

VERİMLİLİK DERGİSİ



T.C. SANAYİ VE
TEKNOLOJİ BAKANLIĞI



Cilt: 59 | Sayı: 2

Bir Gıda İşletmesinde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri İle Tedarikçi Seçimi: Makarna Sanayi Örneği

Serkan Ulu, Füsun Erden

İşyeri İnovasyonu Ölçeği: Geçerlik ve Güvenirlilik Çalışması

Abdullah Zübeyr Akman

Social Navigation in Warehouse Logistics Based on Artificial Intelligence and RGB-D

Bilal Gürevin, Hilal Öztemel, Burhan Turgut Ulutürk, Emre Sebat

Mediator Role of Quality Work Life in Relationship Between Perception of Job Embeddedness and Intention to Leave Work in Nurses: A Cross-Sectional Study

Fatma Demirkaya, Ece Uysal Kasap, Hanife Tiryaki Şen

Floyd-Warshall ve Karınca Kolonisi Optimizasyonu Algoritmaları ile Depo Rota Planlaması

Furkan Ulu, Gülveren Tabansız Göç, Fatih Çavdur

Toptan ve Perakende Sektöründe Yer Alan Lojistik Firmalarının Verimlilik Değerlerinin Borsa Performans Değerlerine Etkisi

Samuray Karaca, Ahmet Karaca

From Carbon Footprints to Competitive Edges: Analyzing Environmental Efficiency in Aviation

Oya Öztürk, Zehra Vildan Serin

OECD Ülkelerinde Ekonomik Karmaşıklık, Toplam Faktör Verimliliği ve İhracat Arasındaki Nedensellik İlişkisi

Elif Tuğçe Bozdoğan

Enflasyon Muhasebesinin Firma Etkinliği Üzerine Etkisi: BİST 100 İmalat Sektörü Üzerine Bir Uygulama

Ahmet Alataş

Türkiye'nin Çevresel Dirençliliğinin Değerlendirilmesi: İklim Adaptasyonu ve Sürdürülebilirlik Üzerine Çok Kriterli Analiz

Salih Özdemir, Nimet Elmacıoğlu

Determining the Digitalization Levels of Leading Countries in Logistics Performance Index: An Application with CRITIC-TOPSIS Approach

Burcu Yılmaz

İstatistiki Bölge Birimleri Sınıflandırması (İBBS) Düzey 1'e göre Sağlık Hizmetleri Etkinliğinin Çift Amaçlı Çok Kriterli Veri Zarflama Analizi (ÇA-ÇKVZA) ile Ölçülmesi

Talip Arsu, Burcu Çatal, Melika Altınok

Deri Atölyesinde Değer Akış Haritalama ve Yalın Tekniklerle Verimlilik Yönetimi

Esma Kılıç, Büşra Yaman, Muharrem Ünver

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: 2

Yayın Türü
Yerel-Sürel / Türkçe-İngilizce

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

Editör
Doç. Dr. Önder BELGİN

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü
Doç. Dr. Önder BELGİN

Grafik Tasarım ve Uygulama
Fulya KOÇ

Dil Editörleri
Aytunç AYHAN
Şirin Müge KAVUNCU

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

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

Baskı Tarihi
16.04.2025

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. Onur AYTAZ - 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

267
288

Bir Gıda İşletmesinde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri İle Tedarikçi Seçimi: Makarna Sanayi Örneği
Supplier Selection by Multi-Criteria Decision Making Methods in a Food Company: Pasta Industry Case
Serkan Ulu, Füsün Erden

289
302

İşyeri İnovasyonu Ölçeği: Geçerlik ve Güvenirlik Çalışması
Workplace Innovation Scale: Validity and Reliability Study
Abdullah Zübeyr Akman

303
324

Social Navigation in Warehouse Logistics Based on Artificial Intelligence and RGB-D
Yapay Zekâ ve RGB-D Tabanlı Depo İçi Lojistikte Sosyal Navigasyon
Bilal Gürevin, Hilal Öztemel, Burhan Turgut Ulutürk, Emre Sebat

325
336

Mediator Role of Quality Work Life in Relationship Between Perception of Job Embeddedness and Intention to Leave Work in Nurses: A Cross-Sectional Study
Hemşirelerde İşe Gömülü Olma Algısı ve İşten Ayrılma Niyeti Arasındaki İlişkide İş Yaşam Kalitesinin Aracılık Rolü: Kesitsel Bir Çalışma
Fatma Demirkaya, Ece Uysal Kasap, Hanife Tiryaki Şen

337
354

Floyd-Warshall ve Karınca Kolonisi Optimizasyonu Algoritmaları ile Depo Rota Planlaması
Warehouse Route Planning via Floyd-Warshall and Ant Colony Optimization Algorithms
Furkan Ulu, Gülveren Tabansız Göç, Fatih Çavdur

355
370

Toptan ve Perakende Sektöründe Yer Alan Lojistik Firmalarının Verimlilik Değerlerinin Borsa Performans Değerlerine Etkisi
The Effect of Efficiency Values of Logistics Companies in Wholesale and Retail Sectors on Stock Market Performance Values
Samuray Karaca, Ahmet Karaca

372
384

From Carbon Footprints to Competitive Edges: Analyzing Environmental Efficiency in Aviation
Karbon Ayak İzinden Rekabet Avantajına: Havacılıkta Çevresel Etkinliğin Analizi
Oya Öztürk, Zehra Vildan Serin

385
396

OECD Ülkelerinde Ekonomik Karmaşıklık, Toplam Faktör Verimliliği ve İhracat Arasındaki Nedensellik İlişkisi
The Causality Relationship between Economic Complexity, Total Factor Productivity and Exports in OECD Countries
Elif Tuğçe Bozduman

397
416

Enflasyon Muhasebesinin Firma Etkinliği Üzerine Etkisi: BIST 100 İmalat Sektörü Üzerine Bir Uygulama
The Effect of Inflation Accounting on Firm Efficiency: An Application on BIST 100 Manufacturing Sector
Ahmet Alataş

417
432

Türkiye'nin Çevresel Dirençliliğinin Değerlendirilmesi: İklim Adaptasyonu ve Sürdürülebilirlik Üzerine Çok Kriterli Analiz
Assessing Türkiye's Environmental Resilience: A Multi-Criteria Analysis on Climate Adaptation and Sustainability
Salih Özdemir, Nimet Elmacioğlu

433
452

Determining the Digitalization Levels of Leading Countries in Logistics Performance Index: An Application with CRITIC-TOPSIS Approach
Lojistik Performans Endeksinde Önde Gelen Ülkelerin Dijitalleşme Düzeylerinin Belirlenmesi: CRITIC-TOPSIS Yaklaşımı ile Bir Uygulama
Burcu Yılmaz

453
466

İstatistik Bölge Birimleri Sınıflandırması (İBBS) Düzey 1'e göre Sağlık Hizmetleri Etkinliğinin Çift Amaçlı Çok Kriterli Veri Zarflama Analizi (ÇA-ÇKVZA) ile Ölçülmesi
Measurement of Health Services Efficiency of Provinces by Bi-Objective Multi-Criteria Data Envelopment Analysis (BiO-MCDEA) according to The Nomenclature of Territorial Units for Statistics (NUTS) Level 1
Talip Arsu, Burcu Çatal, Melika Altınok

467
480

Deri Atölyesinde Değer Akış Haritalama ve Yalın Tekniklerle Verimlilik Yönetimi
Value Stream Mapping and Lean Techniques for Productivity Management in A Leather Workshop
Esma Kılıç, Büşra Yaman, Muharrem Ünver

Bir Gıda İşletmesinde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri İle Tedarikçi Seçimi: Makarna Sanayi Örneği

Serkan Ulu¹ , Füsün Erden² 

ÖZET

Amaç: Makarna sanayinde faaliyet gösteren bir işletmeye hammadde temin eden tedarikçilerin seçiminde etkili olan ve sektörle uyumlu kriter setinin oluşturulması, çok kriterli karar verme (ÇKKV) teknikleri ile ağırlıklandırılması ve alternatif tedarikçiler arasından sıralamanın yapılması çalışmanın temel amacıdır.

Yöntem: Kriterlerin ağırlıklandırılmasında Bulanık SWARA yöntemi, ardından tedarikçilerin sıralanmasında ise Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR yöntemleri kullanılmıştır.

