ş.                                                   |
| CCOLA      | COCA-COLA İÇECEK A.Ş.                                                               |
| CEMTS      | ÇEMTAŞ ÇELİK MAKİNA SANAYİ VE TİCARET A.Ş.                                          |
| CIMSA      | ÇİMSA ÇİMENTO SANAYİ VE TİCARET A.Ş.                                                |
| DOAS       | DOĞUŞ OTOMOTİV SERVİS VE TİCARET A.Ş.                                               |
| ECILC      | EİS ECZACIBAŞI İLAÇ SİNAİ VE FİNANSAL YATIRIMLAR SANAYİ VE TİCARET A.Ş.             |
| ECZYT      | ECZACIBAŞI YATIRIM HOLDİNG ORTAKLIĞI A.Ş.                                           |
| EGEEN      | EGE ENDÜSTRİ VE TİCARET A.Ş.                                                        |
| EKGYO      | EMLAK KONUT GAYRİMENKUL YATIRIM ORTAKLIĞI A.Ş.                                      |
| ENJSA      | ENERJİSA ENERJİ A.Ş.                                                                |
| ENKAI      | ENKA İNŞAAT VE SANAYİ A.Ş.                                                          |
| ERBOS      | ERBOSAN ERCİYAS BORU SANAYİ VE TİCARET A.Ş.                                         |
| ESEN       | ESENBOĞA ELEKTRİK ÜRETİM A.Ş.                                                       |
| FLAP       | FLAP KONGRE TOPLANTI HİZMETLERİ OTOMOTİV VE TURİZM A.Ş.                             |
| FROTO      | FORD OTOMOTİV SANAYİ A.Ş.                                                           |
| GARAN      | TÜRKİYE GARANTİ BANKASI A.Ş.                                                        |
| GMTAS      | GİMAT MAĞAZACILIK SANAYİ VE TİCARET A.Ş.                                            |
| ISATR      | TÜRKİYE İŞ BANKASI A.Ş.                                                             |
| ISKPL      | IŞIK PLASTİK SANAYİ VE DIŞ TİCARET PAZARLAMA A.Ş.                                   |
| ISMEN      | İŞ YATIRIM MENKUL DEĞERLER A.Ş.                                                     |
| KCHOL      | KOÇ HOLDİNG A.Ş.                                                                    |
| KFEIN      | KAFEİN YAZILIM HİZMETLERİ TİCARET A.Ş.                                              |
| KLKIM      | KALEKİM KİMYEVİ MADDELER SANAYİ VE TİCARET A.Ş.                                     |
| KLMSN      | KLİMASAN KLİMA SANAYİ VE TİCARET A.Ş.                                               |
| KONKA      | KONYA KAĞIT SANAYİ VE TİCARET A.Ş.                                                  |
| KONTR      | KONTROLMATİK TEKNOLOJİ ENERJİ VE MÜHENDİSLİK A.Ş.                                   |
| KRVGD      | KERVAN GIDA SANAYİ VE TİCARET A.Ş.                                                  |
| LIDER      | LDR TURİZM A.Ş.                                                                     |
| LINK       | LİNK BİLGİSAYAR SİSTEMLERİ YAZILIMI VE DONANIMI SANAYİ VE TİCARET A.Ş.              |
| LOGO       | LOGO YAZILIM SANAYİ VE TİCARET A.Ş.                                                 |
| LUKSK      | LÜKS KADİFE TİCARET VE SANAYİİ A.Ş.                                                 |
| MEDTR      | MEDİTERA TIBBİ MALZEME SANAYİ VE TİCARET A.Ş.                                       |

**Tablo A1 (Devamı)**

| <i>Hisse Kodu</i> | <i>Hisse Adı</i>                                      |
|-------------------|-------------------------------------------------------|
| MERCN             | MERCAN KİMYA SANAYİ VE TİCARET A.Ş.                   |
| MERIT             | MERİT TURİZM YATIRIM VE İŞLETME A.Ş.                  |
| MTRKS             | MATRİKS FİNANSAL TEKNOLOJİLER A.Ş.                    |
| NATEN             | NATUREL YENİLENEBİLİR ENERJİ TİCARET A.Ş.             |
| NTGAZ             | NATURELGAZ SANAYİ VE TİCARET A.Ş.                     |
| PAPIL             | PAPİLON SAVUNMA TEKNOLOJİ VE TİCARET A.Ş.             |
| PETUN             | PINAR ENTEGRE ET VE UN SANAYİİ A.Ş.                   |
| PNLSN             | PANELSAN ÇATI CEPHE SİSTEMLERİ SANAYİ VE TİCARET A.Ş. |
| PNSUT             | PINAR SÜT MAMÜLLERİ SANAYİİ A.Ş.                      |
| POLHO             | POLİSAN HOLDİNG A.Ş.                                  |
| POLTK             | POLİTEKNİK METAL SANAYİ VE TİCARET A.Ş.               |
| PRKAB             | TÜRK PRYSMIAN KABLO VE SİSTEMLERİ A.Ş.                |
| SAHOL             | HACI ÖMER SABANCI HOLDİNG A.Ş.                        |
| SANKO             | SANKO PAZARLAMA İTHALAT İHRACAT A.Ş.                  |
| SDTTR             | SDT UZAY VE SAVUNMA TEKNOLOJİLERİ A.Ş.                |
| SEKFK             | ŞEKER FİNANSAL KİRALAMA A.Ş.                          |
| SISE              | TÜRKİYE ŞİŞE VE CAM FABRİKALARI A.Ş.                  |
| SUNTK             | SUN TEKSTİL SANAYİ VE TİCARET A.Ş.                    |
| TCELL             | TURKCELL İLETİŞİM HİZMETLERİ A.Ş.                     |
| TGSAS             | TGS DIŞ TİCARET A.Ş.                                  |
| TOASO             | TOFAŞ TÜRK OTOMOBİL FABRİKASI A.Ş.                    |
| TTRAK             | TÜRK TRAKTÖR VE ZİRAAT MAKİNELERİ A.Ş.                |
| TURSG             | TÜRKİYE SİGORTA A.Ş.                                  |
| ULUFA             | ULUSAL FAKTORİNG A.Ş.                                 |
| VAKKO             | VAKKO TEKSTİL VE HAZIR GİYİM SANAYİ İŞLETMELERİ A.Ş.  |
| VERTU             | VERUSATURK GİRİŞİM SERMAYESİ YATIRIM ORTAKLIĞI A.Ş.   |
| VESBE             | VESTEL BEYAZ EŞYA SANAYİ VE TİCARET A.Ş.              |
| YATAS             | YATAŞ YATAK VE YORGAN SANAYİ TİCARET A.Ş.             |
| YKSLN             | YÜKSELEN ÇELİK A.Ş.                                   |
| YUNSA             | YÜNSA YÜNLÜ SANAYİ VE TİCARET A.Ş.                    |
| ZRGYO             | ZİRAAT GAYRİMENKUL YATIRIM ORTAKLIĞI A.Ş.             |

## Application of Lean Manufacturing Techniques to Low Density Polyethylene Recycling Processes: A Value Stream Mapping Approach

Emre Can Temiz<sup>1</sup> , Emel Yontar<sup>2</sup> 

### ABSTRACT

**Purpose:** The aim of this study is reducing waste and improve process efficiency in the recycling of low-density polyethylene (LDPE) by applying lean manufacturing principles.

**Method:** Main stages in the production process Preliminary Preparation Line, Granule Extrusion Line, Film Extrusion Line, and Film Cutting Machine were examined. The current state was mapped using the Value Stream Mapping (VSM) technique. Identified wastes were addressed with lean tools, and a future state map was developed accordingly.

**Findings:** The analysis showed types of waste including waiting periods, unnecessary transportation, and overproduction. Improvement efforts led to reduced cycle time, fewer bottlenecks, and more efficient use of resources. The comparison between current and future states demonstrated a notable increase in overall performance and productivity.

**Originality:** This study offers a unique and sector-specific approach by implementing the VSM technique, which is rarely used in the plastic recycling industry. Its originality lies in adapting lean principles to recycling. Moreover, practical improvement suggestions based on actual field data provide guidance for similar businesses aiming to enhance operational effectiveness.

**Keywords:** Lean Manufacturing, Value Stream Mapping, Low Density Polyethylene, Process Improvement.

**JEL Codes:** D24, R15, Q55.

## Düşük Yoğunluklu Polietilen Geri Dönüşüm Proseslerine Yalın Üretim Tekniklerinin Uygulanması: Değer Akış Haritalandırma Yaklaşımı

### ÖZET

**Amaç:** Bu çalışmanın amacı, düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) geri dönüşüm sürecinde yalın üretim yaklaşımıyla israfı azaltmak ve süreç verimliliğini artırmaktır.

**Yöntem:** Üretim sürecindeki ana faaliyetler olan Ön Hazırlık Hattı, Granül Ekstrüzyon Hattı, Film Ekstrüzyon Hattı ve Film Kesim Makinesi analiz edilmiştir. Değer Akış Haritalama (VSM) tekniğiyle mevcut durum haritası oluşturulmuş, süreçteki israflar tespit edilmiş ve yalın üretim araçları kullanılarak gelecekteki durum haritası tasarlanmıştır.

**Bulgular:** Analizler sonucunda; beklemler, gereksiz taşıma ve fazla üretim gibi israflar ortaya çıkmıştır. Uygulanan iyileştirme çalışmaları sayesinde üretim süresi kısalmış, darboğazlar azalmış ve kaynak kullanımı daha verimli hale gelmiştir. Mevcut ve gelecek durum haritaları karşılaştırıldığında performansta gözle görülür bir artış elde edilmiştir.

**Özgünlük:** Bu çalışma, plastik geri dönüşüm sektöründe nadiren uygulanan Değer Akış Haritalama yöntemini kullanarak sektöre özel ve yenilikçi bir çözüm sunmaktadır. Saha verilerine dayalı öneriler, benzer işletmelere yol gösterici niteliktedir.

**Anahtar Kelimeler:** Yalın Üretim; Değer Akış Haritalama, Düşük Yoğunluklu Polietilen, Süreç İyileştirme.

**JEL Kodları:** D24, R15, Q55.

<sup>1</sup> Tarsus Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye

<sup>2</sup> Tarsus Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye

Corresponding Author: Emel Yontar, eyontar@tarsus.edu.tr

DOI: 10.51551/verimlilik.1684673

Research Article | Submitted: 26.04.2025 | Accepted: 03.07.2025

Cite: Temiz, E.C. ve Yontar, E. (2025). "Application of Lean Manufacturing Techniques to Low Density Polyethylene Recycling Processes: A Value Stream Mapping Approach", *Verimlilik Dergisi*, 59(3), 715-742.

## 1. INTRODUCTION

Lean Thinking is a management and production philosophy that aims to eliminate or minimize waste in production processes. The concept of "Kaizen," which forms the basis of this approach, refers to continuous improvement and seeks to enhance quality, increase efficiency, and reduce costs within businesses (Papadopoulou and Özbayrak, 2005). Lean thinking is not merely a production method but also a management philosophy that shapes the entire organizational culture. It adopts a participatory and holistic approach where the ideas and opinions of every individual involved in the production process are valued. Accordingly, lean is an organizational culture that ensures continuous improvement through individual contributions (Nefes, 2019: 7). Lean production is based on identifying and eliminating or reducing all non-value-adding activities. This approach enables businesses to use their resources more efficiently, increases productivity, reduces costs, and enhances customer satisfaction (Aktaş, 2022: 6). With a strategic approach, the focus is on the development of the whole, not the parts. Value stream analysis is carried out by evaluating all steps, and this analysis can reveal that activities that do not create value for the customer may constitute a significant part of the process. Therefore, it is critical to see the big picture and determine the steps that create value in the entire process. The most important benefit of value stream analysis is that waste elements can be easily identified. By using lean production techniques, waste is eliminated, thus saving time and cost (Çelenk et al., 2019).

Value Stream Mapping (VSM) is a tool that connects the lean production approach and techniques. This method not only makes waste visible, but also shows the available resources and creates a general language for production processes. It allows analyzing all aspects of processes and aims to see more together with production processes such as welding, assembly, and painting. It shows the relationship between information and material flows and provides a detailed definition of how production should be run. It also allows finding solutions by examining the source of problems that may arise along with the processes on site (Meier and Liker, 2006: 22). VSM refers to the mapping of material and value flows for product materials and semi-finished products in a value flow starting from suppliers, covering the manufacturing process and including shipment to the buyer. This method shows each step in the material and information flow required for the completion of the product from order to delivery with a simple diagram. Value stream mapping includes the process of monitoring the current information and material process, summarizing them and creating a future situation aimed at achieving high-level goals (Rother and Shook, 1999: 17-19).

However, literature reviews show that VSM has not been adequately applied or studied in the recycling sector, particularly in the processes of waste collection, separation, and reprocessing. Yet, recycling processes are inherently complex, multi-step, and variable. This complexity makes process optimization difficult and leads to resource waste. At this point, evaluating the potential contributions of lean production techniques especially VSM in the recycling sector becomes critically important.

Low-Density Polyethylene (LDPE), widely used in the recycling industry and particularly preferred in packaging materials, is a type of plastic that plays a central role in sustainability policies due to its environmental impacts. The recycling process of LDPE includes several stages such as waste collection, sorting, washing, drying, pelletizing, and remanufacturing. These stages involve many elements that can lead to time, energy, and resource waste. At this point, using VSM to analyze each step of the process can help identify and eliminate non-value-adding activities. Thus, costs can be reduced, and environmental impacts can be minimized.