Bulgular: İlk aşamada makarnalık buğday tedarikçi seçimine yönelik ödeme koşullarının kolaylığı, gıda güvenliği, hijyen, kalite, ürün çeşitliliği, teslimat hızı, fiyat avantajı, firma imajı ve güvenilirliği olmak üzere 8 farklı kriter Bulanık SWARA yöntemi ile ağırlıklandırılmıştır. Bu kriterler arasında kalite, en fazla ağırlığa sahip kriter olarak öne çıkmıştır. Daha sonraki aşamada karar verici uzmanların görüşleri doğrultusunda Yurtiçi 1 (T1), Yurtiçi 2 (T2), İthal 1 (T3) ve İthal 2 (T4) olarak ifade edilen 4 farklı tedarikçi belirlenmiş ve firma için en iyi tedarikçi seçimi Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR yöntemleri ile belirlenmiştir. Her iki yöntem sonucuna göre makarnalık buğday tedarikçileri T3, T1, T4 ve T2 şeklinde sıralanmıştır.

Özgünlük: Çalışma, makarna sanayinde makarnalık buğday tedarik eden işletmeler için Bulanık SWARA yöntemi ile kriter ağırlıklandırması, ardından Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR yöntemleri ile tedarikçi değerlendirmesi yapması bakımından ilk ve özgün bir çalışma olma niteliğine sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Bulanık SWARA, Bulanık TOPSIS, Bulanık VIKOR, Tedarikçi Seçimi, Çok Kriterli Karar Verme.

JEL Kodları: Q11, Q12, C44.

Supplier Selection by Multi-Criteria Decision Making Methods in a Food Company: Pasta Industry Case

ABSTRACT

Purpose: The main objective of the study is to establish a set of criteria that are effective in the selection of suppliers supplying raw materials to an enterprise operating in the pasta industry and compatible with the sector, weighting them with multi-criteria decision making (MCDM) techniques and ranking among alternative suppliers.

Methodology: Fuzzy SWARA method was used for criteria weighting, followed by Fuzzy TOPSIS and Fuzzy VIKOR methods to rank the suppliers.

Findings: In the first stage, 8 different criteria for durum wheat supplier selection, namely ease of payment terms, food safety, hygiene, quality, product variety, delivery speed, price advantage, company image and reliability, were weighted by Fuzzy SWARA method. Among these criteria, quality stood out as the criterion with the highest weight. In the next stage, 4 different suppliers, namely Domestic 1 (T1), Domestic 2 (T2), Import 1 (T3) and Import 2 (T4), were determined in line with the opinions of decision-making experts and the best supplier selection for the company was determined by Fuzzy TOPSIS and Fuzzy VIKOR methods. According to the results of both methods, durum wheat suppliers are ranked as T3, T1, T4 and T2.

Originality: The study is the first and unique study in terms of criteria weighting with fuzzy SWARA method for the enterprises supplying durum wheat in the pasta industry, followed by supplier evaluation with Fuzzy TOPSIS and Fuzzy VIKOR methods.

Keywords: Fuzzy SWARA, Fuzzy TOPSIS, Fuzzy VIKOR, Supplier Selection, Multi-Criteria Decision Making.

JEL Codes: Q11, Q12, C44.

¹ Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Ekonomisi Bölümü, Ankara, Türkiye

² Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü, Ankara, Türkiye

Sorumlu Yazar-Corresponding Author: Serkan Ulu, sulu1979@gmail.com

DOI: 10.51551/verimlilik.1602408

Araştırma Makalesi / Research Article | Geliş / Submitted: 16.12.2024 | Kabul / Accepted: 15.01.2025

Atıf/Cite: Ulu, S. ve Erden, F. (2025). "Bir Gıda İşletmesinde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri İle Tedarikçi Seçimi: Makarna Sanayi Örneği", *Verimlilik Dergisi*, 59(2), 267-288.

EXTENDED ABSTRACT

Nutrition is a basic need and the uninterrupted supply of food is of vital importance. The food industry differs from other sectors due to the necessity to comply with quality, hygiene and logistics conditions. In Turkey, the agricultural sector is still the main source of supply for the food industry. In this context, supplier selection is critical for an efficient supply chain management. The right decisions in supplier selection reduce costs, increase customer satisfaction and provide competitive advantage. Multi-criteria decision making (MCDM) methods increase the efficiency of enterprises by making this process more analytical and systematic. In this study, durum wheat suppliers in the pasta industry were evaluated with Fuzzy SWARA, TOPSIS and VIKOR methods and sector-specific criteria were determined. The study provides a unique example of the use of Fuzzy MCDM methods in the pasta industry and aims to fill the gap in the literature.

The main objective of this study is to determine the criteria compatible with the sector that are effective in the selection of raw material suppliers for food industry enterprises and to perform supplier selection with an appropriate fuzzy MCDM method. Specific objectives include analysing the supplier selection literature with current developments, demonstrating the suitability of MCDM techniques to the problem and contributing to public policies by creating sectoral awareness with the findings obtained. The study covers the selection of durum wheat suppliers for companies operating in the pasta industry by weighting criteria with Fuzzy SWARA and evaluating them with Fuzzy TOPSIS and Fuzzy VIKOR methods, and is one of the first original applications in this field.

The study material is based on primary and secondary data. Primary data were obtained through online interviews with the experts of an enterprise operating in the pasta sector in Gaziantep province. Secondary data were obtained by scanning national and international articles, sector reports, theses and related web pages.

Within the scope of the study, a total of eight criteria, namely convenience of payment terms, food safety, hygiene, quality, product variety, delivery speed, price advantage, company image and reliability, were weighted through Fuzzy SWARA method. As a result of the analyses, the 'quality' criterion stood out as the most important factor. In the following stage, four supplier alternatives were determined based on expert opinions; these were coded as Domestic 1 (T1), Domestic 2 (T2), Import 1 (T3) and Import 2 (T4). Fuzzy TOPSIS and Fuzzy VIKOR methods were used to evaluate the alternatives and to select the most appropriate supplier. According to the results obtained with both multi-criteria decision making techniques, the suppliers performed in the order of T3, T1, T4 and T2.

Within the scope of the study, it has been determined that traditional supplier selection criteria maintain their validity to a significant extent. Among the limitations of the study are that the decision makers in the process of determining criteria and weights must be selected from experienced people and may give different results depending on the technique used.

It is thought that the results of the study can contribute positively to the activities of wheat producers, enterprises engaged in production and sales in the pasta sector, non-governmental organisations representing different segments of the sector and relevant public institutions / organisations. It is considered that the methods used in the study for raw material supplier selection can also be used in other similar critical decision processes of the enterprise, and the hybrid use of other MCDM methods will contribute to the literature in terms of comparing the results of different methods.

1. GİRİŞ

Beslenme, insanların yaşamlarını sürdürebilmeleri için karşılanması gereken en temel ihtiyaçlardan birisidir. Gıda maddelerine yönelik ihtiyacın hayati öneme haiz olması yanında, ertelenemeyen bir yanı da bulunmaktadır. Bu nedenle de arzının kesintisiz olması bir zorunluluktur. Gıda maddelerinin bir diğer özelliği ise tedarik, üretim ve arz süreçlerinde kalite, hijyen, lojistik koşullar, teslimat süresi standartlarına uyulmasını da yine aynı derecede zorunlu kılmaktadır. Bu özellikler, gıda sanayini yapısal olarak diğer sektörlerden ayırmaktadır.

Türkiye’de halen tarım sektörü, gıda sanayinin itici gücü olma pozisyonunu sürdürmektedir. Tedarik zinciri yönetiminin temel unsurlarından birisi olan tedarikçi seçimi, tarım sektörü-gıda sanayi ilişkisi içerisinde hammadde temini bakımından değerlendirildiğinde çok önemli bir role sahip olup tedarik zinciri verimliliğini etkileyen faktörlerin başında gelmektedir. Ayrıca işletmelerin uzun vadeli hedeflerine ulaşmasında kritik bir rol üstlenmektedir.

Tedarikçi seçimi, tedarik edilecek hammadde, mamul veya yarı mamulün hangi tedarikçiden satın alınması gerektiğine karar verilmesi sürecidir. Bu süreçte doğru satın alma kararının verilmesiyle maliyetin düşürülmesi, müşteri memnuniyetinin artırılması ve rekabette avantajlı duruma gelinmesi hedeflenmektedir (Kalan, 2023).

Tedarikçi seçiminde kullanılan çok kriterli karar verme (ÇKKV) teknikleri, işletmelerin tedarikçileri daha sistematik ve analitik bir şekilde değerlendirmesine olanak tanır. Doğru tedarikçiyi seçmek, işletmenin üretim süreçlerinde aksamaların önüne geçer, kaliteyi artırır ve kaynak kullanımını optimize ederek verimliliği artırır. Geleneksel yöntemlerde tedarikçi seçimi çoğunlukla sezgisel ve tek boyutlu değerlendirmelerle yapılır. ÇKKV teknikleri ise karar sürecine nesnellik katarak, riskleri minimize ederek değerlendirme yapar, işletmelere minimum kaynakla maksimum fayda sağlayabilecek tedarikçiyi seçme imkânı tanır. Doğru tedarikçi seçimi daha düşük maliyet ile sağlanır ve maliyet-verimlilik dengesi sağlanır. Sonuç olarak tedarikçi seçim sürecinde ÇKKV tekniklerinin kullanılması ile işletmenin operasyonel, finansal ve stratejik verimliliği artar.