With growing environmental awareness and the rise of circular economy models, restructuring recycling processes with lean production techniques is becoming increasingly important. By integrating tools like VSM into these processes, the efficiency of recycling systems can be improved, resource usage in waste management can be optimized, and contributions can be made toward sustainable development goals.

Accordingly, the aim of this study is to apply the value stream mapping (VSM) approach one of the lean production techniques to the recycling processes of low-density polyethylene (LDPE), to analyze the current process, identify potential sources of waste, and propose improvement recommendations.

In the second section of the paper, the reflections of VSM applications in the literature are comprehensively analyzed. Studies conducted in various industrial sectors and the operational and strategic contributions they provide to businesses are presented with detailed data analysis. The evaluations show that applying the VSM approach to LDPE recycling processes could provide a high level of benefit when compared to examples in the literature. Moreover, the reviewed literature clearly demonstrates that VSM can be applied effectively and efficiently not only in the production sector but also in diverse fields such as healthcare, software, agriculture, and logistics.

The third section is dedicated to the research methodology. This section explains in detail the research design, data collection techniques, and analysis methods adopted in the study. Under the subheading

"Value Stream Mapping: A Method for Improvement and Efficiency Enhancement," the theoretical foundations and practical applications of the VSM method are thoroughly discussed. In this context, explanations are provided on how VSM is used for identifying waste, improving processes, and increasing operational efficiency.

The fourth section, presented under the title Findings and Discussion, analyzes the current state of the LDPE recycling process using VSM. A detailed mapping of the current process flow was performed, and non-value-adding activities and sources of waste were identified. Then, a future ideal process map based on lean production principles was presented, and a comparative analysis with the current state was conducted. Based on the findings, process deficiencies and improvement potentials were discussed, and proposed solutions were detailed.

In the fifth section of the paper, the implementation of the value stream mapping (VSM) method in the production process, the comparison between the current and target future state maps, and the results of the implemented improvements are comprehensively addressed. In this section, using the VSM technique, takt time, cycle time, scrap rates, changeover times, and capacity values in the production processes were determined, and process performance was analyzed using numerical data. The positive impacts of these improvements on the production process were explained in detail based on the findings, and forward-looking recommendations to support the continuous improvement of the process were provided.

In the last section, the sixth section, a general evaluation is made in the conclusion section and suggestions for future studies are presented.

## 2. LITERATURE RESEARCH

This section presents a literature review on the applications of the Value Stream Mapping (VSM) method, one of the core tools of Lean Production, across various sectors. VSM enables a systematic analysis of value-adding and non-value-adding activities within production and service processes, aiming to reduce waste and enhance process efficiency.

Birgün et al. (2006), conducted a VSM study at UZEL A.Ş., identifying sources of waste in the current state and implementing Lean tools such as 5S, Kanban, and Kaizen to achieve process improvements. Maraşlı et al. (2016), applied VSM in an ice cream manufacturing facility to reduce excess inventory and mold changeover times, resulting in significant cost and time savings. Eser and Yıldız (2017), focused on the packaging process of a denim production firm, evaluating the applicability of Lean production and addressing encountered challenges and solutions.

Sarı (2018), aimed to streamline production processes by distinguishing between value-added and non-value-added activities. Similarly, Sevgili and Antmen (2019), analyzed the entire process from raw material intake to finished product delivery using VSM, revealing areas for improvement. Uygun et al. (2019) and Akin (2020), highlighted the contributions of VSM to process efficiency, while Çelebi and Yıldız (2020), employed the Analytic Hierarchy Process (AHP) to identify the most suitable Lean technique, offering a systematic approach to Lean transformation. Bilici and Kosanoğlu (2021), conducted a VSM application in the textile industry to identify bottlenecks and optimize operations. Büyükarıkan (2021), applied VSM in the agricultural sector to detect waste and enhance quality and efficiency. Kama and Doğan (2021), examined the applicability of VSM within supply chain processes, while Kuğu and Köse (2021), identified Kaizen opportunities in a heat exchanger flow using VSM. Oğuz and Gergin (2021), showcased the applicability of Lean approaches in a different industrial setting. Sarı (2022), explored the relationship between VSM and Industry 4.0 technologies, evaluating the impact of digital transformation on Lean production. Başak et al. (2019), transformed production processes into a pull system and utilized SMED (Single-Minute Exchange of Die) to reduce setup times. Coşkun and Özcan (2023), used ABC analysis for product family selection and employed VSM to reduce cycle times. Duzdar Argun and Çelik (2023), approached the process holistically through VSM in line with zero-inventory philosophy. Yurtseven et al. (2024), implemented an extensive VSM application in the automotive sector, successfully reducing delivery time by 52%.

VSM is also widely used in service industries. Khalilov and Gündebahar (2012), analyzed banking processes integrated with information technologies to identify optimization opportunities. Doğan and Ersoy (2016), applied VSM to streamline laboratory analysis processes at a university. Ömürgönülşen and Çatman (2018), identified sources of waste in public services and proposed improvements. Serdarasan and Ertek (2021), introduced a Lean production perspective into software development processes. Erdem (2023: 488-493), examined the benefits of VSM in software development within ASELSAN, while Alp and Akalın (2023), conducted a bibliometric analysis of Lean management-themed theses in the Turkish Council of Higher Education Thesis Center.

Applications in the healthcare sector also demonstrate VSM's impact on process improvement. Efe and Engin (2012), analyzed the current state of an emergency department process and proposed a future-state

map. Özkan et al. (2015), and Yıldız and Yalman (2015), assessed the implementation and outcomes of Lean techniques in healthcare settings. Bulut and Yıldız (2018), investigated healthcare workers' attitudes towards Lean practices, while Çavmak (2018), implemented 5S in a coronary intensive care unit. Doğan and Yağlı (2019), reviewed the literature on Lean healthcare, and Timurtaş (2020), analyzed the effects of Lean Six Sigma practices on process performance. Fidan and Toraman (2023), proposed improvements aimed at reducing paper usage in hospital outpatient services.

VSM has also been applied in other sectors such as energy, mining, and tourism. Gönen (2013: 101), investigated applications in the energy sector aimed at increasing efficiency and reducing inventory. Pekin (2015), explored the integration of Poka-Yoke and VSM to reduce human error in rubber production. Öztürk and Elevli (2017), evaluated Lean management in the mining sector, while Karlı and Tanyaş (2020), discussed the role of Lean practices in the context of smart logistics. Kapucugil et al. (2022), integrated Lean principles with ISO 14001 environmental management systems in the tourism sector to enhance environmental performance.

Bakhshayesh (2024: 27), examined the integration of Value Stream Mapping (VSM) and the Cut-to-Box systems in a shoe manufacturing facility in Istanbul. As a result of the implementation, delivery time was reduced by 21%, and the number of pre-production personnel decreased from 27 to 21. Coşkun (2023: 67-71), aimed to reduce non-value-added activities in the shoe sub-industry through VSM. As a result of analyses and improvements made in foam-based products, production time was reduced from 32.25 days to 23.5 days (27.1% reduction), and material circulation was decreased from 262.25 meters to 233.8 meters. Kökten (2021: 72-73), identified sources of waste in a cable reel manufacturing business using the VSM method and developed improvement proposals during the transition to lean production. After implementation, production flow time decreased by 44.44%, from 1.8 days to 1 day, and processing time decreased by 27.78%, from 368.23 seconds to 265.90 seconds. Kiriş (2021: 64-68), analyzed waste sources in a small-scale cable duct manufacturing company using Value Stream Mapping and proposed improvements through practices like SMED, 5S, Poka-yoke, and Kaizen. Production speed was aligned with takt time, and daily shipments were achieved with fewer shifts. Sheykhli (2024: 51-57), found that the current state map revealed the olive oil production facility could not meet the customer demand of 3473 kg per shift. Key issues included machine failures, long setup times of 40 minutes, and cleaning operations during production. Solutions proposed included reducing setup time to 24 minutes, autonomous maintenance, operator training, the Shu-Ha-Ri approach, standard work methods, Poka-Yoke, ERP integration, a supermarket system, and heijunka. Demir (2024: 36), analyzed the production processes of the TK product family in a paper manufacturing company producing cleaning products using Value Stream Mapping (VSM). Same time Alanyüz (2023: 62), in the study conducted in an olive oil production facility in İzmir, the process time was reduced from 529 minutes to 458.29 minutes (a 13.37% reduction) using the VSM method and further reduced to 406 minutes (23%) with the addition of a second operator for palletizing.

Aktaş (2022: 84), applied the VSM method in a company with a broad product range. Waste resulting from low-volume and irregular orders and a push system was identified. Duman (2019: 38), applied shipment-focused value stream mapping based on lean production principles in a project-based elevator installation process. Gür (2019: 33), conducted improvement studies with lean production and OEE analyses in the neutral soybean oil production process. Yılmaz (2019: 19-24) implemented fuzzy value stream mapping in a company producing folding boom cranes in Konya. Improvements increased assembly line efficiency by 50%, and daily production rose from 1 to 1.5 machines. Takt time dropped from 540 minutes to 360 minutes, and total processing time decreased from 1,965 minutes to 1,295 minutes (a 34% improvement). Çalışkan (2018: 70-71), carried out process improvements using VSM in a water fixture manufacturing facility. Total production time decreased from 79.83 days to 5 days, a 93.7% improvement. Kahrıman (2013: 69-73), used VSM in an injection molding facility and reduced cycle time by 29.1% and production flow time by 34.8%, while increasing value-added time by 35.8%. Başer (2011: 72-74), in a study at a household appliance manufacturing facility, VSM and Kaizen continuous improvement methods were applied to increase production efficiency. In the first phase, the number of operators required to produce 1,500 kettles decreased from 31 to 23, and per capita daily output increased from 48.4 to 65.2 units. Keskin et al. (2013) proposed the use of VSM in industrial processes to increase energy efficiency; VSM is a powerful tool not only for operational improvements but also for optimizing energy consumption. In this context, the application of VSM in the current study to make energy and resource losses in plastic recycling processes visible provides a parallel contribution to this potential stated in the literature.

These studies have been encountered in the literature as hybrid studies with VSM as the focal point. Bilici (2019: 39-43), integrated the VSM and Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) methods for lean production. The highest RPN problems identified were uncontrolled intermediate stock (RPN: 288), long raw material procurement time (RPN: 192), and machine inefficiencies (RPN: 168). These were reduced to below 6, 12, and 100 respectively. Production efficiency increased by 2.5%, and daily output rose from

1,680 kg to 1,720 kg. Flow time decreased by 48% to 0.85 days, and cycle time dropped by 57% to 37.8 seconds. The study shows the effective results of integrating VSM and FMEA. On the other hand, Uzun (2024: 57-69) analyzed 13 defect categories using Value Stream Mapping and the Fuzzy Logic-supported FMEA method in the production of C9 model blank firing pistols at a defense industry company named CS. Kılıç (2025: 46), in the study conducted VSM, Simulation, and Spaghetti Diagram methods were integrated to improve process performance in a citrus packaging facility. Birol (2021: 62), investigated problems caused by improper material flow in oil pump production. In the current state, cycle time was 8.7 days, and processing time was 2044 seconds. The main issue was identified as the inability to procure defect-free materials from external suppliers. Improvement proposals prioritized via future state mapping and the TOPSIS method included computer-based recording systems, standardized error codes, rework instructions, part marking, material responsibility, 5S practices, and supplier development. Alaca (2010: 76-115), conducted a value chain analysis on the screen-printing process at BSH's washing machine factory. Sixteen losses were identified and prioritized based on cost. Transition to cellular manufacturing reduced stock from 4.62 days to 4.05 days (12.3%) and delivery time from 0.49 days to 0.36 days (26.5%). Duzdar and Asan (2024), applied VSM to a company producing building materials and evaluated the process performance with Bayesian analysis. This study shows that VSM can be integrated with different analysis methods in sectoral diversity. Demirci (2017: 49-50), applied VSM and MTM-UAS methods together in a sewing thread manufacturing plant, reducing delivery lead time by 56% and increasing value-added activity time by 57%.

Literature containing lean production techniques in sectors such as LDPE is developing as follows. Shalnev and Denisova (2023), HDPE production, the implementation of the "Just-in-Time" principle has led to improvements in process management; instead of the traditional KANBAN system, an automated information system adapted to chemical production has been proposed. This system automatically determines the amount of starting material, optimizes material flow through a pull-push model, and reduces the risk of emergency situations. Furthermore, the HDPE storage process is rationalized, significantly reducing the required warehouse space. Guillen et al. (2018), in a company producing PP, LDPE, and HDPE bags, the untimely delivery rate was recorded at 41.67% in 2016, leading to customer loss and additional costs. Identified issues included a 22% material shortage, defective products, and a 5% rework rate. Through the implementation of Jidoka, 5S, and a visual Kanban system, process improvements were achieved: the defective product rate decreased from 18% to 10%, rework rate from 7% to 3%, raw material replenishment efficiency increased from 65% to 90%, and delivery compliance rose from 58% to 95%. Collao-Diaz, et al. (2023), the implementation of Lean Manufacturing and Total Productive Maintenance (TPM) practices in the plastics industry increased the service level from 56% to 90.4%. The main problems identified were long delivery times (71%) and poor quality (22%). Through SMED, mold changeover time was reduced from 59.06 minutes to 43.07 minutes. Workplace organization was improved using 5S practices, resulting in a cycle time of 164.69 minutes. Penalty costs were reduced, yielding annual savings of 9,973 units, and the proposed model was validated through simulation with 90.13% efficiency. Rosnah and Othman (2012), lean manufacturing tools were systematically applied in a small-to-medium-sized enterprise focused on the plastic injection molding process. The objective was to eliminate waste on the shop floor and enhance process flow. As a result of integrating tools such as Value Stream Mapping (VSM), 5S, SMED, Heijunka, small batch production, Kanban, and milkrun, efficiency reached 94.1%, delivery performance achieved 100%, mold changeover time was reduced to 38.5 minutes, and total inventory levels were lowered to 2.86 days. The implemented methods were found to be effective and suitable for supporting continuous improvement. Quiroz Flores and Vega-Alvites (2022), with its versatile range of applications, plastic production reached 348 million tons in 2017, with Colombia showing the highest growth rate in Latin America at 4.8%, followed by Peru at 4.5%. In Peru, per capita plastic consumption is 30 kg, and the sector contributes 4% to the national GDP and 13% to tax revenues. However, companies operate at only 71.5% of their installed capacity, indicating inefficiencies. Through the implementation of Lean tools such as 5S, SMED, TPM, and Jidoka, Overall Equipment Effectiveness (OEE) increased by 13%, product losses decreased by 0.77%, and unplanned downtime was reduced by 37%. The model significantly improved delivery performance and serves as an example for the industry.