Bu çalışmanın amacı, makarna sanayinde bir işletmede hammadde (makarnalık buğday) temin eden tedarikçilerin seçiminde etkili olan ve sektörle uyumlu kriter setinin oluşturulması, ÇKKV teknikleri ile ağırlıklandırılması ve alternatif tedarikçiler arasından seçimin tamamlanmasıdır.

Literatürde gıda sektörü alt dallarında birçok çalışma olduğu halde makarna sektöründe ÇKKV kullanımına yönelik bir çalışmaya ulaşılamamıştır. Bu çalışma, makarna sektöründe makarnalık buğday tedarik eden işletmeler için Bulanık SWARA yöntemi ile kriter ağırlıklandırması, ardından Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR yöntemleri ile tedarikçi değerlendirme yapması bakımından ilk ve özgün bir çalışma olma niteliğine sahiptir.

Çalışmanın ikinci bölümünde yapılan literatür taraması ile daha önceki çalışmalarda kullanılan yöntemler ve elde edilen bulgular, üçüncü bölümünde çalışmada kullanılan yöntemler ile ilgili bilgiler, dördüncü bölümde gerçekleştirilen uygulamanın bulguları, beşinci bölümde ise genel değerlendirme, verimlilik uygulamalarına etkiler, çalışmanın kısıtları ve gelecek çalışmalara ilişkin öneriler hakkında bilgilere yer verilmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Tedarikçi seçim problemleri birden fazla kriteri içermesi nedeniyle çözümünde ÇKKV yöntemleri yoğun olarak kullanılmaktadır. Çalışmada gıda sektörü ile ilgili ulusal ve uluslararası makaleler incelenmiş ve Tablo’de özetlenmiştir. İncelenen makalelerde farklı ÇKKV yöntemleri kullanılmış olmakla birlikte ağırlıklı olarak bir ya da iki yöntemin kullanıldığı görülmektedir.

Azadnia ve diğerleri (2015) çalışmasında, sürdürülebilir tedarikçi seçimi ve çok dönemli çok ürünli parti büyüklüğü problemi ile birlikte sipariş tahsisi için kural tabanlı ağırlıklı bulanık yöntemi, Bulanık AHP’yi ve çok amaçlı matematiksel programlamayı entegre bir yaklaşım önermişlerdir.

Rezaei ve diğerleri (2016) çalışmasında ön seçim, seçim ve birleştirme olmak üzere üç aşamalı yenilikçi bir tedarikçi seçim metodolojisini önermiş, ön seçim için konjonktürel tarama yöntemi kullanılırken, seçim aşaması için yeni bir ÇKKV olan en iyi-en kötü yöntemi (BWM) yöntemi kullanılmıştır.

Çakır (2016) çalışmasında uygun ERP yazılımı seçimini bir ÇKKV problemi olarak ele almıştır. Çalışma, değerlendirme kriterlerinin ağırlıklarının FLPR aracılığıyla hesaplandığı ve alternatif ERP sistemlerinin sıralamasının Bulanık TOPSIS aracılığıyla elde edildiği bir ERP seçim çerçevesi önermektedir.

Tablo 1. Gıda sektöründe tedarikçi seçimi kapsamında yapılmış bazı ÇKKV çalışmaları

<i>Yazar(lar)</i>	<i>Uygulama Alanı</i>	<i>Yöntem</i>	<i>Kriterler</i>
Azadnia ve diğerleri (2015)	Et Üretimi	Bulanık AHP	Ekonomik, Çevresel, Sosyal
Rezaei ve diğerleri (2016)	Sofralık Yağ	Konjonktif Tarama Yöntemi, BWM	Teslimat Maliyeti, Teslimat Süresi, Rakipsiz Uzmanlıklar, Fiyat, Üretim Tesisleri ve Kapasitesi, Kalite, Sertifikasyona Uygunluk, Sürdürülebilir Performans
Çakır (2016)	Toptan Gıda Tedarik	Bulanık Dilsel Tercih İlişkileri, Bulanık TOPSIS	Satıcı Faktörleri, Sistem Faktörleri, Fiyat Faktörleri
Debnath ve diğerleri (2017)	Yemeklik Yağ	Gri DEMATEL, Gri MABAC	Sosyal Sorumluluk Stratejisi, Farklılaşma, Faydalar
Frej ve diğerleri (2017)	Gıda	FITRADEOFF	Fiyat, Navlun, Doğruluk, Çabukluk, Kalite, Teslimat Süresi, Esneklik
Lau ve diğerleri (2018)	Perakende	Bulanık AHP, TOPSIS, ELECTRE	Ürün, Kalite, Gıda Güvenliği, Fiyat, Teslimat, Hizmet Seviyesi, Ticari Durumu, Tedarikçi İlişkileri, Risk Faktörleri, Kurumsal Sosyal Sorumluluk
Banaeian ve diğerleri (2018)	Sofralık Yağ	Bulanık TOPSIS, Bulanık VIKOR, Bulanık GRA	Hizmet Seviyesi, Kalite, Çevre Yönetim Sistemi
Tian ve diğerleri (2018)	Gıda İşleme	BWM, Sezgisel Bulanık TOPSIS	Finansal, Teslim ve Hizmet, Kalitatif, Çevre Yönetim Sistemi
Wang ve diğerleri (2018)	Gıda İşleme	Bulanık AHP, Yeşil Veri Zarflama Analizi	Finansal, Teslim ve Hizmet, Kalitatif, Çevre Yönetim Sistemi
Şekerci ve Yazıcıoğlu (2019)	Gıda	AHP	Kalite, Teslimat Süresi, Maliyet, Teknik Yeterlilik
Liu ve diğerleri (2019)	Et Üretimi	Bulanık AHP, Bulanık TOPSIS	Çevresel, Ekonomik, Sosyal
Miranda-Ackerman ve diğerleri (2019)	Portakal Suyu Üretimi	Genetik Algoritma, TOPSIS	Çevresel, Operasyonel Maliyet
Nie ve diğerleri (2019)	Gıda İmalat	Sürekli Aralık Değerli Dilsel TODIM	Kalite Yönetimi, Hizmet Seviyesi, Yeşil Taşımacılık, Yeşil İmaj, Çevre Yönetim Sistemi
Başaran ve Çakır (2020)	Gıda	Bulanık TODIM	Esneklik, Ürün Kalitesi, Maliyet, Hizmet, Sipariş Karşılama Oranı (%)
Güler ve Saner (2020)	Süt sığırcılığı	AHP	Kalite, Fiyat, Esneklik, Alım Miktarı, Ödeme Süresi
Öztürk ve Paksoy (2020)	Gıda	DEMATEL, Kalite Fonksiyonu Yayılımı, Aralık-Tip 2 Bulanık AHP	Kalite Adaptasyonu, Fiyat, Enerji ve Doğal Kaynak Tüketimi, Teslimat Hızı, Yeniden Kullanım ve Geri Dönüşüm Oranı, Tersine Lojistik
Sarioğlu ve Arslan (2020)	Yiyecek-İçecek	MOORA	Bu çalışmada kriter seti oluşturulmamıştır.
Wang ve diğerleri (2020)	Gıda İşleme	Bulanık AHP, TOPSIS	Finansal, Teslim ve Hizmet, Kalitatif, Çevre Yönetim Sistemi
Akpınar (2021)	Gıda	Bulanık TOPSIS, Bulanık VIKOR	Fiyat, Teslim Zamanı, Ödeme Opsiyonları, Kalite, Erişilebilirlik
Öztürk ve Tekin (2021)	Gıda	AHP, TOPSIS	Kalite, Maliyet, Teslimat, Tedarikçi Profili
Akın (2021)	Gıda	Bulanık TOPSIS, Bulanık VIKOR, Bulanık Gri İlişkisel Analiz	Hizmet Düzeyi, Kalite, Fiyat, Çevre Yönetim Sistemleri
Deste ve diğerleri (2021)	Gıda	Bulanık TOPSIS	Kalite, Fiyat, Üretim Performansı, Hijyen, Mekanizasyon
Verdecho ve diğerleri (2021)	Tarımsal Gıda	Dengeli Skor Kartı, AHP	İş, Yapı, Etkileşim, Sürdürülebilirlik
Tirkolae ve diğerleri (2021)	Gıda İmalat	AHP, Bulanık TOPSIS, Dayanıklı Hedef Programlama	Fiyat, Taşıma Maliyeti, Esneklik, Teknoloji, Kalite, Zamanında Teslimat, Arıza, Sipariş Karşılama, Yeşil Yeterlilikler, Çevre Yönetim Sistemi
Lizot ve diğerleri (2021)	Tarımsal Aile İşletmesi	Toplam Sahip Olma Maliyeti, MABAC	Ürün Fiyatı, İndirim, Verimlilik, Dayanıklılık, Taşımacılık, Fiyat Değişimi, Ürün Hataları, Hatalar, Ürün Kabulü, Fiyat Teklifi, Sözleşme, Teknik Destek

Tablo 1. (Devamı)

<i>Yazar(lar)</i>	<i>Uygulama Alanı</i>	<i>Yöntem</i>	<i>Kriterler</i>
Basaran ve Çakır (2021)	Süt ve Süt Ürünleri İmalat	Bulanık COPRAS	Kalite, Maliyet, Hizmet, Teslim, Teknik Durum, Tedarikçinin Genel İmajı
Fallahpour ve diğerleri (2021)	Gıda İşleme	Bulanık AHP, Bulanık MOORA	Operasyonel, Çevresel, Dijitalleşme
Arabsheybani ve Khasmeh (2021)	Baharat ve Aroma İmalat	Bulanık AHP, Bulanık MOORA	Sağlamlık, Esneklik, Yalınlık, Çeviklik
Khan ve Ali (2021)	Sektör Bilgisi Yok (Donmuş Gıda Üreticileri)	Yorumlayıcı Yapısal Modelleme, Bulanık VIKOR	Müşteri İhtiyaçları, Paydaşların Memnuniyeti, İş İstihdam Edilebilirliği, Sağlık ve Güvenlik, Toplum Üzerindeki Etkiler, Soğuk Hava Depolarının Yeşil Tasarımı, Yeşil Üretim/Paketleme, Yeşil Ulaşım, Çevre Yönetim Sistemi, Karbon Ayak İzi, Katma Değer, Yenilenebilir Kaynaklar ve Verimlilik, Fiyat, Teknoloji Sistemi, Zaman Fiyat, Kalite, Teslimat, Profil
Şahin (2022)	Süpermarket/süt ve süt ürünleri	AHP, MAIRCA	
Yazdani ve diğerleri (2022)	Şarap Üretimi	SWARA, LBWA, MARCOS-D	Bitki Ortamı, Kalite ve Uygunluk, Bağcılık Uygulamaları, Ekolojik Uygulamalar, Teslimat Esnekliği, Teklif Edilen Fiyat, Çevre Yönetim Sistemi ve Kirlilik Kontrolü, Sosyal Sorumluluk ve Tedarikçilerin Sürdürülebilirliği
Thanh ve Lan (2022)	Gıda İşleme	Üçlü Alt Çizgi, Bulanık AHP, CoCoSo	Ekonomik, Sosyal, Çevresel
Leong ve diğerleri (2022)	Gıda İmalat	GRA, BWM, TOPSIS	Kalite, Temin Süresi, Maliyet, Esneklik, Görünürlük, Duyarlılık, Finansal İstikrar
İkinci ve Tipi (2022)	Catering İşletmesi	AHP	Kriz Yönetimi, Kalite, Ödeme Vadesi, Güvenilirlik, Maliyet, Tecrübe, Yeşil Üretim
Kaplan ve diğerleri (2023)	Süt ve süt ürünleri	AHP, TOPSIS	Ürün Saklama Koşulları, Güvenlik, Katma Değerli Hizmetler, Depo özellikleri, Taşıma Hizmetleri
Kazançoğlu ve diğerleri (2023)	Gıda İmalat	BWM, PROMETHEE	Ekonomik, Çevresel, Sosyal
Erdem ve diğerleri (2023)	Süt ve Süt Ürünleri İmalat	Bulanık DEMATEL, Bulanık ANP, Bulanık TOPSIS	Maliyet, Kalite, Teknoloji, Teslimat Performansı, Tedarikçi İlişkileri, Firma İmajı
Wang ve Liao (2023)	Gıda İmalat	TOPSIS, MSGP	Yetkinlik, Hizmet Kalitesi, Yeşil Seviye, Koordinasyon Yeteneği, Finansal Risk
Magableh (2023)	Buğday Tedarik	Bulanık VIKOR	Kalite, Harcamalar, Teslimat, Kaynak, Esneklik, İletişim,
Dash ve diğerleri (2023)	Kakule Tedarik	Bulanık Mantık	İç Performans, Stratejik ve Operasyonel Koordinasyon, Müşteri Tatmini, Dış ve İç Destek
Mohammed ve diğerleri (2023)	Sivil Toplum Kuruluşu (Helal Et Komitesi)	Bulanık AHP, Bulanık TOPSIS, TOPSIS	Geleneksel, Yeşil, Esnek
Hajiaghahi-Keshteli ve diğerleri (2023)	Gıda	Pythagorean Bulanık TOPSIS	Yasal Gereklilikler, Çevresel Gereklilikler, Maliyet, Kalite, Üretim, Eko-Tasarım, Teslimat, Yeşil İmaj, Kirlilik, Atık Üretimi ve Çevre Yönetim Sistemi
Sureeyatanapas ve Damapong (2024)	Online Yemek Dağıtım	Doğrudan Derecelendirme Yöntemi, Bulanık TOPSIS, Bulanık SAW	Pazarlama Kampanyaları, Kullanıcı Dostu Uygulama, Ödeme Seçeneklerinin Çeşitliliği, Hizmet Alanları, Müşteri Hizmetleri, Üyelik Ücreti ve Hizmet Bedeli, Kurumsal İmaj ve İtibar, Ticari Davranış Standartlarına Uyum, Tüketicilerin Sipariş Detaylarını Ayarlama Esnekliği, Takip Sistemi

Debnath ve diğerleri (2017) çalışmasında değerlendirme kriterleri sosyal, farklılaştırıcı ve faydalı kümeler halinde gruplandırmış ve kriter ağırlıklarını belirlemek için DEMATEL yöntemini kullanmıştır. MABAC yöntemi, stratejik proje portföylerini karar vericilerin toplu tercihlerine göre sıralamak için uygulanmıştır.

Frej ve diğerleri (2017) çalışmasında tedarikçi seçim problemini çözmek için ÇKKV modeli oluşturulması amaçlanmıştır. Tercih modellemesi, esnek ve etkileşimli ödünleşme yöntemi (FITradeoff) tarafından desteklenen telafi edici bir yaklaşımla gerçekleştirilmiştir.

Lau ve diğerleri (2018) çalışmada, birçok ÇKKV tekniğini birleştiren ve tedarikçi performansını analiz etmek ve potansiyel taze gıda tedarikçilerini önceliklendirmek için yenilikçi bir şekilde uygulanan yeni bir yaklaşım önermiştir. Bulanık AHP, TOPSIS ve ELECTRE ile değerlendirilen kriterler ve alt kriterler, hibrit bir tedarikçi seçim modelinin geliştirilmesi ve önerilen modelin uygulanabilirliğini test etmek için bir vaka çalışmasında kullanılmıştır.

Banaeian ve diğerleri (2018) çalışmada, üç popüler çok kriterli tedarikçi seçim yönteminin bulanık ortamdaki uygulamasını karşılaştırmıştır. Çalışmada bulanık küme teorisinin TOPSIS, VIKOR ve GRA yöntemlerine dahil edilmesi ayrıntılı olarak tartışılmaktadır.

Tian ve diğerleri (2018) çalışmada, yeşil tedarikçi seçimi problemlerini çözmek için BWM ile entegre edilmiş iyileştirilmiş bir TOPSIS geliştirmişlerdir. Kriter ağırlıklarını türetmek için BWM incelenmiş ve karar vericilerin farklı kriterler açısından ağırlıklarını elde etmek için geliştirilmiş TOPSIS yöntemi önerilmiştir.

Wang ve diğerleri (2018) çalışmasında, Vietnam'daki küçük ve orta ölçekli işletme (KOBİ) gıda işleme endüstrisinde yemeklik yağ üretimi için en iyi tedarikçiyi belirlemiştir. Çalışmanın temel amacı, tedarikçi seçimi için Bulanık AHP ve VZA'yı entegre eden yeni bir yaklaşım sunmak ve ayrıca belirsiz ortamlarda yemeklik yağ üretiminde yeşil sorunu dikkate almaktır.

Şekerci ve Yazıcıoğlu (2019) çalışmada ÇKKV yöntemleri ve tedarik zinciri yönetimi (TZY) ele alınmıştır. Uygulama İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin iştiraki olan bir firmada gerçekleştirilmiştir. Yapılan literatür araştırması ve uzman görüşmeleri sonucunda 4 ana kriter 16 alt kriter belirlenmiş ve AHP yönteminin kullanılmasıyla tedarikçi seçimi yapılmıştır.

Liu ve diğerleri (2019) çalışmada yeni bir Bulanık AHP-TOPSIS modeli önermiş ve bir tarımsal gıda değer zincirinde uygulamıştır. Kriter ağırlıklarını bulmak için Bulanık AHP kullanılmış ve performans hesaplaması Bulanık TOPSIS ile yapılmıştır.