Overall, the literature reveals that VSM is widely and effectively used in diverse sectors including manufacturing, healthcare, software, public services, and agriculture. However, there appears to be a significant gap in studies focusing on the application of VSM in the recycling industry. Considering the potential benefits VSM can offer in processes such as waste collection, sorting, and reprocessing, this area represents a promising yet underexplored field in both academic and practical contexts. The complex and multi-stage nature of recycling operations makes systematic tools like VSM particularly valuable, and further research in this domain can contribute significantly to both the literature and industrial practice.

### 3. MATERIALS and METHODS

#### 3.1. Value Stream Mapping

Value stream mapping is a method that aims to plan improvement efforts by identifying waste sources in production processes. It focuses on targets such as reducing raw material losses, preventing errors, reducing costs, preventing delivery delays and increasing quality. VSM analyzes all aspects of processes by making waste and available resources visible, and shows the relationships between information and material flows. It also contributes to the implementation of lean manufacturing techniques by providing the opportunity to examine problems on-site and find solutions (Meier and Liker, 2006: 40-44). In product or service production, some activities add value to the final product while others create waste. "Value stream mapping", one of the lean manufacturing techniques, aims to identify and eliminate waste, thus ensuring efficient use of resources, shortening delivery times, reducing costs and increasing profitability (Manos, 2006).

The first step to create a VSM starts with determining the product family. Then, the current situation is mapped and the current process is analyzed and the necessary information is provided to create the future situation. The current situation and changes in the future situation are considered as activities that affect each other. The last step is to prepare the plan to be implemented and start implementing it. Value stream mapping helps businesses achieve goals such as increasing efficiency in their processes and reducing costs, while also enabling them to develop strategies to increase customer satisfaction and gain competitive advantage. In VSM, various symbols are used to visualize the process. These symbols represent material and information flows, processes and other important elements (Kökten, 2021: 36-37; Demirci, 2017: 10-11).

The main purpose of this map is not to reduce the cost of a particular product, but to recognize systematic problems and develop systematic solutions for better performance of functions (Jones and Womack, 2002: 20). The main goal in the value stream perspective is to improve the whole from a broad perspective, not just limited to processes. The focus in this approach is to effectively analyze and optimize the value-creating flow (Rother and Shook, 1999: 17-19).

**Table 1. Application steps of VSM method**

| Steps | Applications                                                                                                                                                                                                           |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | A single product family is selected                                                                                                                                                                                    |
| 2     | A value stream manager is determined.                                                                                                                                                                                  |
| 3     | Mapping activities are initiated.                                                                                                                                                                                      |
| 4     | In the mapping drawing, information and material flow are monitored and planned together.                                                                                                                              |
| 5     | The VSM technique is applied to the current situation.                                                                                                                                                                 |
| 6     | Process information such as mold change time, stock status, cycle time, number of operators, etc. are collected in the current situation value stream mapping process and recorded on the map.                         |
| 7     | A forward-looking situation value stream map is drawn using lean techniques in order to eliminate situations that cause waste and increase value for the consumer by utilizing the current situation value stream map. |
| 8     | An action plan is created for the future situation map.                                                                                                                                                                |
| 9     | The future situation is created with continuous improvement studies.                                                                                                                                                   |

*Reference: Rother and Shook (1999: 17-48)*

VSM analysis is critical to increasing the efficiency of the business and eliminating waste. Mapping allows for effective analysis by visualizing all steps and relationships in the production flow. The company, which operates in a plastics plant, produces low-density polyethylene granules and garbage bags according to customer orders. Orders are received by the marketing department, recorded, and sent to the production department via e-mail. The production department prepares special work orders for each order and forwards these orders to production, purchasing, quality control, and relevant department managers.

While the purchasing department supplies the necessary raw materials according to the work orders, shift engineers perform quality controls during the production process. Department managers instruct their employees to ensure that the processes proceed smoothly. This system ensures that production is carried out in accordance with customer demands, raw materials are supplied on time, and quality standards are maintained. Thanks to this regular and integrated work, the company successfully produces granules and garbage bags while keeping customer satisfaction at the highest level.

## 4. FINDINGS

The information obtained has formed the basis for creating a map of the current status of the business. This map has enabled the identification of deficiencies and unnecessary stages in the processes and has allowed for the identification of improvement opportunities. The VSM technique not only determines the current problems of the business, but also helps to detect potential future problems in advance. In this way, a culture of continuous improvement has been adopted and quality has been increased in all processes of the business. Forward-looking plans and applications will strengthen the position of the business in the sector and contribute to it becoming a more successful business.

### 4.1. Current State Map

#### 4.1.1. Product Family Selection

First, the variety of products available in the business and their classification are explained. Each of these products has different raw material properties. Since the production planning unit carries out production according to customer demands, there is no stock accumulation during the production process. The separation line is adjusted according to the incoming orders and the production process starts accordingly.

As a result of the observations, the Pre-Preparation Line and Granule Extrusion Line product family consisting of Pre-Preparation Line, Granule Extrusion Line, Film Extrusion Line and Film Cutting Machine sections were selected. The reason for this selection is due to the problems in the Granule Extrusion Line as a result of the observations. In addition, it was determined that the Pre-Preparation Line and Granule Extrusion Line were more suitable in terms of efficiency and product quality. This selection was made in order to improve the production process and increase customer satisfaction. The color types used in the production of low density polyethylene (LDPE) generally vary depending on the characteristics of the plastic waste obtained in recycling processes and customer demands. The colors commonly used in LDPE recycling are as follows:

- Natural (Clear/White): LDPE in its purest form, undyed or colorless. This is usually the highest purity and quality recycled LDPE.
- Black: LDPE obtained from black pigment or mixed color waste. It is usually produced and dyed from a mixture of plastic wastes of various colors.
- White: White colored LDPE obtained from pure or slightly colored waste.
- Colored (Mixed Colors): Mixed color LDPE produced from wastes of various colors. This category can include recycled LDPE in different colors such as blue, red, green, yellow.

Color variety may vary depending on the nature of the recycling process and the raw material used. Some recycling facilities can also produce special colors according to specific customer demands. The company's more efficient and sustainable production by taking into account this color variety and differences in the production process plays an important role in increasing customer satisfaction and reducing environmental impacts. VSM study provides a better understanding and improvement of all these processes. Detailed analyses performed in each of the production steps help identify bottlenecks and waste sources and offer various improvement suggestions to eliminate these problems. In this way, the company's overall production performance is increased and customer satisfaction is ensured.

As a result of measurements made in the factory, observations made on site and interviews with shift managers, data related to production were collected. Within the scope of this study, necessary information was obtained to evaluate the current status of the factory and the product family was determined. The current status map presented in Figure 1 shows each production stage (separation, crushing/washing, pool, extrusion, and packaging) in the LDPE recycling process and the cycle times, stocks, and types of waste in these processes. With this map, waiting times, intermediate stock accumulations, and bottlenecks that occur throughout the process are visualized; for example, quality problems due to human errors in the separation line and stoppages in the extrusion line are clearly defined on the map. Takt time was calculated in line with customer demands. In order to clearly transfer the current status to the map, basic questions need to be answered. The recovery process focused on by the study is a semi-automatic process. There are four employees who control all stages of the automatic line along the production line. These employees continue the flow of the process by intervening in problems that may occur on the line. During the observations made in the factory, time measurements were made at each stage repeatedly. The average completion time of each stage was calculated and determined as a result of these observations. The current status map helps us observe the entire process and see the wastes. In this section, a value stream map was drawn for the selected product family and in this direction, the value-creating and non-value-creating operations of the process

were examined and the necessary information was presented on the map. A current VSM study was conducted for a product of the plastic sector that produces granule raw materials in an industrial company. The VSM process begins with the production planning department informing the supplier of the required raw material according to the order quantity reported from the marketing department. The raw material required for the selected product family is supplied within a week and low density polyethylene production begins. The granules produced are tested for product quality. Bales are received from the supplier every Monday and packaged granule products are shipped to the customer on Mondays and Thursdays. The majority of transportation is carried out by road. In the current situation, cycle times, takt times and intermediate stocks have been mapped for a weekly production of 35 tons.

In this study, data were collected through a systematic, planned, and multidimensional observation process and production reports conducted directly on the production line. The data collection phase covered a 7-week period, including 6 working days per week and 3 shifts per day, totaling 42 shifts. This extensive observation process reflects both the temporal and operational diversity of the production environment and allows for evaluating the consistency and sustainability of the processes under varying production conditions. In the initial phase, a comprehensive current state analysis was conducted over 10 days to identify the main performance issues observed in the production line. Following this analysis, specific durations were allocated for the improvement of each production line. The sorting line was allotted 8 days, the crushing line 9 days, the washing pool 3 days, and the extrusion line 2 weeks. During these periods, operations in each line were directly observed on-site, operator workflows were monitored, and each step of the processes was recorded in detail. Additionally, the study incorporated not only quantitative but also qualitative data. Semi-structured interviews were conducted with a total of 33 personnel working across different production lines. Through these interviews, comprehensive qualitative data were obtained regarding operational challenges, bottlenecks, root causes of defects, and improvement opportunities. Thus, the data collection methodology was designed not only based on performance indicators but also with a worker-oriented perspective. Collected data included key performance indicators such as cycle times, breakdown and waiting durations, scrap amounts, production outputs, and OEE values. From each production station, 30 observations were recorded to represent the current state. Similarly, after the implementation of process improvements, another set of 30 observations per station was collected to represent the future state. This structure enables a comparative analysis between current and improved processes, ensuring that observed changes can be statistically evaluated with high reliability. The use of equal, consistent, and systematically gathered data from two different timeframes increases the validity and reliability of the study and supports its replicability in future applications. This integrated approach combining observational and analytical data offers a holistic evaluation of lean manufacturing practices and provides concrete insights into improving operational efficiency within the enterprise.

According to the data collected in the business, low density polyethylene production is transferred in line with the given production order. In the first stage of the process, the raw material in bale form is spoiled during the separation stage. An average bale weighs 500 kg. The entry of the bale into the separation section is carried out by the forklift operator or shift manager, and as a result of observations, the average time for the bale to be completely opened is 5 minutes. First, the bales delivered to the business by the suppliers are arranged in an orderly manner in the stock area. The storage area has a storage capacity of 100 bales (50,000 kg). While 2 workers place the dispersed bale on the belt, 4 workers separate the unwanted materials in the raw material on the moving belt. The completion of a bale has been measured as 105 minutes, meaning 1 kg of product is separated in 15 seconds. Unless there is any situation that prevents the production line, it is in continuous flow.

The separation line is the first process that enables the recovery of waste plastics and their reprocessability. Packaging wastes accepted in bales are sorted by manpower on the separation conveyor and unwanted products such as paper, metal, cardboard, glass, etc. are separated into scrap. During the separation process, each employee is assigned to separate a specific material, thus the process progresses faster and more efficiently. The separated plastics are checked by the quality control team before being subjected to the cleaning process. The quality control team prevents any disruptions in the production line by ensuring that the separation process is carried out correctly and completely. The separation section is the cornerstone of the recycling process. Effective and efficient work in this section directly affects the success of the overall production process. After the separation process is completed, the cleaned and separated plastics are sent to the next processing stage and the recycling process continues. This process ensures that the plastics are made suitable for later processes and can be used in the production line.

At the crushing machine stage, it reduces the size of the scrap by shredding the plastic material in the recycling line with the help of six rotating and four fixed blades depending on the screen diameter. It transmits the rotation direction of the electric motor to the rotor with the belt pulley. When the rotating blades connected to the rotor shaft start to rotate, the scrap passes between the moving blade and the fixed blade of the machine. At this time, the crushing process takes place. Water is sprayed from the upper chamber and the dirty product is washed in the crushing machine. It is carried to the beating with the crushing exit spiral located at the bottom of the crushing machine. In an average of 12 seconds, 1 kg of material is shredded and reduced. This process is repeated with the end of each bale.

The washing pool is the process of washing, cleaning and removing unseparated unwanted materials from the plastics coming from the crushing line. Since the materials transferred from the crushing line are generally dirty, a washing process is required. This stage is quite critical since the impurities in the incoming product affect the quality of the outgoing product. When the rotor, screen configuration and rotary speed in the turbo beating process are combined, the materials are cleaned and the residual moisture content of the product is removed. Contaminated particles and water are thrown out of the screen holes, and unwanted materials in the product are separated and purified.

This process is carried out effectively thanks to the centrifugal force created by the high-speed rotating rotor. The waste water comes out of the lower discharge hole of the dryer, thus minimizing the moisture content of the recovered plastics.

This method ensures that the materials are of higher quality in the subsequent processing stages and ensures that the final product complies with the standards. Turbo-beating process increases the efficiency of the production line, saving both time and energy costs. In addition, the efficient execution of this process is an important factor that increases the durability of the products and customer satisfaction. As a result, turbo-beating plays a critical role in recycling processes and also contributes to environmental sustainability. The squeezer dewateres the shredded product by applying mechanical torque and dries it by reducing the moisture content by 85%-90%. This process allows the materials to be dried efficiently and ensures that the product is of higher quality in the subsequent stages.

The squeezing machine increases the quality of the low-density recycled product, making it more durable and usable. This is an important step in the recycling process and provides a great advantage in using the materials as a final product. It is possible to minimize the waiting time in the granule extrusion line by increasing the speed of the crushing and washing line. In this way, we can continue production without stopping the line by gaining the time required for blade replacement. Eliminating the waiting waste in the granule extrusion line makes the production process more efficient and effective. This improvement both saves time and reduces overall production costs. Being able to continue production without stopping the line allows the company to meet customer demands more quickly and effectively by increasing its production capacity. Thus, the company's competitiveness increases and its market share expands.

After the pressing process is completed, the fan used during the transportation of the materials to the silo ensures that the product becomes even drier. This fan creates an additional drying effect during the transportation of the materials, helping to maintain the quality of the material.

The silo plays an important role in the storage of raw materials and intermediate products. Keeping stocks for use in the factory and having safety stocks ensures that production processes continue without interruption.

In the Granule Extrusion Line, plastic waste is melted in the extruder and turned into a homogeneous melt. During this process, the plastic material is brought to the desired temperature and pressure using heaters and screws. The extruder screws carry the material forward while also performing mixing and homogenization. This stage ensures that the plastics melt completely and create a homogeneous mixture. The molten plastic is passed through double head granule and head cutting molds in the next stage of the granule extrusion line. The mold allows the plastic to be brought to the desired shape and size. The molten plastic is subjected to a cooling process after exiting the mold. Plastic granules are quickly cooled and solidified using water cooling systems. This cooling process ensures that the granules maintain their shape and harden. The cooled plastic melt is converted into granules of the desired sizes with the help of cutting machines. These granules separate the plastic material into small, usable pieces and make it ready for storage. The granules are collected and stored by packaging units. During the storage process, the granules are made ready for use or sale.

There are situations that cause inefficiency and decrease in production speed in the production line. The first step that forms the basis of the current situation map is to determine takt time. Takt time is

defined as the frequency of customer demand for products. Businesses should manage their production activities by establishing a balance between takt time and current production speed. Takt time is calculated by dividing the net working time by an average order Equation 1.

$$\text{Takt Time} = \text{Available Work Time} / \text{Customer Demand} \quad (1)$$

$$\text{Takt Time} = 81000 / 5833.3 \text{ kg} = 13.88 \text{ sc/kg}$$

Raw material production takt time is calculated as 13.88 seconds in line with customer demands. As a result, it shows that overtime work is required due to product production below demand.

**Table 2. Number of employees and cycle time by department**

| Section            | Number of Employees | Cycle Time |
|--------------------|---------------------|------------|
| Separation         | 6                   | 15 sc      |
| Crushing/Washing   | 1                   | 12 sc      |
| Pool               | 1                   | 25 sc      |
| Whipping/Squeezing | 1                   | 7.5 sc     |
| Extrusion Line     | 1                   | 14.4 sc    |
| Package            | 1                   | 14.4 sc    |

Addressing the efficiency and time management in the production process is critical to increasing the competitiveness of the business. All processes within the business were examined in detail in terms of the efficiency of different machines and operators, and as a result of these evaluations, production planning, flow times and all processes from order to delivery of the product to the customer were analyzed comprehensively. According to the performance of the machines and operators used in the recycling process, capacity, processing times and waste rates were determined and OEE (Overall Equipment Effectiveness) values were calculated using this data. OEE is a metric that measures how efficiently equipment is used and consists of three basic components: availability, performance and quality Equation 5. The overall efficiency of the business was evaluated by considering these components.

$$\text{Availability} = \text{Working Time} / \text{Planned Production Time} \quad (2)$$

Working Time is the time obtained by subtracting planned downtimes from planned production time. Planned Production Time is the total time planned for production.

$$\text{Performance} = [(\text{Total Number of Parts Produced} * \text{Cycle Time}) / \text{Working Time}] * 100 \quad (3)$$

$$\text{Quality} = \text{Acceptable Number of Parts} / \text{Total Number of Parts Produced} \quad (4)$$

Acceptable Number of Parts is the number of parts that passed quality control and were accepted. Total Number of Parts Produced is the total number of parts produced.

$$\text{OEE} = \text{Availability} * \text{Performance} * \text{Quality} \quad (5)$$

By considering the production flow times and total cycle time, operational efficiency in the company was calculated and improvement areas were determined in the light of these efficiency values. Cycle time is the total time it takes for a product to be completed on the production line and this time includes all production stages, waiting times and transportation. Cycle time is a factor that directly affects the efficiency and speed of the production process Equation 6. Therefore, optimizing the cycle time is important for identifying and eliminating bottlenecks in the production line.

$$\text{Cycle Time} = \text{Total Production Time} / \text{Total Number of Parts Produced} \quad (6)$$

In the production process, all processes from the order to the shipment of the product to the customer are carried out in a coordinated manner between the planning, production and logistics departments. This coordination allows each department to perform their duties in the most effective way and contributes to the smooth progress of the process. The planning department receives customer orders and creates a production program; the production department carries out production in accordance with this program and the logistics department ensures that the completed products are shipped to the customers on time and correctly. Optimizing each stage in this process increases the overall performance of the business and ensures customer satisfaction.

As a result of these calculations, in order to see the general situation comprehensively, the current situation map was calculated and visualized as in Figure 1.

In this study, a current state value stream map was developed for the LDPE (Low-Density Polyethylene) recycling process. The map details each process step from the supplier to the customer, visually illustrating key performance indicators such as cycle time (C/T), changeover time (C/O), scrap rate, and overall equipment effectiveness (OEE) for each station. In the current state, the production line consists of six main stations: Sorting, Crushing, Washing, Dewatering, Extrusion, and Packaging. It is assumed that each station operates across three shifts. The total cycle time of the production line was calculated as 88.3 seconds, and the total production lead time was estimated at 9.52 days. These durations reveal existing bottlenecks and inefficiencies within the production flow.

In particular, the sorting station demonstrates a significant loss, with a 15-second cycle time and a scrap rate of 4.6%. The extrusion station also shows a high scrap rate of 5.9% and an OEE value of only 54%. These low-performance figures limit the overall production capacity and result in the need for frequent overtime to meet customer demand. Against a weekly customer demand of 35,000 kg, the production line currently achieves only 32,400 kg per week due to capacity constraints, particularly with an average hourly production rate of 240 kg. This analysis highlights critical areas that require improvement and lays the groundwork for implementing lean manufacturing techniques in the next phase.

#### **4.2. Future State Map**

As a result of the current situation analysis, in this section where improvements in the production flow are specified and a future situation map is created, suggestions are presented for eliminating waste. As a result of determining the flow in the business by drawing the current situation value flow map, wastes and losses have been clearly revealed. With these improvements, value-added and non-value-added activities that are intended to be replaced with lean production have been identified. While aiming to minimize time losses and make the process more efficient in the future situation, the adoption of lean production has been encouraged with the suggested techniques and applications Figure 2.

The future state map in Figure 2 visually reflects the lean production-based improvement suggestions aimed at eliminating waste elements detected in the current process. The map shows in detail the interventions made in each of the main processes in the production line such as separation, crushing/washing, pool, squeezing, granule extrusion and packaging and the effects of these interventions on the process. As a result of the integration of Andon systems and the provision of ergonomic training in order to increase employee performance in the separation line, the cycle time was reduced from 15 seconds to 10.3 seconds and quality losses were reduced. In the crushing unit, blade change times were shortened with the SMED method and stoppages were reduced thanks to the use of more durable materials. Overflow and blockage problems were prevented in the washing line by using automatic water level control sensors, and product quality was increased by applying disinfectant against bad odor problems. In the granule extrusion line, the cycle time was shortened and production quality was increased thanks to the improvement of vacuum covers, operator training and the creation of standard work instructions. In line with all these arrangements, it is seen on the map that the production flow is more balanced, unnecessary stocks are eliminated and a system that works at a speed suitable for customer demand is designed. Thus, the production process has been reduced to a sustainable structure, with increased efficiency and reduced waste. Detailed information is provided under the subheadings.

The push system currently applied in the business has been addressed because it can lead to inefficiency and a decrease in speed in production. The first step in the future state map was to determine takt time; that is, to determine the production speed appropriate to customer demands, so that new customer demands can be met. Businesses should align production with customer demands by using takt time.

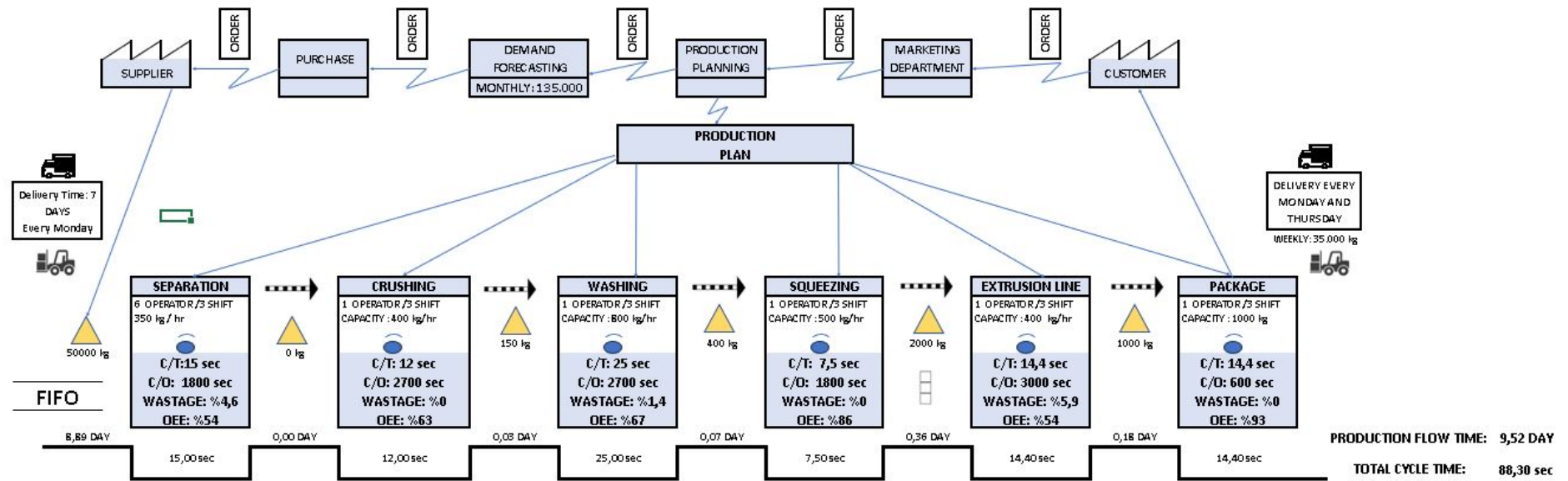


Figure 1. Current state map

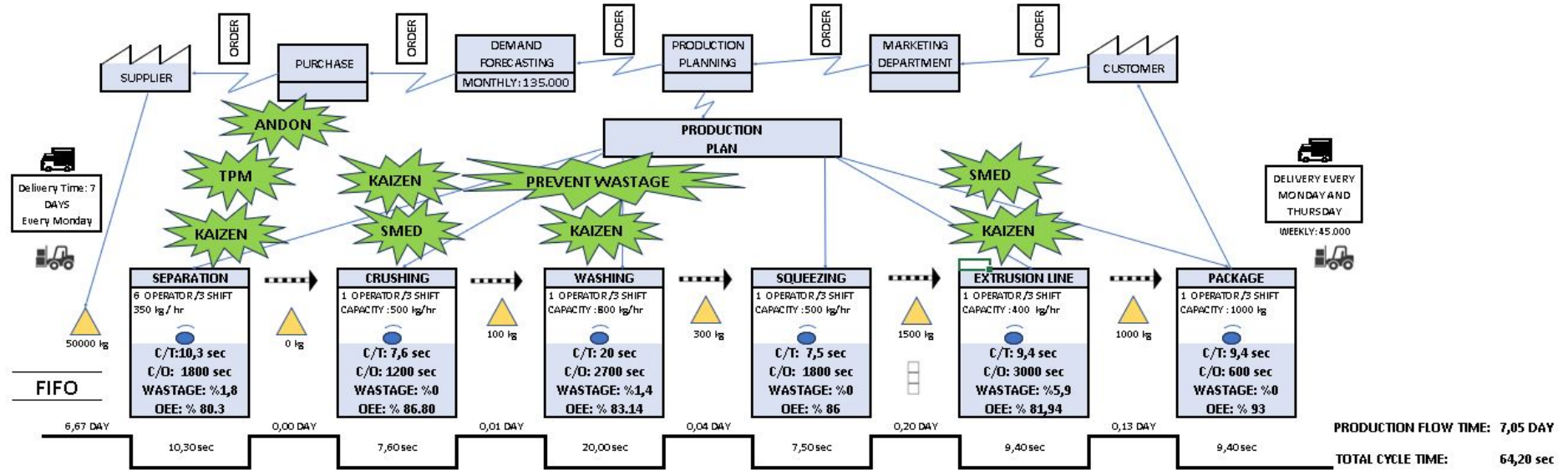


Figure 2. Future state map

## 5. RESULTS AND DISCUSSIONS

### 5.1. Separation Line

It has been determined that the most important factor that negatively affects the efficiency of the separation line is the human factor. Operating the belt at a speed that will strain the employees causes the personnel to lose their attention because they cannot keep up, and unwanted metal pieces damage the crushing blades and conveying spirals. This situation results in the replacement of the blades and the pause of production, which increases costs and decreases efficiency. In order to solve the problem, analyses were conducted to optimize the belt speed and regular training programs and ergonomic arrangements were planned to be implemented to increase the performance of the employees. As part of the training programs, employees were guided to adapt to the belt speed and work in a balanced and ergonomic manner without losing focus. They were taught correct working postures and methods to avoid errors caused by excessive physical effort. Additionally, awareness was raised about the damage that metal or foreign objects can cause to equipment during the production process, and the basic rules for the safe and careful use of equipment were explained. Quality control awareness was enhanced through topics such as detecting scrap contamination, effective use of Andon systems, and early reporting of quality issues. Furthermore, to boost employee motivation and strengthen team communication, topics such as feedback techniques and setting performance targets were addressed. Along with Kaizen and a culture of continuous improvement, employees were also encouraged to actively participate in the improvement processes.