Miranda-Ackerman ve diğerleri (2019) çalışmada, sosyal ve çevresel faydalar elde etmek için yaşam döngüsü değerlendirmesi, çevresel iş birlikleri ve sözleşmeli çiftçiliği entegre eden "green supplier selection problem" (GSSP) metodolojisinin bir uzantısı ortaya konmuştur. Çözüm seçimi adımında ÇKKV yaklaşımıyla bağlantılı genetik algoritmalara dayalı çok amaçlı bir optimizasyon stratejisi önerilmektedir.

Nie ve diğerleri (2019) çalışmada, çok kriterli grup karar verme problemlerini çözmek için klasik TODIM yöntemini, sürekli aralık değerli dilsel terim kümesi ile birleştirmiştir. Sürekli aralık değerli dilsel terim kümesinin bir uzaklık ölçüsü geliştirilmiş ve daha sonra bir kriter ağırlıklandırma yöntemi geliştirmek için uygulanmıştır.

Başaran ve Çakır (2020) çalışmada, tedarikçi seçim probleminin çözümüne ÇKKV metotları arasında yer alan Bulanık TODIM metodu ile ulaşmışlardır. Uygulama Konya'da helva imalatı yapan bir gıda firmasında yapılmıştır. Uygulama neticesinde Bulanık TODIM yönteminin tedarikçi seçimi dışında farklı ÇKKV problemleri için de kullanılabilecek hızlı ve kolay uygulanabilir bir metot olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Güler ve Saner (2020) çalışmada süt sığırcılığı yapan işletmeler için yem tedarikçi ve süt alıcı yönelimlerini belirlemiştir. İmalatçıların yem tedarikçi ve süt alıcı yönelimlerinin belirlenmesi sürecinde AHP metodundan faydalanılmıştır. İmalatçıların yem tedarikçi yönelimi kalite, fiyat, ödeme esnekliği ölçütleri dikkate alınarak analiz edilmiştir.

Öztürk ve Paksoy (2020) çalışmada müşteri gereksinimleri arasındaki ilişkileri değerlendirmek için DEMATEL metodunu kullanarak bir ilişki yapısı oluşturmuşlardır. Kalite fonksiyon yayılımı (QFD) merkezi bir ilişki matrisi oluşturmak amacıyla kullanılmıştır. Daha sonra, alternatif tedarikçileri önceliklendirmek ve sıralamak için Aralık Tip-2 Bulanık AHP uygulanmıştır.

Sarioğlu ve Arslan (2020) çalışmada amaç olarak yiyecek içecek firmalarında tedarikçi seçimine ilişkin kullanılan metotları ve özellikle MOORA metodu olarak bilinen yeni bir yaklaşımı incelemek, önceki çalışmaları gözden geçirmek ve MOORA metodunun yiyecek içecek firmalarında tedarikçi seçimi için uygulanabilirliğini değerlendirmişlerdir.

Wang ve diğerleri (2020) çalışmada bitkisel yağ üretimi için N-hekzan çözücü (C₆H₁₄) tedarikçisinin değerlendirme ve seçimi için bir ÇKKV modeli önermişlerdir. Daha sonra, tüm kriterlerin ağırlığını belirlemek için Bulanık AHP yöntemini en uygun hekzan çözücü tedarikçisini seçmek için de TOPSIS yöntemini uygulamışlardır.

Akpınar (2021) çalışmasında gıda sektöründeki bir işletmede tedarikçi seçimini incelemiştir. Değerlendirme sürecinde karar vericilerin daha esnek karar vermelerini mümkün kılan Bulanık TOPSIS yöntemi tercih edilmiştir. Ayrıca TOPSIS yöntemi bulguları, VIKOR yöntemi bulguları ile kıyaslanmıştır.

Öztürk ve Tekin (2021) çalışmalarında Tokat ilinde gıda ürünleri üretimi yapan bir firmada en uygun hammadde tedarikçi seçim probleminin AHP ve TOPSIS yöntemlerinin entegre kullanılması ile çözme amaçlamışlardır.

Akın (2021) çalışmasında trapezoidal bulanık esnek kümeler yaklaşımını, YTS problemine uygulayarak çözüm aramıştır. İlk aşamada, alternatiflerin kriterler bakımından dilsel değerlendirmeleri trapezoidal sayılarla ifade edilmiştir. Daha sonraki aşamada, genelleştirilmiş trapezoidal bulanık esnek kümeler ile çözümlendiğinde sıralamada herhangi bir farklılık olmadığı gözlemlenmiştir.

Deste ve diğerleri (2021) çalışmada kuru kayısı sektöründe ihracatçı bir firmanın tedarikçi seçim problemini ele almışlardır. Bulanık ÇKKV tekniklerinden faydalanılarak belirsizliğin ortadan kaldırılması hedeflenmiştir. Bulanık TOPSIS yöntemi ile tedarikçi seçimi yapılmıştır.

Verdecho ve diğerleri (2021) çalışmada ÇKKV tekniklerini tedarikçi seçim sürecinde sürdürülebilirliği değerlendirmek için bir tarımsal gıda tedarik zincirine uygulamış olup, öncelikle tedarik zinciri sürdürülebilirlik ölçümleri için Balanced Scorecard'ı (BSC) geliştirmiş, kriterleri belirlemiş ve AHP yöntemiyle nihai ağırlıklandırma ve sıralama yapmıştır. Son aşamada ise duyarlılık analizi uygulanmıştır.

Tirkolae ve diğerleri (2021) çalışmada tedarikçileri değerlendirmek ve derecelendirmek için AHP ve Bulanık TOPSIS'e dayalı bir ÇKKV tekniği kullanmışlardır. Önerilen metodoloji, farklı belirsizlik seviyelerinde gerçekleştirilen bir duyarlılık analizi ile uygulanabilirliğini doğrulamaktır. Yöntem İran'daki bir yeşil hizmet gıda üretim şirketinden gerçek bir vaka çalışmasına uygulanmıştır.

Lizot ve diğerleri (2021) çalışmada, toplam sahip olma maliyeti (TCO) ile çok kriterli karar analizi (MCDA) kavramlarını entegre eden hem parasal hem de parasal olmayan nitelikleri içeren bir maliyet yönetimi modeli (CMM) sunmuştur. Model, üç ana girdinin (gübre, mantar ilacı ve soya fasulyesi) tedarikçi seçim sürecini desteklemek için Güney Brezilya'daki bir dizi tarım işletmesine uygulanmıştır.

Başaran ve Çakır (2021) çalışmada tedarikçi seçim süreçlerinde gıda güvenliği ve helal kriterlerinin kullanımını kolaylaştırmak ve Bulanık COPRAS yöntemini kullanarak gıda üreticilerinin seçim yapmalarına yardımcı olmayı amaçlamıştır. Sonuçlar, Bulanık COPRAS yönteminin sadece tedarikçi seçim süreçleri için değil, bir şirketin karşılaşılabileceği herhangi bir ÇKKV problemi için pratik bir yöntem sunabileceğini göstermiştir.

Fallahpour ve diğerleri (2021) çalışmada yeşil ve dijitalleştirilmiş kaynak kullanımı için yeni bir çerçeve geliştirmiştir. Çalışma kapsamında, bir tedarikçi özelliğinin diğerine göre önemine karar vermek için bulanık tercih programlama (FPP) ve tedarikçileri bulanık performans derecelendirmesine göre önceliklendirmek için MOORA kullanan hibrit bir karar verme yaklaşımı geliştirilmiştir.

Arabsheybani ve Khasmeh (2021) çalışmada çok dönemli, çok ürünlü bir tedarik zinciri ağı tasarımı esneklik ve belirsizliği eş zamanlı olarak dikkate alan sağlam, iki amaçlı, çok ürünlü bir matematiksel model geliştirmiştir. Birinci amaç fonksiyonu toplam kârı maksimize ederken, ikincisi toplam esneklik skorunu maksimize etmektedir. Amaç fonksiyonu için dört esneklik faktörü ağırlığını elde etmek için Bulanık AHP ve MOORA kullanılmıştır.

Khan ve Ali (2021) çalışmada sürdürülebilir soğuk zincir tedariki konusunu ele almıştır. Çalışmanın ilk aşamasında yorumlayıcı yapısal modelleme (ISM) yaklaşımı kullanılmıştır. Çalışmanın ikinci aşamasında, Pakistan bağlamında soğuk zincir tedarikçilerinin seçimi yapılmıştır. Bu amaçla, sekiz tedarikçiyi on beş farklı kritere göre analiz etmek için ÇKKV tekniği olan bulanık VIKOR kullanılmıştır.