As a result of the cause-cause analysis, the current status of the process was evaluated, wastes were identified and improvement suggestions were developed. It was suggested that entry controls be tightened to prevent scrap contamination, quality control equipment be strengthened and suppliers be regularly inspected. In addition, it was planned to make agreements with suppliers that determine quality standards and to ensure the continuity of these agreements. It was emphasized that targets should be realistically determined and the belt speed should be adjusted in accordance with the capacity of the employees in order for the personnel to adapt to the speed problem in the production line. In order to eliminate imbalances in raw material quality, it was envisaged to improve supplier selection processes and separate scraps from different sources. With all these arrangements, it is aimed for the company to operate with higher efficiency in the short and long term and to gain cost advantage.

**Table 3. Paired samples statistics of the separation line**

|        |              | Mean    | N  | Std. Deviation | Std. Error Mean |
|--------|--------------|---------|----|----------------|-----------------|
| Pair 1 | CT_Before    | 15.0333 | 30 | 0.73781        | 0.13471         |
|        | CT_After     | 10.304  | 30 | 0.21418        | 0.0391          |
| Pair 2 | Waste_Before | 4.6027  | 30 | 2.129          | 0.3887          |
|        | Waste_After  | 1.908   | 30 | 0.36488        | 0.06662         |
| Pair 3 | OEE_Before   | 53.6453 | 30 | 2.91039        | 0.53136         |
|        | OEE_After    | 80.3233 | 30 | 1.68772        | 0.30813         |

As a result of the improvements implemented, significant advancements were achieved in the separation line in terms of cycle time, waste amount, and equipment effectiveness. The average cycle time, which was 15.03 seconds before the improvement, decreased to 10.30 seconds afterward representing an approximate reduction of 31.5%. This reduction indicates a notable increase in production efficiency (Table 3). In terms of waste, the initial rate of 4.60% dropped to 1.91% following the improvements. This corresponds to a 60% reduction in waste and reflects a more efficient approach to resource utilization. Similarly, a substantial improvement was observed in OEE. The average OEE increased from 53.64% before the intervention to 80.32% afterward, marking a rise of approximately 49.7%. This improvement demonstrates that the separation line operated with fewer stoppages, higher performance, and better quality rates.

**Table 4. Paired samples correlations of the separation line**

|        |                            | N  | Correlation | Sig.   |
|--------|----------------------------|----|-------------|--------|
| Pair 1 | CT_Before & CT_After       | 30 | 0.971       | < 0.01 |
| Pair 2 | Waste_Before & Waste_After | 30 | 0.949       | < 0.01 |
| Pair 3 | OEE_Before & OEE_After     | 30 | 0.965       | < 0.01 |

The correlation coefficient between the variables CT\_Before and CT\_After was calculated as 0.971, with a p-value of  $< 0.001$  (Table 4). This result indicates a strong and statistically significant positive relationship between the two variables, suggesting a high level of linear association between the pre- and post-improvement cycle time data. Similarly, the correlation coefficient between Waste\_Before and Waste\_After was found to be 0.949, with a p-value of  $< 0.001$ . This also demonstrates a strong and meaningful relationship between the waste amounts before and after the improvement, indicating a consistent and parallel change in waste levels. For OEE\_Before and OEE\_After, the correlation coefficient was calculated as 0.965, with a p-value of  $< 0.001$ . This reflects a high degree of alignment and linear relationship between the equipment effectiveness measurements taken before and after the improvement.

Overall, the correlation analysis reveals strong and statistically significant associations across all measured parameters before and after the improvement efforts. These findings confirm that the improvements implemented in the separation line have had a direct and effective impact on process performance, leading to substantial advancements in key indicators such as cycle time, waste reduction, and overall equipment effectiveness (OEE).

## **5.2. Crushing Machine**

Regular maintenance and cleaning are important for the efficient operation of the crushing machine. Keeping the blades sharp and the moving parts working smoothly increases the efficiency of the crushing process. Operators should receive regular training and comply with safety protocols to ensure the correct operation of the machine. In addition, it is important for occupational health and safety to keep the noise level generated during the operation of the crushing machine under control. The factors that affect the efficiency of production in crushing are as follows:

- Sieve Diameter
- Blade Quality
- Water Intensity

### **5.2.1. Sieve Diameter**

A six-day analysis was carried out by testing three different sieves: 100 mm, 80 mm and 60 mm sieve diameters were tested.

In Table 5, when a 100 mm screen diameter is used, the semi-finished product particles passing through the screen without being crushed are relatively large, resulting in an increase in line speed. However, these larger particles tend to wrap around the transport augers, leading to issues such as motor overload, motor burnout, and belt breakage, which ultimately cause line stoppages.

When a 60 mm screen diameter is used, the semi-finished product particles passing through are smaller, which leads the system to further reduce their size, thereby slowing down the line and decreasing overall efficiency. It was determined that using an 80 mm screen diameter provides the most optimal line efficiency, balancing throughput while reducing breakdowns and stoppages by approximately 50%.

**Table 5. Optimum sieve diameter root causes analysis**

| Process        | Potential Root Causes                  |                                   |                                                                            |                                                     |                                       | Root Cause                    | Solution                                                         |
|----------------|----------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------------------------|
|                | Why?                                   | Why?                              | Why?                                                                       | Why?                                                | Why?                                  |                               |                                                                  |
| Sieve diameter | Low production efficiency in crushing. | Using a sieve diameter of 100 mm. | The large diameter causes semi-finished products to be wrapped in spirals. | Engines straining, burning out and belts breaking.  | It causes the line to stop.           | Inappropriate sieve diameter. | 80 mm sieve diameter: provides the most optimum line efficiency. |
|                |                                        | Using a sieve diameter of 60 mm.  | Small diameter slows line speed.                                           | Products need further processing to become thinner. | Efficiency is decreasing.             |                               |                                                                  |
|                |                                        | Using a sieve diameter of 80 mm.  | Speed and failure rate are balanced.                                       |                                                     | Faults and postures decreased by 34 % |                               |                                                                  |

**Table 6. Blade quality root causes analysis**

| Process       | Potential Root Causes                              |                                                     |                                                                                             |                             | Root Cause                                | Solution                                                                                                                                                                                                            |
|---------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|               | Why?                                               | Why?                                                | Why?                                                                                        | Why?                        |                                           |                                                                                                                                                                                                                     |
| Blade Quality | Crushing knives become dull quickly.               | The material used is not hard enough.               | Plain carbon steel is used.                                                                 | Insufficient blade quality. | Blade change times are long (30 minutes). | With the use of Hardox 500 hardened steel, 60% efficiency in production downtimes has been achieved.                                                                                                                |
|               | Hand tools and materials to be used are not ready. | No preparation has been made for blade replacement. | Due to shift change, crushing knives that need to be sharpened are left for the next shift. |                             |                                           | In order to minimize tool change times, spare tools must be preprocessed. Must be viewed and made ready for use. In addition, a specific place and bench should be arranged so that hand tools can be easily found. |

### 5.2.2. Blade Quality

A root cause analysis regarding the impact of blade quality on production was conducted and presented in Table 6. Upon reviewing the production reports, it was found that crushing blades dull quickly, requiring replacement three times per day, with each replacement taking approximately 30 minutes.

The root cause analysis revealed that the main issue was the rapid dulling of the blades, primarily due to the insufficient hardness of in-house manufactured blades.

To address this problem, Hardox 500 hardened steel was used instead of plain carbon steel to increase blade durability, and the impact on production downtime was monitored. As a result, the frequency of blade replacements was reduced from three times to twice per day.

In addition, by applying the SMED (Single-Minute Exchange of Die) method, several improvements were made:

- The positions of hand tools used for blade replacement were standardized,
- Tools were prepared and made ready before the replacement process,
- Blades were pre-sharpened in advance.

These steps collectively reduced the blade replacement time from 90 minutes to 40 minutes. These improvements enabled a more continuous and efficient production process. By reducing both the frequency and duration of blade changes, the overall performance of the production line improved, resulting in a more productive operational environment.

**Table 7. Water intensity root causes analysis**

| Process         | Potential Root Causes            |                                                                                                                                              |                                                                                                                                                        | Root Cause                               | Solution                                                                                                                         |
|-----------------|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                 | Why?                             | Why?                                                                                                                                         | Why?                                                                                                                                                   |                                          |                                                                                                                                  |
| Water Intensity | The line stops due to blockages. | When there is insufficient water, the product remains in the breaking state. When the water intensity is high, it accumulates in the spiral. | When the water intensity is low, the product after crushing does not fall into the spiral. Excess water causes the product to accumulate in the screw. | Incorrect adjustment of water intensity. | The intensity of the water was adjusted to the optimum level. Loss of time and decrease in production efficiency were minimized. |

### 5.2.3. Water Intensity

Based on data obtained from production reports, various analyses were conducted on downtimes in order to improve production efficiency. It was observed that insufficient water pressure from the top chamber causes the crushed material to fail to move toward the screw conveyor, resulting in accumulation within the crusher. On the other hand, excessive water pressure leads to accumulation in the screw conveyor, causing blockages that require the line to be stopped and emptied (Table 7). In both scenarios, time loss and a decrease in production efficiency were identified as significant issues.

Various improvements have been made in the crushing and washing processes to increase the efficiency of the production line. By determining the sieve diameter as 80 mm, optimum balance has been achieved in line speed, and the strain on the motors and stoppages have been reduced by 50%. Hardox 500 steel has been preferred to prevent rapid dulling of the crushing blades, and the blade change time has been reduced from 90 minutes to 40 minutes with the SMED method. In addition, the frequency of blade changes has been reduced from three to two per day, reducing production interruptions. Automatic water leveling sensors have been used in the washing basin to prevent overflow and blockage problems, and line efficiency has been increased. In order to prevent bad odor problems in the raw material, disinfection has been provided with NaOCl and solid caustic, and the final product quality has been improved. By ensuring the trouble-free operation of the washing basin with periodic maintenance and filter cleaning, customer satisfaction has been increased.

**Table 8. Paired samples statistics of the crushing machine**

|        |              | Mean    | N  | Std. Deviation | Std. Error Mean |
|--------|--------------|---------|----|----------------|-----------------|
| Pair 1 | CT_Before    | 12.0207 | 30 | 0.51520        | 0.09406         |
|        | CT_After     | 7.6000  | 30 | 0.93070        | 0.01699         |
| Pair 2 | Waste_Before | 0       | 30 | 0              | 0               |
|        | Waste_After  | 0       | 30 | 0              | 0               |
| Pair 3 | OEE_Before   | 62.4757 | 30 | 2.51880        | 0.45987         |
|        | OEE_After    | 82.2480 | 30 | 0.99771        | 0.18216         |

Before the improvement, the average cycle time was 12.02 seconds, which decreased to 7.60 seconds after the improvement. This represents a reduction of approximately 36.8%. Such a decrease indicates an acceleration in the production process and a reduction in time losses (Table 8). When pre- and post-improvement measurements are examined, the waste amount was reported as 0.00 in both cases. The OEE (Overall Equipment Effectiveness) value increased from 62.48% before the improvement to 82.25% afterward, corresponding to an improvement of approximately 31.6%. This rise in OEE suggests enhancements in equipment availability, performance, and quality rates.

**Table 9. Paired samples statistics of the crushing machine**

|        |                        | N  | Correlation | Sig.  |
|--------|------------------------|----|-------------|-------|
| Pair 1 | CT_Before & CT_After   | 30 | 0.884       | <0.01 |
| Pair 3 | OEE_Before & OEE_After | 30 | 0.910       | <0.01 |

The results of the correlation analysis (Table 9) show that the correlation coefficient between CT\_Before and CT\_After was calculated as 0.884, indicating a strong and positive relationship between the two variables ( $p < 0.001$ ). This finding suggests that the improvements had a systematic and consistent impact on cycle time, contributing to enhanced process efficiency. The correlation coefficient between OEE\_Before and OEE\_After was found to be 0.910, which also reflects a strong and statistically significant positive relationship ( $p < 0.001$ ). This result indicates that the observed increase in OEE was not due to random variation, but rather a direct and effective outcome of the improvement initiatives on overall process performance.

## 5.2. Washing

The water level in the washing tanks must be maintained at an optimal level. When the water level is too low, the movement of raw materials slows down, which in turn reduces the line speed. On the other hand, when the water level is too high, the tanks overflow, leading to material loss. Instead of manually adjusting the water level, the use of an automatic water level control sensor has allowed for consistent regulation, increasing line efficiency and preventing overflow outside the tank.

Additionally, semi-finished materials in the washing tank that are dirty and emit unpleasant odors can cause the raw material from the granule extrusion line to also smell bad, negatively impacting product quality and customer satisfaction. To address this issue, sodium hypochlorite (NaOCl) and caustic soda were used in the washing tank to eliminate bad odors from the material and to disinfect the water. This improvement has led to a noticeable increase in final product quality and has enhanced customer satisfaction.

**Table 10. Paired samples statistics of the washing**

|        |              | Mean    | N  | Std. Deviation | Std. Error Mean |
|--------|--------------|---------|----|----------------|-----------------|
| Pair 1 | CT_Before    | 12.5653 | 30 | 0.95797        | 0.1749          |
|        | CT_After     | 10.0033 | 30 | 0.17691        | 0.323           |
| Pair 2 | Waste_Before | 1.4303  | 30 | 0.4565         | 0.8335          |
|        | Waste_After  | 1.3947  | 30 | 0.22491        | 0.4106          |
| Pair 3 | OEE_Before   | 66.5157 | 30 | 4.98047        | 0.90931         |
|        | OEE_After    | 83.1163 | 30 | 1.43645        | 0.26226         |

The average Cycle Time before the process was 12.57, while the post-process average was measured at 10.00. This indicates a reduction of approximately 20.4% in cycle time, demonstrating that the production process has accelerated and a significant improvement in the operational efficiency of the line has been achieved (Table 10). Regarding the amount of waste, the pre-process average was 1.43, while the post-process average was measured at 1.39. Although this appears to be only a 2.8%

reduction in percentage terms, the increase in production volume after the intervention makes this improvement more meaningful. The fact that waste decreased despite higher output indicates that the process has become more efficient and that waste is being managed more effectively. Therefore, it is reasonable to conclude that there has been a significant improvement in waste reduction. In terms of OEE (Overall Equipment Effectiveness), the average increased from 66.52% before the process to 83.12% afterward. This approximate 24.9% increase shows that substantial improvements have been made in components such as machine availability, performance, and quality on the production line.

**Table 11. Paired samples correlations of the washing**

|                                   | <i>N</i> | <i>Correlation</i> | <i>Sig.</i> |
|-----------------------------------|----------|--------------------|-------------|
| Pair 1 CT_Before & CT_After       | 30       | 0.876              | < 0.01      |
| Pair 2 Waste_Before & Waste_After | 30       | 0.898              | < 0.01      |
| Pair 3 OEE_Before & OEE_After     | 30       | 0.921              | < 0.01      |

The calculated correlation coefficient for the change in Cycle Time is  $r = 0.876$ , and this relationship is statistically significant ( $p < 0.001$ ). This finding indicates a strong and consistent relationship between the pre- and post-improvement cycle times. For waste data, the correlation coefficient was found to be  $r = 0.898$ , which is also highly significant ( $p < 0.001$ ). This result shows that the change in waste levels is not random but occurred systematically, supporting the reliability of the measurements. The correlation coefficient for changes in OEE was calculated as  $r = 0.921$ , indicating a very strong linear relationship ( $p < 0.001$ ). This suggests a strong connection between the pre- and post-improvement OEE values (Table 11). The high correlation coefficients for Cycle Time, waste, and OEE parameters demonstrate that the improvements made are not only operationally effective but also statistically reliable and consistent. These findings show that the process improvement initiatives were implemented effectively and contributed positively to overall system performance.

### 5.3. Granule Extrusion Line

In order to prevent speed losses and increase efficiency in the granule extrusion line, machine, method, environment, material and human factors were analyzed. In this analysis, the origins of the errors and solutions were determined using fishbone diagram and Kaizen methods.

Among the problems originating from the machine and method, there is no original silicone used in the vacuum cover and the lack of an automatic speed control system. In addition, the lack of procedures for changing the sieve and the lack of standard work instructions lead to disruptions in production. In the material category, foreign substances in the products cause equipment damage and stoppages. Among the human factors, the fact that the operators have different competencies and that the transfer settings are made incorrectly stood out as important problems. Damage to vacuum equipment due to personnel carelessness also negatively affects line speed.

In order to solve these problems, the Kaizen approach has been adopted (Table 12). The use of original silicone in the vacuum cover and standardization of cover opening methods have been ensured. Steps such as the establishment of an automatic speed control system, development of procedures for screen replacement and training of operators have been taken. Controls have been increased to prevent foreign substances, and measures have been taken to support personnel motivation. These improvement efforts have increased performance by minimizing line speed drops, and an uninterrupted flow has been achieved in production.

The analysis results of the Granule Extrusion Line reveal that significant improvements have been achieved in the production process. First, when examining the Cycle Time data, the average cycle time decreased from 14.41 seconds before the improvement to 9.40 seconds after the improvement. This represents a reduction of approximately 34.7%, indicating an acceleration in the production process and a substantial advancement in time management (Table 13). In terms of waste amount, the average value prior to the improvement was 5.91, and it slightly decreased to 5.90 afterward. This difference is minimal and suggests that there was no statistically significant change in waste levels. Therefore, no notable improvement was achieved in terms of waste reduction on the Granule Extrusion Line.

**Table 12. Granule extrusion line root causes analysis**

| Step No                                             | Process                                      | Potential Root Causes                                        |                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                      |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
|                                                     |                                              | Why?                                                         | Why?                                                                                                                                                                                                                                                         | Why?                                                 |
| 1                                                   | Raw Material Dosing                          | The film being shot is gassy                                 | The granule is gassy                                                                                                                                                                                                                                         | Vacuum dehumidification unit not working effectively |
| 2                                                   | Raw Material Dosing                          | The film being shot is gassy                                 | The granule is gassy                                                                                                                                                                                                                                         | Vacuum dehumidification unit not working effectively |
| 3                                                   | Raw Material Dosing                          | The film being shot is gassy                                 | The granule is gassy                                                                                                                                                                                                                                         | Vacuum dehumidification unit not working effectively |
| 4                                                   | Raw Material Dosing                          | The film being shot is gassy                                 | The granule is moist and the granules are not dried sufficiently                                                                                                                                                                                             | Drying unit not operating at full capacity           |
| 5                                                   | Raw Material Dosing                          | Burnt granule                                                | Problem caused by screw sleeve                                                                                                                                                                                                                               | Foreign (metal) objects entering the screw barrel    |
| 6                                                   | Raw Material Dosing                          | Burnt granule                                                | When the granule sieve becomes clogged, the operator increases the resistance temperature or changes the melt pressure instead of changing the sieve, which allows the material to pass through the sieve but deteriorates the quality of the melt material. |                                                      |
| 7                                                   | Melting of Raw Materials in Granule Extruder | The operator reduces the machine speed on his own initiative |                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                      |
| 8                                                   | Melting of Raw Materials in Granule Extruder | The operator reduces the machine speed on his own initiative |                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                      |
| 9                                                   | Melting of Raw Materials in Granule Extruder | Each operator adjusts the granulating machine differently    |                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                      |
| 10                                                  | Melting of Raw Materials in Granule Extruder | Each operator adjusts the granulating machine differently    |                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                      |
| Why?                                                |                                              | Why?                                                         | Final Root Cause                                                                                                                                                                                                                                             |                                                      |
| Vacuum cover leaking                                |                                              |                                                              | A different material was used instead of the original silicone                                                                                                                                                                                               |                                                      |
| Vacuum cover leaking                                |                                              |                                                              | It has been determined that the correct method is not used when opening and closing the vacuum lid.                                                                                                                                                          |                                                      |
| The vacuum clock is faulty and gives incorrect data |                                              |                                                              | Vacuum clock was damaged due to personnel error                                                                                                                                                                                                              |                                                      |
| The drying screen strainer gets clogged frequently  |                                              | Dandruff formed during cutting blocks the screens            | The operator is not adjusting the flow setting properly.                                                                                                                                                                                                     |                                                      |
|                                                     |                                              |                                                              | There are foreign substances that cannot be separated in the purchased semi-finished product.                                                                                                                                                                |                                                      |
| Not changing the sieve at the right time            |                                              |                                                              | There is no standard for sieve replacement in the granule line.                                                                                                                                                                                              |                                                      |
|                                                     |                                              |                                                              | Granule extruder settings are made differently by each operator.                                                                                                                                                                                             |                                                      |
|                                                     |                                              |                                                              | There is no automatic speed control system in the granule extruder line.                                                                                                                                                                                     |                                                      |

**Table 13. Paired samples statistics of the granule extrusion line**

|        |              | Mean    | N  | Std. Deviation | Std. Error Mean |
|--------|--------------|---------|----|----------------|-----------------|
| Pair 1 | CT_Before    | 14.4093 | 30 | 0.3578         | 0.06532         |
|        | CT_After     | 9.4013  | 30 | 0.15449        | 0.02821         |
| Pair 2 | Waste_Before | 5.908   | 30 | 0.47623        | 0.08695         |
|        | Waste_After  | 5.9003  | 30 | 0.39521        | 0.07215         |
| Pair 3 | OEE_Before   | 53.5177 | 30 | 1.46375        | 0.26724         |
|        | OEE_After    | 81.9913 | 30 | 1.39923        | 0.25546         |

In contrast, a considerable increase was observed in the Overall Equipment Effectiveness (OEE) rate. The average OEE increased from 53.52% before the improvement to 81.99% after the improvement, reflecting an approximate increase of 53.2%. This improvement indicates that the production line operated more efficiently, equipment performance was enhanced, and overall production quality improved.

**Table 14. Paired samples correlations of the granule extrusion line**

|        |                            | N  | Correlation | Sig.   |
|--------|----------------------------|----|-------------|--------|
| Pair 1 | CT_Before & CT_After       | 30 | 0.985       | < 0.01 |
| Pair 2 | Waste_Before & Waste_After | 30 | 0.969       | < 0.01 |
| Pair 3 | OEE_Before & OEE_After     | 30 | 0.985       | < 0.01 |

The correlation analysis results for the Granule Extrusion Line indicate that there are highly strong relationships between the pre- and post-improvement data (Table 14). The correlation coefficient for Cycle Time is  $r = 0.985$ , which points to an exceptionally strong positive relationship. This suggests that the changes in cycle time before and after the intervention were consistent, demonstrating that the improvements were implemented in a systematic manner. For waste amounts, the correlation coefficient was found to be  $r = 0.969$ . This value indicates that the small changes observed in post-intervention waste levels were not random but rather the result of planned and structured actions. Similarly, a very strong linear relationship was observed for OEE, with a correlation coefficient of  $r = 0.985$ . This confirms that efficiency levels before and after the improvements changed in a consistent and regular pattern, highlighting the effectiveness of the interventions. All correlation values are statistically significant ( $p < 0.001$ ), confirming the reliability of the findings and supporting the validity of the improvement process.

This study has shown that significant improvements in production efficiency and process quality have been achieved by applying lean production techniques to the LDPE recycling process. The findings, when compared to similar applications in different sectors in the literature, offer both parallel trends and sector-specific contributions. First of all, the reduction of the waste rate in the separation line from 4.6% to 1.8% shows how quality losses can be minimized with lean production tools, as in the studies of Bilici (2019: 39-43) and Kökten (2021: 72-73). In Bilici's study, high-risk problems were identified with the FMEA method and the factors causing waste were brought under control, and production efficiency was increased by 2.5%. Similarly, Sheykhli (2024: 61:63) has shown that production in line with demand can be achieved by eliminating the causes of waste, such as malfunctions and cleaning in machines in food production. Bakhshayesh (2024: 41-43), also minimized waste and wastage in shoe production, resulting in a 21% decrease in production costs and an increase in efficiency. In our study, in-process observation and standardization for waste control provided improvements at similar rates.

The 44% reduction in blade change time with SMED application is similar to the study of Demir (2024: 43), where the roll change time was reduced by 28% in the paper production facility and an increase of approximately 1 million boxes in annual production was achieved. The effective application of SMED not only shortened the time but also directly increased the production capacity. This situation was also emphasized by Kiriş (2021: 71), and it was stated that a 61% improvement in production time was achieved with methods such as 5S and Kaizen applied together with SMED.

When evaluated in terms of cycle time, a decrease from 12 seconds to 7.6 seconds (approximately 37%) was achieved in our study and from 88 seconds to 64 seconds (27%) in the extrusion line. These rates are highly consistent with examples such as Yılmaz (2019) reducing cycle time by 34% in crane production, Demirci (2017: 49-50) providing a 57% increase in time that adds value in yarn production, and Birol (2021: 64) reducing cycle time by 60% in oil pump production.

Increasing shift capacity and increasing it to a level that meets customer demand is similar to Kahrıman (2013: 69-73) reducing cycle and flow time by over 30% in injection mold production, thus increasing capacity. It is also consistent with efficiency-oriented transformations such as Başer (2011: 72-74)

increasing production per person by reducing the number of operators in white goods production. The target of increasing capacity to 349 kg/h by eliminating the bottleneck in the separation line shows the direct impact of identifying and removing constraints in the system on output. This approach has a similar strategic perspective to Uzun (2024: 61) reducing flow time by 63% as a result of analyzing bottlenecks in the defense industry with Fuzzy FMEA.

The study also suggests that developing water recovery systems can be used not only in terms of operational but also environmental sustainability. In this context, it is consistent with the studies of Kapucugil et al. (2022) in which they achieved an increase in environmental performance with the integration of Lean and ISO 14001 in the tourism sector. It is also seen that Gür (2019: 27) established a balance between efficiency and sustainability by switching to the CIP system in oil production. As a result, this study has provided successful improvements that coincide with many studies in the literature, but it has also made an original contribution due to the small number of applications in the recycling sector. With the systematic application of lean tools, both efficiency has been increased and sustainability goals have been contributed. This reveals the applicability of lean production even in sectors that are inherently variable and energy-intensive, such as the LDPE recycling process.