Şahin (2022) çalışmada Gümüşhane ilinde hizmet veren bir süpermarkette süt ve süt ürünlerini tedarik eden en iyi tedarikçinin seçimini incelemiştir. Kriterlerin ağırlıklandırması için AHP yöntemi kullanılmış ve en önemli ana kriterin kalite olduğu ortaya çıkmıştır. Daha sonraki aşamada 5 tedarikçi alternatifi arasından MAIRCA yönteminin uygulanması ile değerlendirme süreci tamamlanmıştır.

Yazdani ve diğerleri (2022) çalışmada gıda tedarik zinciri için iki aşamalı sürdürülebilir çok katmanlı bir tedarikçi seçim modeli ortaya konmuştur. İlk aşamada model, tedarikçi seçim kriterlerinin ağırlıklarını D-

sayıları ile birlikte SWARA ve LBWA'nın birleştirilmiş bir versiyonunu kullanarak tahmin etmektedir. İkinci aşamada, farklı kademe tedarikçilerin ön sıralamasını elde etmek için MARCOS-D yöntemi uygulanmaktadır. Ayrıca, modelin güvenilirliğini incelemek amacıyla çeşitli duyarlılık analizleri gerçekleştirilmiştir.

Thanh ve Lan (2022) çalışmada tedarikçi seçimi için üçlü alt çizgi ölçütleri (TBLM), Bulanık AHP yöntemi ve birleşik uzlaşma çözümü (CoCoSo) algoritmasını kullanarak yeni bir bileşik model geliştirmeyi amaçlamıştır. Uygulama süreci, bir gıda işleme endüstrisinde Ksantan-gum tedarikçi seçimi için gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, gıda işleme endüstrisinde tedarikçi seçimi için önerilen entegre modelin model oluşturma, çözüm ve uygulama süreçleri sunulmuştur.

Leong ve diğerleri (2022) çalışmada dirençli tedarikçileri değerlendirmek için GRA-BWM-TOPSIS yöntemlerini önermiştir. Önerilen yöntem kullanılarak, kriter önem seviyeleri GRA kullanılarak elde edilmiş ve kriter ağırlıkları BWM kullanılarak bir tutarlılık testi ile birlikte hesaplanmıştır.

İkinci ve Tipi (2022) çalışmada ÇKKV yöntemlerinden biri olan AHP'yi kullanmıştır. Çalışmanın amacı, hazır yemek sektöründe en önemli tedarikçi seçim kriterlerini belirlemek ve en uygun tedarikçiyi seçmektir.

Kaplan ve diğerleri (2023) çalışmada bozulabilir gıda ürünleri arasında yer alan süt ve süt ürünlerinin saklanmasıyla yönelik depo seçimini incelemiştir. Ürünlerin tazeliğini koruyarak müşteriye ulaşmasını sağlamak için depolara ilişkin gereken kriterler tespit edilmiştir. Belirlenen kriterler AHP yöntemiyle ağırlıklandırılmış, alternatifler TOPSIS yöntemi ile değerlendirilerek probleme çözüm getirilmiştir.

Kazançoğlu ve diğerleri (2023) çalışmada, sürdürülebilirlik standartlarının çok katmanlı tedarik zincirlerine yayılmasına yönelik kriter ağırlıkları BWM yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Sonuçlar, 'çevresel' kriterlerin gıda sektöründeki tedarik zinciri kademeleri için en önemli kriter olduğunu göstermektedir. Son aşamada, gıda şirketi için PROMETHEE yöntemi, her kademe için üç alternatif tedarikçiyi değerlendirmek için kullanılmıştır.

Erdem ve diğerleri (2023) çalışmada Bulanık DEMATEL, Bulanık ANP ve Bulanık TOPSIS yöntemlerinin kombinasyonunu kullanmıştır. Yapılan analizler ve elde edilen bulgular sonucunda teknoloji, teslimat performansı ve kalite, etkinlik açısından en yüksek puanlara sahip kriterler olarak bulunmuştur.

Wang ve Liao (2023) çalışmada optimum "reverse logistics" (RLs) sağlayıcılarını seçmek için TOPSIS yöntemi ve çok segmentli hedef programlama (MSGP) modellerini birleştiren kapsamlı bir yaklaşım geliştirmeyi amaçlamıştır. Ana bulgu olarak, bir karar verirken birden fazla kriteri göz önünde bulundurmanın tek bir kriter kullanmaktan daha iyi sonuçlar ürettiği belirlenmiştir.

Magableh (2023) çalışmada, Ürdün'ün başlıca buğday tedarikçilerini belirlemek ve belirlenen kriterlere göre sıralamak için çeşitli tedarikçi seçim yaklaşımlarını incelemeyi amaçlamıştır. Ürdün'deki en iyi buğday tedarikçilerini değerlendirmek, seçmek ve sıralamak için Bulanık VIKOR yaklaşımı kullanılmıştır.

Dash ve diğerleri (2023) çalışmada çeşitli tedarik zinciri kalite parametrelerine dayalı olarak çeşitli büyük kakule tedarik zincirlerini değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Önerilen seçim stratejisi, kabul edilebilir en iyi tedarikçiyi belirlemek ve çeşitli tedarik zinciri parametrelerini sıralamaktır. Bu amaçla bulanık mantık yöntemi kullanılmıştır. Sonuçlar, önerilen bulanık mantık yönteminin tedarikçi değerlendirmesi için bir karar verme aracı olarak çok uygun olduğunu ortaya koymuştur.

Mohammed ve diğerleri (2023) çalışmada gıda endüstrisindeki belirsiz talep ve maliyet ortamında G-dirençli çok katmanlı tedarikçi seçimi/sipariş tahsisi (SS/OA) problemini çözmek için bulanık çok amaçlı karma tamsayılı doğrusal programlama modeli (FMOMILPM) kullanan hibrit bir metodoloji önermişlerdir. Önerilen metodolojinin uygulanabilirliği, Birleşik Krallık helal gıda endüstrisindeki gerçek bir vaka çalışmasıyla doğrulanmıştır.

Hajiaghaei-Keshteli ve diğerleri (2023) çalışmada gıda işletmelerinin ambalajlama operasyonları için yeni bir yeşil tedarikçi seçimi (YTS) yaklaşımı sunulmasını amaçlamıştır. En iyi tedarikçiyi seçmek için ideal çözüme benzerlik ile sipariş tercihi için Pisagor Bulanık Tekniği (PF-TOPSIS) yöntemi kullanılmıştır. Son olarak, bir duyarlılık analizi yapılmış ve sonuçlar klasik TOPSIS yöntemi ile karşılaştırılmıştır.

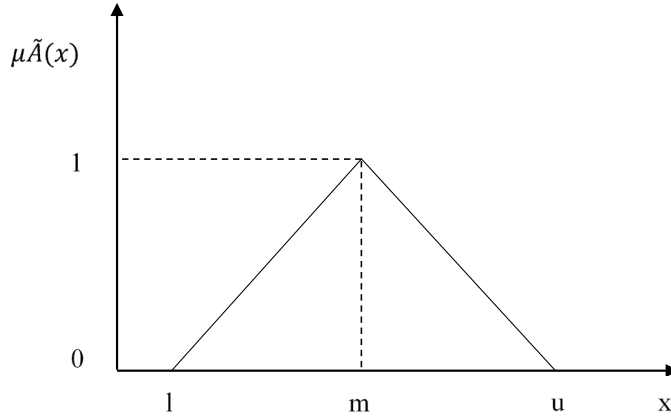
Sureeyatanapas ve Damapong (2023) çalışmada Tayland'daki bir grup restoran işletmecisinin bakış açılarına dayanarak, doğrudan derecelendirme yaklaşımında kriterlerin önem ağırlıklarının belirlenmesinde bulanık mantığın kullanılmasını önermiştir. İdeal çözüme benzerliğe göre sipariş tercihi için Bulanık TOPSIS kullanılmıştır. Sonuçları karşılaştırmak için Bulanık SAW, iki sıralama tabanlı ağırlıklandırma yöntemi (sıralama toplamı ve sıralama merkezi) ve iki nesnel ağırlıklandırma yöntemi (entropi ve ortalama) kullanılmıştır.

3. YÖNTEM

Çalışmada yöntem olarak çok kriterli karar verme teknikleri (ÇKKV) kullanılmıştır. Makarna sektöründe makarnalık buğday temin eden tedarikçiler için daha önceki çalışmalarda Bulanık SWARA, Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR yöntemlerinin hibrit olarak kullanılmaması nedeniyle tercih edilmiştir. Ağırlıklandırma işlemi için uygulama kolaylığı ve gerçeğe yakın sonuçlar verebilme özelliklerinden dolayı Bulanık SWARA yöntemi kullanılmıştır. Tedarikçi sıralaması aşamasında ise halen güncel yöntemler arasında yer almaları, alternatifleri seçmek ve sıralamak amacıyla kullanılabilirliği, aynı anket verileri ile işlem yapabilmeleri ve ideal çözüme dayalı bir değerlendirme yaklaşımı sunmaları nedenlerinden ötürü Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR yöntemlerinin kullanılması tercih edilmiştir.