**Table 15. Comparison of current state and future state**

| Section        | Cycle Time    |              | Setup Time    |              | Wastage       |              | OEE           |              |
|----------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|
|                | Current State | Future State | Current State | Future State | Current State | Future State | Current State | Future State |
| Separation     | 15 sc         | 10.3 sc      | 1800 sc       | 1800 sc      | 4.60%         | 1.80%        | 54.00%        | 80.30%       |
| Crushing       | 12 sc         | 7.6 sc       | 2700 sc       | 1200 sc      | 0%            | 0%           | 63%           | 86.80%       |
| Washing        | 25 sc         | 20 sc        | 2700 sc       | 2700 sc      | 1.40%         | 1.40%        | 67.00%        | 83.10%       |
| Squeezing      | 7.5 sc        | 7.5 sc       | 1800 sc       | 1800 sc      | 0%            | 0%           | 86%           | 86%          |
| Extrusion Line | 14.4 sc       | 9.4 sc       | 3000 sc       | 3000 sc      | 5.90%         | 5.90%        | 54.00%        | 81.90%       |
| Package        | 14.4 sc       | 9.4 sc       | 600 sc        | 600 sc       | 0%            | 0%           | 93%           | 93%          |

**Table 16. Production flow time and total cycle time**

| Production Flow Time |              | Total Cycle Time |              |
|----------------------|--------------|------------------|--------------|
| Current State        | Future State | Current State    | Future State |
| 9.52 days            | 7.5 days     | 88.3 sc          | 64.2 sc      |

In Table 15 and Table 16, LDPE recycling process, six main operational steps have been analyzed: Separation, Crushing, Washing, Squeezing, Extrusion Line, and Packaging. These steps have been compared in terms of key performance indicators such as cycle time, setup time, waste rate, and overall equipment effectiveness (OEE), considering both the current and future states. This comparison demonstrates that the integration of lean manufacturing techniques into the LDPE recycling process has led to accelerated processes, increased efficiency, reduced waste, and significant improvements in machine and equipment effectiveness.

## 6. CONCLUSION

In order to gain competitive advantage and increase sustainability, businesses focus on eliminating hidden waste in their production processes, increasing efficiency and adopting continuous improvement principles. When past studies are observed, it is seen that in VSM studies in general, the absence of a rational planning decision in the production process causes an increase in setup time and intermediate stocks, production of faulty products, waste of movement, loss of raw materials and an extension of production time. As a solution to the problems, it is aimed to create a future state value stream map that will represent the point to be reached with the returns of the studies.

LDPE is produced in plastic recycling raw material manufacturing. It is aimed to analyze the current situation with VSM and implement improvements in recycling processes. In line with the information obtained from the company, the product family was determined first and the current situation map was drawn as a result of the observations. When this map was examined, it was determined that the company was insufficient to meet customer demands at the end of the day and that overtime was constantly being worked because the current production line could not produce products. It was observed that this situation caused customer loss. It was also determined that unnecessary stops occurred in processes where there was continuous flow. The map helped determine the necessary improvements to increase the performance of the company by revealing the deficiencies and bottlenecks observed at every stage of the process. Elimination of these disruptions in the production line will increase customer satisfaction and increase the competitive power of the company. In addition, reducing

overtime will reduce labor costs and increase employee satisfaction. In this direction, steps will be taken to increase the efficiency of the company with the analyzes and improvement suggestions made.

When the current status of the business is examined, it is determined that it cannot respond to customer demands on time and needs overtime. Due to these problems, customer loss is experienced and employee satisfaction decreases. The Andon system was implemented to prevent unnecessary stops in the production line, and efficiency was increased by using a siren system to control the line speed during the separation process. In addition, TPM (Total Productive Maintenance) studies increased employee motivation and made production processes more fluid. With the improvement of inspections in the supply chain, the waste rate was reduced from 4.6% to 1.8% and quality standards were increased.

Failures caused by the blades not being hard enough were detected in the crushing lines. As a result of the root cause analysis, it was decided to use Hardox 500 hardened steel blades and failures were reduced by 36.7%. Blade change times were shortened by 44% and the cycle time was reduced from 12 seconds to 7.6 seconds with SMED (Single-Minute Exchange of Die) studies. With the Kaizen improvements applied in the washing pools, the amount of water was optimized, automatic sensors prevented overflow problems and bad odors were eliminated with sodium hypochlorite. In addition, the cycle time was reduced from 88 seconds to 64 seconds with the arrangements made in the granule extrusion line. It was also suggested to develop a system that will enable the reuse of dirty water for cleaning recycled plastics. From a production capacity perspective, the current bottleneck was identified in the separation line, which limits production to an average of 240 kg per hour, corresponding to approximately 32,400 kg per week. With the improvements planned for the future state, this constraint is expected to be overcome, increasing the hourly capacity to approximately 349 kg and the weekly output to 47,182 kg. Production efficiency was tried to be increased by aiming to minimize losses caused by mold or product changes in the processes. As a result of all these improvements, the operational efficiency and customer satisfaction of the business were increased and a significant increase in competitiveness was achieved.

In this study, the results obtained by applying lean manufacturing techniques to low-density polyethylene (LDPE) recycling processes indicate that the model can be adapted to other types of recycling. In particular, the visualization of processes with the VSM technique, the detection of waste types and the planning of continuous improvement steps can be integrated into the recycling processes of different types of waste such as paper, metal, glass and electronic waste. Considering the different process steps of each material group, the analysis and improvement approach developed within the scope of this study can be modified. In addition, the applicability of this model to businesses of different sizes (SMEs and large-scale companies) or in different geographical and economic contexts can be tested.

In further research, the integration of lean manufacturing techniques with Industry 4.0 technologies (e.g. IoT-based sensors, digital twins or artificial intelligence-supported planning systems) can offer significant opportunities for real-time monitoring and further optimization of dynamic data in recycling processes. However, integrating environmental impact analysis tools such as life cycle assessment (LCA) with VSM will enable the measurement of not only operational but also ecological benefits. Future studies can develop more comprehensive frameworks to address these aspects and increase both sustainability performance and resource efficiency in a multidimensional manner.

Another suggested area for development in the study is focused on water recovery systems. Treatment solutions to reprocess dirty but recyclable plastics are of strategic importance for both environmental sustainability and reducing operating costs. This recommendation can serve as a guide for future studies and is considered a development area that contributes to the circular economy.

In conclusion, this study demonstrates that lean production techniques can be successfully applied in sectors that directly contribute to environmental sustainability, such as waste management and recycling. The results obtained will serve as an example for other similar production facilities and provide guidance on strategic steps to be taken in the lean transformation process.

When lean production is considered not only as a system that enhances operational efficiency but also as a framework that contributes to environmental performance, it becomes possible to position the study within a broader sustainability perspective. In this context, the implementation of SMED and TPM practices leads to reduced energy and resource consumption; optimization of water usage contributes to the conservation of natural resources. Moreover, the reduction of the waste rate from 4.6% to 1.8% increases raw material efficiency, while the recommendation to reuse recovered water aligns directly with the principles of the circular economy. These aspects demonstrate that lean production practices offer significant benefits not only from an economic standpoint but also in terms of ecological sustainability.

This study demonstrates that lean manufacturing techniques can be successfully integrated into LDPE recycling processes. However, assessing the performance of this model across different organizational structures and production scales would contribute meaningfully to the literature at both theoretical and practical levels. Testing the implemented lean transformation model in enterprises with low, medium, and high production capacities would reveal how the outcomes of improvement initiatives vary depending on production volume. Such an analysis would enhance the understanding of the conditions under which performance indicators such as cycle time, scrap rate, and Overall Equipment Effectiveness (OEE) yield more effective results.

Adapting the model to SMEs operating in different sectors such as packaging, textiles, or rubber recycling would be particularly valuable in evaluating the model's sensitivity to process variability. This approach could serve as a transition guide for SMEs engaged in recycling activities aiming to adopt lean production principles. Moreover, such an assessment would enable the study to transcend the scope of a single case application, transforming it into a scalable transformation model applicable across diverse industrial contexts. Especially in sectors like recycling that directly contribute to environmental sustainability, conducting comprehensive analyses on the applicability of lean production practices at the SME level would provide significant guidance for both academics and practitioners, including policymakers and industry stakeholders.

In conclusion, evaluating the scalability and adaptability of the proposed model by testing it in enterprises with varying production capacities and structural characteristics would enhance the academic rigor of the study and address a notable gap in the lean production literature within the recycling industry.

#### **Author Contributions**

*Emre Can Temiz: Literature Review, Methodology, Data Curation, Analysis, Modelling, Writing-original draft*  
*Emel Yontar: Conceptualization, Methodology, Modelling, 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 authors 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

- Akın, N.G. (2020). "Değer Akış Haritalama Yöntemi ile Yalın Uygulamalar: Tekstil Sektörü Örneği", *Uluslararası Ekonomi İşletme ve Politika Dergisi*, 4(2), 477-492. <https://doi.org/10.29216/ueip.787227>
- Aktaş O. (2022). "Çok Çeşitli Az Hacimde Atölye Tipi Üretim Yapan İşletmelerde Değer Akış Haritalama ve Bir Üretim İşletmesinde Uygulama", Master's Thesis, Dokuz Eylül University Graduate School of Social Sciences, İzmir.
- Alaca H. (2010). "Değer Akış Haritalama Araçları ile Değer Zinciri Analizi: Beyaz Eşya Sektöründe Bir Uygulama", Master's Thesis, İstanbul Technical University Graduate School of Natural and Applied Sciences, İstanbul.
- Alanyüz E. (2023). "Zeytinyağı İşletmesinde Yalın Üretimde Değer Akış Haritalama Uygulaması", Master's Thesis, Dokuz Eylül University Graduate School of Social Sciences, İzmir.
- Alp, F. and Akalın, B. (2023). "Yalın Yönetim Alanında Yürütülen Lisansüstü Tezlerin Bibliyometrik Analizi (1996-2022)", *Sağlık ve Sosyal Refah Araştırmaları Dergisi*, 5(1):114-125. <https://doi.org/10.55050/sarad.1217336>
- Bakhshayesh F.G. (2024). "Reducing Pre-Production Lead Time and Cost Through Value Stream Mapping and The Cut-To-Box System: A Footwear Industry Study", Master's Thesis, Graduate School of Natural and Applied Sciences, İstanbul.
- Başak, E.E., Yılmaz, İ.S. and Deniz, N. (2019). "Endüstriyel Ürün İmalatı Yapan Bir İşletmede Yalın Üretim Uygulaması", *Endüstri Mühendisliği*, 30(3), 157-172.
- Başer H. (2011). "Lean Manufacturing, Value Stream Mapping and a Case Study in A Production Company", Master's Thesis, Fatih University Graduate School of Natural and Applied Sciences, İstanbul.
- Bilici S. (2019). "Değer Akış Haritalama Yöntemi Kullanılarak Tekstil sektöründe Yalın Üretim Uygulaması", Master's Thesis, Yalova University Graduate School of Natural and Applied Sciences, Yalova.
- Bilici, S., ve Kosanoğlu, F. (2021). "Değer Akış Haritalama ve FMEA Yöntemleri Kullanılarak Tekstil Sektöründe Yalın Üretim Uygulaması", *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 33(1), 131-142. <https://doi.org/10.7240/ijeps.784530>
- Birgün, S., Gülen, K. G. and Özkan, K. (2006). "Yalın Üretime Geçiş Sürecinde Değer Akışı Haritalama Tekniğinin Kullanılması: İmalat Sektöründe Bir Uygulama", *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5(9), 47-59.
- Birol G.N. (2021). "Nonconforming Material Flow Analysis Via Value Stream Mapping: A Case Study in Automotive Industry", Master's Thesis, Dokuz Eylül University Graduate School of Natural and Applied Sciences, İzmir.
- Bulut, F. and Yıldız, M.S. (2018). "Sağlık Profesyonellerinin Yalın Uygulamalara Direncini Belirlemeye Yönelik Bir Araştırma", *İşletme Bilimi Dergisi*, 6(3), 239-272. <https://doi.org/10.22139/jobs.439994>
- Büyükarıkan, U. (2021). "Elma Üretimi Yapan Bir Tarım İşletmesinde Değer Akış Maliyetleme Yöntemine Göre Örnek Uygulama", *Alanya Akademik Bakış*, 5(1), 161-175. <https://doi.org/10.29023/alanyaakademik.807959>
- Collao-Diaz, M., Alvarado-Siancas, V. and Urrunaga-Ochante, Y. (2023). "Integrated Lean and TPM Model to Increase the Level of Service in A Plastics Company in Peru", *4th Asia Pacific International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*. <https://doi.org/10.46254/AP04.20230106>
- Coşkun, E., ve Özcan, S. (2023). "Değer Akış Haritalama Yöntemi ve Bir İmalat İşletmesinde Uygulanması", *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(4), 881-894. <https://doi.org/10.17780/ksujes.1313680>
- Coşkun E. (2023). "Değer Akış Haritalama ve Ayakkabı Yan Sanayisinde Uygulanması", Master's Thesis, The Institute of Graduate Programs, Karabük.
- Çalışkan, Z. (2018). "Su Armatürü Üretiminde Değer Akış Haritalama", Master's Thesis, Dokuz Eylül University Graduate School of Social Sciences, İzmir.
- Çavmak, D.Ç. (2018). "Sağlık Hizmetlerinde Yalın Yönetim: Bir Özel Hastane Koroner Yoğun Bakımı Değerlendirmesi", *International Journal of Health Management and Strategies Research*, 4(1), 54-73.
- Çelebi, G. and Yıldız, MS (2020). "Bir İmalat İşletmesinde Ahp Tabanlı Yalın Üretim Tekniği Seçimi", *İşletme Bilimi Dergisi*, 8(2), 227-256. <https://doi.org/10.22139/jobs.674846>
- Çelenk, O., Topoyan, M. and Kaynak, K.K. (2019). "Yalın Düşünce Bakış Açısıyla Acil Servis İş Akışlarının Değerlendirilmesi", *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 21(2), 585-604. <https://doi.org/10.16953/deusosbil.426561>
- Demir, S. (2024). "Temizlik Kâğıt Ürünleri Sektöründe Değer Akış Haritalama Yöntemiyle Süreç İyileştirme Çalışması", Master's Thesis, Kocaeli University Graduate School of Natural and Applied Sciences, Kocaeli.
- Demirci, Ö. (2017). "Tekstil Sektöründe Değer Akış Haritalama ve MTM-UAS Metotlarının Uygulamalı Kombinasyonu", Master's Thesis, Uludağ University Graduate School of Natural and Applied Sciences, Bursa.