3.1. Bulanık Mantık

Zadeh (1965), insanın kesin olmayan bilgiyi anlama ve analiz etme yeteneğini incelemiş ve kesinlik içermeyen problemleri çözmek için insan düşüncesinin sayılarla değil dilsel ifadelerle daha etkili olduğu fikrine dayanarak bulanık küme teorisini önermiştir (Ecer 2007). Geleneksel küme teorisinde eğer bir eleman o kümeye aitse 1, ait değilse 0'a eşit sayılmıştır. Bulanık küme kavramında ise üyeler 0 ve 1 arasında değişen farklı değerler alabilmektedir. Bulanık sayılar içerisinde en fazla tercih edilen üçgen bulanık sayılardır. Üçgen üyelik fonksiyonu Şekil 1'de gösterilmiştir (Sumrit, 2020). Grafikte "l" başlangıç noktası, "m" tepe noktası ve "u" bitiş noktası olmak üzere üç parametre $[l, m, u]$ ile gösterilir.



Şekil 1. Üçgensel üyelik fonksiyonu

Buradan elde edilen üçgen üyelik fonksiyonu ise Eşitlik 1'de gösterilmiştir.

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} \frac{x-l}{m-l}, & l \leq x \leq m \\ \frac{u-l}{u-m}, & m \leq x < u \\ 0, & x < l, x > u \end{cases} \quad (1)$$

3.2. Bulanık SWARA Yöntemi

SWARA (Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis-Kademeli Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi), Keršuliene ve diğerleri (2010) tarafından geliştirilen bir yöntemdir. ÇKKV problemlerindeki kriter ağırlıklarının belirlenmesi için kullanılmaktadır. Kriterlerin önem değerlerine ilişkin uzman görüşlerini tahmin edebildiğinden uzman odaklı yöntem şeklinde de bilinmektedir. Ayrıca yöntem karar vericiye önceliklerini seçme imkânı sunmaktadır. Uzmanlardan alınan bilgilerin bir araya getirilebilmesi, yöntemin önemli özelliklerindendir. Kriterlerin önemlerinin karar verici bazında bulanık değişkenler ile ifade edilmesi ile bulanık SWARA yöntemi uygulanmaktadır. Bulanık SWARA yöntemi karar verme sürecindeki karmaşıklıklar ve zorluklar nedeniyle kolaylık sağlamakta ve gerçeğe daha yakın sonuçlar elde etmeye imkân vermektedir. Bulanık SWARA yöntemi altı adımdan oluşmaktadır ve aşamaları aşağıda verilmiştir (Keršuliene ve diğerleri, 2010, Mavi ve diğerleri, 2017).

Bu çalışmada karar vericiler Tablo 2'de verilen dilsel değerlendirme skalasında (Chang 1996, Mavi ve diğerleri, 2017) verilen dilsel ölçütleri kullanmışlardır. Her bir karar verici dilsel değerlendirmesini tamamladıktan sonra bu değerlendirmeler Tablo 2'de verilen üçgen sayılara dönüştürülmektedir.

Tablo 2. Kriter ağırlıklandırmasında kullanılan dilsel değişkenler ve üçgen bulanık sayı değerleri

<i>Dilsel Değişken</i>	<i>Dilsel Değişken Kodu</i>	<i>Üçgen Bulanık Sayı</i>
Eşit önemlidir.	EÖ	(1, 1, 1)
Kısmen daha az önemlidir.	KDAÖ	(2/3, 1, 3/2)
Daha az önemlidir.	DAÖ	(2/5, 1/2, 2/3)
Çok daha az önemlidir.	ÇDAÖ	(2/7, 1/3, 2/5)
Oldukça az önemlidir.	OAÖ	(2/9, 1/4, 2/7)

Bulanık SWARA'nın işlem adımları aşağıda sunulmuştur:

Adım 1: Uzmanlardan belirlenen “n” adet kriteri en önemli gördükleri kriterden başlayarak önem sırasına göre sıralamaları istenir.

Adım 2: Kriterlerin göreceli önem düzeylerini ($\tilde{s}_j$) belirlemek için uzmanlar j kriterini bir önce gelen ($j - 1$) kriter ile Tablo 2’de verilen dilsel değişkenleri kullanarak karşılaştırırlar. Bu işlem önem sırasında ikinci olan kriterden başlayarak tüm kriterler için yapılır. Böylece bulanık göreceli önem düzeyleri $\tilde{s}_j = (\tilde{s}_{jl}, \tilde{s}_{jm}, \tilde{s}_{ju})$ belirlenir.

Adım 3: Eşitlik 2’den yararlanılarak önem katsayısı ($\tilde{k}_j$) hesaplanır.

$$\tilde{k}_j = \begin{cases} \tilde{1}, & j = 1 \\ \tilde{s}_j + \tilde{1}, & j > 1 \end{cases} \quad (2)$$

Adım 4: Eşitlik 3’ten yararlanılarak önem vektörü ($\tilde{q}_j$) hesaplanır.

$$\tilde{q}_j = \begin{cases} \tilde{1}, & j = 1 \\ \frac{\tilde{q}_{j-1}}{\tilde{k}_j}, & j > 1 \end{cases} \quad (3)$$

Adım 5: Son olarak bulanık kriter ağırlıkları ($\tilde{w}_j$) Eşitlik 4’ten yararlanılarak hesaplanır.

$$\tilde{w}_j = \frac{\tilde{q}_j}{\sum_{k=1}^n \tilde{q}_k}, \quad \tilde{w}_j = (\tilde{w}_{jl}, \tilde{w}_{jm}, \tilde{w}_{ju}) \quad (4)$$

Adım 6: Karar vericilerin $\tilde{w}_j$ değerleri geometrik ortalamaları alınarak birleştirilmiş ve birleştirilen değerler aşağıdaki eşitlik kullanılarak durulaştırılmıştır (Mavi ve diğerleri, 2017).

$$w_j = \frac{(w_{ju} - w_{jl}) - (w_{jm} - w_{jl})}{3} + w_{jl} \quad (5)$$

3.3. Bulanık TOPSIS Yöntemi

Hwang ve Yoon (1981) tarafından geliştirilen TOPSIS yöntemi, çok kriterli karar verme yöntemlerindendir. TOPSIS yöntemi seçilen alternatifin pozitif ideal çözüme en yakın olma ve negatif ideal çözüme en uzak olma esasına dayanmaktadır. TOPSIS yönteminde, performansın değerlendirilmesi ve kriterlere ilişkin önem ağırlıklarının belirlenmesi aşamasında kesin sayılar kullanılır. Ancak insanların seçim kararını içeren düşünceler genellikle belirsizdir ve bunu kesin bir şekilde sayısal değer ile belirlemek zordur. İnsan düşüncelerinin ölçülmesinde sayısal değerlerin yetersizliğinden dolayı TOPSIS yönteminin bulanık sayılarla kullanılmasını sağlayan yöntemler geliştirilmiştir. Bulanık TOPSIS yöntemi, dilsel belirsizliğin var olduğu ve grup olarak karar alınmasını gerektiren problemler söz konusu olduğunda bu problemin çözümü için yani, insan düşüncelerinden kaynaklı belirsizliği ortadan kaldırmak için geliştirilmiş karar verme yöntemlerindendir (Chen, 2000). Çalışmanın tedarikçi seçimi aşamasında (Chen, 2000)’in dilsel değişkenlerin bulanık sayı karşılıkları tablosundan yola çıkılarak hazırlanan Tablo 3’teki üçgen bulanık sayılar kullanılmıştır.

Tablo 3. Tedarikçi seçiminde kullanılan dilsel değişkenler ve üçgen bulanık sayı değerleri

<i>Dilsel Değişken</i>	<i>Dilsel Değişken Kodu</i>	<i>Üçgen Bulanık Sayı</i>
Çok zayıf	ÇZ	(1, 1, 3)
Zayıf	Z	(1, 3, 5)
Orta	O	(3, 5, 7)
İyi	İ	(5, 7, 9)
Çok iyi	Çİ	(7, 9, 9)

Bulanık TOPSIS'in işlem adımları aşağıda verilmiştir:

Adım 1: m sayıdaki alternatif, n sayıdaki kriter değerlerine göre Tablo 3'te gösterilen dilsel ifadelerin denk geldiği üçgen bulanık sayı değerlerini alırlar. Bu sayede Eşitlik 6 ile ifade edilen bulanık karar matrisi ($\tilde{D}$) oluşturulur.

$$(\tilde{D}) = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Buradaki x_{ij} , i. alternatifi j. kritere göre üçgen bulanık sayı değerini göstermektedir. Kesin sınırları olmayan bulanık sayılar, üçgen üyelik fonksiyonuna göre daha öncede bahsedildiği üzere l, m, u olarak tanımlanır. Bu durumda $x_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ bulanık sayılar ile ifade edilir.