- Doğan, N.Ö. and Ersoy, Y. (2016). "Hizmet Sektöründe Değer Akış Haritalama Uygulaması: Bir Üniversite Araştırma ve Uygulama Merkezi Örneği", *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 48, 103-116.
- Doğan, N.Ö. and Yağlı, B.Ş. (2019). "Sağlık Sektöründe Yalın Düşünce: Bir Literatür Derlemesi", *Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi*, 22(2), 467-490.
- Duman B. (2019). "Asansör Montajında Yalın Üretim Uygulaması ve Değer Akış Haritalaması", Master's Thesis, Sakarya University Graduate School of Natural and Applied Sciences, Sakarya.
- Duzdar Argun, İ. ve Çelik, S. (2023). "Değer Akışı Haritalama Yöntemiyle Otomotiv Sektöründe Faaliyet Gösteren Bir Firmanın Teslimat Süresinin Azaltılması", *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 22(43), 94-112. <https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.1252423>
- Duzdar, İ. and Asan, C. (2024). "Yapı Malzemeleri Üretimi Yapan Bir Firmada Değer Akış Haritalama Yapılması ve Bayes Yöntemi ile Analizi", *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 29(3), 149-162.
- Efe, Ö.F. and Engin, O. (2012). "Yalın Hizmet - Değer Akış Haritalama ve Bir Acil Serviste Uygulama", *Verimlilik Dergisi*, 4, 79-107.
- Emir, O. and Gergin, Z. (2021). "Yalın Sistem Tasarımı İçin Simülasyon Destekli Değer Akış Haritalama", *Endüstri Mühendisliği*, 32(1), 108-126. <https://doi.org/10.46465/endustrimuhendisligi.792304>
- Erdem, S. (2023). "Yazılım Geliştirme Sürecinde Değer Akış Haritalama Yöntemi Uygulama Çalışması", Aselsan A.Ş., Ankara, 488-493.
- Eser, S. and Yıldız, M.S. (2017). "Denim Pantolonu Üretiminde Değer Akış Haritalandırma Yönteminin Uygulaması", *İşletme Bilimi Dergisi*, 5(3), 1-23. <https://doi.org/10.22139/jobs.315916>
- Fidan Türkön, B. and Toraman, A. (2023). "Sağlık Kurumlarında Yalın Yönetim: Bursa İlinde Bir Uygulama Örneği", *Verimlilik Dergisi*, 57(1), 211-238. <https://doi.org/10.51551/verimlilik.1120145>
- Gönen, K. (2013). "Otomotiv Endüstrisinde Yalın Üretim ve Eşzamanlı Mühendislik Yaklaşımıyla Değer Akış Haritalandırma", Master's Thesis, Uludağ University Graduate School of Natural and Applied Sciences, Bursa.
- Guillen, K., Umasi, Karer, Quispe, Gianella ve Raymundo, Carlos. (2018). "Lean Model for Optimizing Plastic Bag Production in Small and Medium Sized Companies in the Plastics Sector", *International Journal of Engineering Research and Technology*, 11, 1713-1734.
- Gür T. (2019). "Atölye Tipi Üretim Sistemlerinin Toplam Ekipman Etkinliği, Değer Akış Haritalama ve Matematik Programlama Modeli Kullanılarak Çizelgelenmesi", Master's Thesis, Çukurova University Graduate School of Natural and Applied Sciences, Adana.
- Jones, D. ve Womack, J. (2002). "Seeing the Whole: Mapping the Extended Value Stream", Lean Enterprise Institute, Expanded Second Edition 2.0, October 2011, Cambridge, USA.
- Kahraman M. (2013). "Otomotiv Endüstrisinde Simülasyon Bütünleşik Değer Akış Haritalama Uygulaması", Master's Thesis, Erciyes University Graduate School of Natural and Applied Sciences, Kayseri.
- Kama, A. and Doğan, N.Ö. (2021). "Tedarik Zincirinde Değer Katmayan Faaliyetlerin Ortadan Kaldırılması: İmalat Sektöründe Bir Değer Akış Haritalama Uygulaması", *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10 (1), 91-99. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.590637>
- Kapucugil İkiz, A. and Abacı, E. (2022). "Otel İşletmeciliğinde Yalın İlkelerin 14001:2015 Çevre Yönetim Sistemine Entegrasyonu", *Uluslararası Güncel Turizm Araştırmaları Dergisi*, 6(2), 137-147. <https://doi.org/10.30625/ijctr.1219201>
- Karlı, H. and Tanyaş, M. (2020). "Lojistik Yönetiminin Dijital Dönüşümü: Akıllı Lojistik Üzerine Sistemik Literatür Haritalaması", *Optimum Ekonomi ve Yönetim Bilimleri Dergisi*, 7(2), 613-632. <https://doi.org/10.17541/optimum.718622>
- Keskin, C., Asan, U. and Kayakutlu, G. (2013). "Value Stream Maps for Industrial Energy Efficiency", *Assessment and Simulation Tools for Sustainable Energy Systems*, Editor: Fausto Cavallaro Green Energy and Technology (GREEN, Volume 129), 357-379, Springer, London.
- Khalilov, M.C.K. and Gündebahar, M. (2012). "Kritik Finansal Sistem Dönüşümlerine Süreç Optimizasyonlarının Etkisi", *Ekonomi Bilimleri Dergisi*, 4(1), 55-64.
- Kılıç E. (2025). "Süreç İyileştirmede Değer Akış Haritalama ve Narenciye Paketleme Tesisinde Uygulama", Master's Thesis, Çukurova University Graduate School of Natural and Applied Sciences, Adana.
- Kiriş M. (2021). "Değer Akış Haritalama ve Bir Üretim İşletmesinde Uygulaması", Master's Thesis, Dokuz Eylül University Graduate School of Social Sciences, İzmir.
- Kökten, E.S. (2021). "Değer Akış Haritalama Yöntemi ile İşletmelerde Üretim Kayıplarının Azaltılması: Ahşap Sektöründe Bir Uygulama", Doctoral Thesis, The Institute of Graduate Programs, Karabük.

- Kuğu, S. and Köse, R. (2021). "Isı Değiştirici Üretim Hattında Değer Akış Haritalama Uygulamasının Etkileri", *Kırklareli University Journal of Engineering and Science*, 7(1), 135-146. <https://doi.org/10.34186/klujes.947052>
- Manos, T. (2006). "Value Stream Mapping-An Introduction", *Quality Progress*, 39(6), 64-69.
- Maraşlı, H., Akça, C. and Kama, A. (2016). "Yalın Düşünce ve Değer Akış Haritalamasının Dondurma Üretim İşletmesinde Uygulanması", *International Journal of Academic Values Studies*, (5), 106-120.
- Meier D. ve Liker J.K., (2006). "The Toyota Way Fieldbook: A Practical Guide for Implementing Toyota's 4Ps", Editor: S. Irawan, McGraw-Hill Companies, New York.
- Nefes, K.F. (2019). "Mevcut Üretim Sürecinin Yalın Üretim Teknikleri ile Yeniden Yapılandırılması ve Bir Uygulama", Master's Thesis, Dokuz Eylül University Graduate School of Social Sciences, İzmir.
- Ömürgönülşen, M. and Çatman, R. (2018). "Bir Kamu Kurumunda Değer Akış Haritalama ve Simülasyon Yöntemiyle Hizmet Sürelerinin Değerlendirilmesi", *Finans Politik ve Ekonomik Yorumlar*, 636, 47-70.
- Özkan, O., Bayın, G. and Yeşilaydın, G. (2015). "Sağlık Sektöründe Yalın Tedarik Zinciri Yönetimi", *AJIT-E: Academic Journal of Information Technology*, 6(18), 71-94. <https://doi.org/10.5824/1309-1581.2015.1.005.x>
- Öztürk, H. and Elevli, B. (2017). "Madencilik Sektöründe Yalın Üretim Felsefesi", *Mühendis Beyinler Dergisi*, 1(2), 24-32.
- Papadopoulou, T.C. and Özbayrak, M. (2005). "Leanness: Experiences from the Journey to Date", *Journal of Manufacturing Technology Management*, 16(7), 784-807. <https://doi.org/10.1108/17410380510626196>
- Pekin, E. (2015). "Kauçuk Sektöründe Bir Yalın Üretim Uygulaması", Master's Thesis, Sakarya University Graduate School of Natural and Applied Sciences, Sakarya.
- Quiroz Flores, J.C. and Vega-Alvites, M.L. (2022). "Review Lean Manufacturing Model Of Production Management Under The Preventive Maintenance Approach To Improve Efficiency In Plastics Industry SMEs: A Case Study", *The South African Journal of Industrial Engineering*, 33(2), 143-156. <https://doi.org/10.7166/33-2-2711>
- Rosnah, M.Y. and Othman, A. (2012). "Lean Manufacturing Implementation in A Plastic Molding Industry", *Asian International Journal of Science and Technology in Production and Manufacturing Engineering*, 5(4), 43-52. <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/ijast/article/view/67311>
- Rother, M. and Shook, J. (1999). "Görmeyi Öğrenmek: Değer Yaratmak ve İsrafi Ortadan Kaldırmak İçin Değer Akışı Haritalama", Yalın Enstitü Yayınları, İstanbul.
- Sarı, E.B. (2018). "Üretim Hattı Tasarımında Değer Akış Haritalama Tekniğinin Kullanılması", *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 56, 67-81.
- Sarı, E.B. (2022). "Endüstri 4.0 ile Şekillenen Üretim Sistemlerinde Değer Akış Haritalama: Sistemik Literatür Analizi ve Kavramsal Model Önerisi", *Journal of Business in the Digital Age*, 5(2), 76-84. <https://doi.org/10.46238/jobda.1172825>
- Serdarasan, Ş. and Ertek, E. (2021). "Yazılım Geliştirme Sürecinde Değer Odaklı İyileştirme" *Endüstri Mühendisliği*, 32(1), 90-107. <https://doi.org/10.46465/endustrimuhendisligi.809438>
- Sevgili, A. and Antmen, Z.F. (2019). "Yalın Üretim Tekniklerinden Değer Akış Haritalandırmanın Bir Metal İşleme Fabrikasında Süreç İyileştirme Amacıyla Uygulanması", *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 16, 219-228. <https://doi.org/10.31590/ejosat.555940>
- Shalnev, M.O. and Denisova, Y.V. (2023). "Applying Lean Manufacturing Practices to Improve Process Control in A Chemical Plant", Omsk State Technical University, *Federal State Autonomos Educational Institution of Higher Education*.
- Sheykhlı N. (2024). "Değer Akış Haritalama ve Bir Üretim İşletmesinde Uygulaması", Master's Thesis, Dokuz Eylül University Graduate School of Social Sciences, İzmir.
- Timurtas, M. (2020). "Hastanelerde Yalın Altı Sigma Uygulamalarının Verimlilik ve Performansa Etkisi; Bir Sistemik Derleme", *Sağlıkta Kalite ve Akreditasyon Dergisi*, 3(2), 1-9.
- Uygun, M., Taş, Ü. and Pak, E. (2019). "Değer Akışı Haritalandırma Yöntemi ile Verimliliğin Artırılması: Otomotiv Sektöründe Bir Vaka Çalışması", *Verimlilik Dergisi*, 3, 7-39.
- Uzun M. (2024). "Savunma Sanayi Sektöründe Faaliyet Gösteren Bir Firmaya Değer Akış Haritalama İle Bulanık HTEA Entegrasyonu", Master's Thesis, Sakarya University Graduate School of Natural and Applied Sciences, Sakarya.
- Yıldız, S. and Yalman, A.G.F. (2015). "Sağlık İşletmelerinde Yalın Uygulamalar Üzerine Genel Bir Literatür Taraması", *Uluslararası Sağlık Yönetimi ve Stratejileri Araştırma Dergisi*, 1(1), 5-20.
- Yılmaz A. (2019). "Değer Akış Haritalama Sürecinde Kriter ve Alternatiflerin Değerlendirilmesinde Bulanık Karar Verme ve Bir Uygulama", Yüksek Lisans Tezi, Konya Technical University The Institute of Graduate Programs, Konya.

Yurtseven, Ç., Aydın, D., Ekici, M., Aktepe, S., Yürek, E.E and Orbak, A.Y. (2024).” Değer Akış Haritalama Tekniğinin Otomotiv Sektöründe Bir Uygulaması”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 29(1), 19-36. <https://doi.org/10.17482/uumfd.1364297>



T.C. SANAYİ VE  
TEKNOLOJİ BAKANLIĞI



STRATEJİK ARAŞTIRMALAR VE VERİMLİLİK GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