Adım 2: Karar kriterlerinin önem ağırlıkları ve kriterler bazında alternatiflerin dereceleri geometrik ortalama yöntemi kullanılarak her biri için tek bir değerlendirme olacak şekilde birleştirilir ve bütünleştirilmiş değerler elde edilir.

Adım 3: Değerlendirilen kriterin fayda veya maliyet kriteri olması durumuna göre iki eşitlikten birisi kullanılır. B fayda kriterleri kümesini C ise maliyet kriterleri kümesini göstermek üzere normalize edilmiş karar matrisi aşağıda verilen formüller kullanılarak hesaplanır. Bulanık karar matrisi oluşturulurken kullanılan dilsel ifadeler sayesinde tüm kriterler fayda fonksiyonu olarak düzenlendiğinden, tek denklem normalize işlemi için yeterli olmuştur.

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{l_{ij}}{u_j^*}, \frac{m_{ij}}{u_j^*}, \frac{u_{ij}}{u_j^*} \right), j \in B \quad u_j^* = \max_i u_{ij} \quad (7)$$

veya

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{l_j^-}{u_{ij}}, \frac{l_j^-}{u_{ij}}, \frac{l_j^-}{u_{ij}} \right), j \in C \quad l_j^- = \min_i l_{ij} \quad (8)$$

Oluşturulan bulanık karar matrisi Eşitlik 7 veya Eşitlik 8'de yer alan ifade ile normalize edilmiş bulanık karar matrisi ($\tilde{R}$) oluşturulur (Eşitlik 9).

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n} \quad (9)$$

Adım 4: Normalize edilmiş bulanık karar matrisi bulanık SWARA yöntemi ile belirlenen kriter ağırlıkları ile çarpılarak ağırlıklandırılmış bulanık karar matrisi ($\tilde{V}$) oluşturulur (Eşitlik 10 ve Eşitlik 11).

$$\tilde{V}_{ij} = \tilde{x}_{ij} \times \tilde{w}_j \quad (10)$$

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

Adım 5: Ağırlıklandırılmış bulanık karar matrisi oluşturulduktan sonra A^+ ile gösterilen pozitif ideal, A^- ile gösterilen negatif ideal çözümler tanımlanır (Eşitlik 12 ve Eşitlik 13).

$$A^+ = \{\tilde{V}_1^*, \tilde{V}_2^*, \dots, \tilde{V}_n^*\} \quad (12)$$

$$= (\max_i \tilde{V}_{i1}, \max_i \tilde{V}_{i2}, \max_i \tilde{V}_{i3} \dots, \max_i \tilde{V}_{in})$$

$$A^- = \{\tilde{V}_1^-, \tilde{V}_2^-, \dots, \tilde{V}_n^-\} \quad (13)$$

$$= (\min_i \tilde{V}_{i1}, \min_i \tilde{V}_{i2}, \min_i \tilde{V}_{i3} \dots, \min_i \tilde{V}_{in})$$

Adım 6: İki üçgensel bulanık sayı $\tilde{x} = (l_x, m_x, u_x)$ ve $\tilde{z} = (l_z, m_z, u_z)$ olmak üzere, bu sayılar arasındaki uzaklıklar hesaplanırken Eşitlik 14'te yer alan formül kullanılır.

Her bir alternatifi pozitif ve negatif ideal çözümlere olan uzaklıkları, Eşitlik 15 ve Eşitlik 16 kullanılarak hesaplanır.

$$d(\tilde{x}, \tilde{z}) = \sqrt{\frac{1}{3} [(l_x - l_z)^2 + (m_x - m_z)^2 + (u_x - u_z)^2]} \quad (14)$$

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^*), \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (15)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-), \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (16)$$

Adım 7: Her bir alternatif için yakınlık katsayısı (CC_i) değeri Eşitlik 17'deki formüle göre hesaplanır.

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (17)$$

Adım 8: Alternatifler yakınlık katsayısı değerlerine göre büyükten küçüğe sıralanır. En büyük yakınlık katsayısına sahip alternatifin pozitif ideal çözüme en yakın ve negatif ideal çözüme en uzak alternatif olduğu kabul edilerek seçim gerçekleştirilir. En yüksek değere sahip alternatif, en iyi alternatif olarak seçilir.

3.4. Bulanık VIKOR Yöntemi

VIKOR (Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje- Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşık Çözüm) yöntemi, birbiri ile çelişki içinde bulunan kriterler altında alternatifleri sıralayarak, içlerinden en uygun alternatifin seçimi prensibine dayalı bir yöntemdir (Opricovic, 2004). Yöntemin amacı, her alternatif için indeks değeri bulup, daha sonra bu değerleri sıralayarak uzlaştırmacı çözüm bulmaktır. VIKOR yöntemi tek başına bir karar problemini çözme konusunda yetersiz kalabilir. Özellikle karar kriterleri çok sayıdaysa bu kompleks bir probleme dönüşmüş olur. Doğru ve objektif bir sonuç alabilmek için yöntem bulanık mantık ile bulanıklaştırılır. Yöntemde dilsel değişkenler dikkate alınarak uzlaşık bir çözüme gidilir (Chen ve Wang, 2009). Çalışmanın Bulanık VIKOR yöntemi ile tedarikçi seçimi aşamasında Tablo 3'te yer alan dilsel değişkenler ve üçgen bulanık sayılar kullanılmıştır.

Bulanık VIKOR'un işlem adımları aşağıdaki verilmiştir. Bulanık VIKOR'un ilk iki adımı bulanık TOPSIS ile aynı olduğundan ilk iki adıma tekrar yer verilmemiştir.

Adım 1: Bu adımda en iyi bulanık ve en kötü bulanık değerler belirlenir. Bulanık en iyi değer $\tilde{f}_j^*$ ve bulanık en kötü değer $\tilde{f}_j^-$ ile gösterilir. Kriterin özelliğine göre iki farklı hesaplama yapılır. Eğer j . kriter fayda özelliğine sahip kriter ise $\tilde{f}_j^*$ ve $\tilde{f}_j^-$ değerleri Eşitlik 18'deki gibi hesaplanır.

$$\tilde{f}_j^* = \max_i \tilde{x}_{ij}, \quad \tilde{f}_j^- = \min_i \tilde{x}_{ij} \quad (18)$$

Eğer j . kriter maliyet özelliğine sahip bir kriter ise f_j^* ve f_j^- değerleri Eşitlik 19 kullanılarak hesaplanır.

$$f_j^* = \min_i \tilde{x}_{ij}, \quad f_j^- = \max_i \tilde{x}_{ij}, \quad (19)$$

Adım 2: Bu adımda $\tilde{S}_i$ ve $\tilde{R}_i$ değerleri hesaplanır. $\tilde{S}_i$ bütün kriterlere göre i . alternatifin en iyi bulanık değere olan uzaklığının toplamıdır (Eşitlik 20). $\tilde{R}_i$ ise j . kritere göre i . alternatifin en kötü bulanık değerlere olan maksimum uzaklığıdır (Eşitlik 21).

$$\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^k [\tilde{w}_j (\tilde{f}_j^* - \tilde{x}_{ij}) / (\tilde{f}_j^* - \tilde{f}_j^-)] \quad (20)$$

$$\tilde{R}_i = \max_j [\tilde{w}_j (\tilde{f}_j^* - \tilde{x}_{ij}) / (\tilde{f}_j^* - \tilde{f}_j^-)] \quad (21)$$

Adım 3: Bu adımda $\tilde{S}^*$, $\tilde{S}^-$, $\tilde{R}^*$, $\tilde{R}^-$ hesaplanır. Burada $\tilde{S}^*$ maksimum grup faydasını, $\tilde{R}^*$ karşıt görüştekilerin minimum pişmanlığını ifade etmektedir (Eşitlik 22 ve 23).

$$\tilde{S}^* = \min_i \tilde{S}_i, \quad \tilde{S}^- = \max_i \tilde{S}_i \quad (22)$$

$$\tilde{R}^* = \min_i \tilde{R}_i, \quad \tilde{R}^- = \max_i \tilde{R}_i \quad (23)$$

Adım 4: Grup faydası ile bireysel pişmanlığı birlikte değerlendiren $\tilde{Q}_i$ değeri Eşitlik 24 ile hesaplanmaktadır. v değeri grup faydasının önem derecesini, $(1 - v)$ değeri bireysel pişmanlığın önem derecesini göstermektedir. Uzlaşmacı çoğunluk için $v \approx 0.5$ alınabilir (Opricovic, 2011).

$$\tilde{Q}_i = v (\tilde{S}_i - \tilde{S}^*) / (\tilde{S}^- - \tilde{S}^*) + (1 - v) (\tilde{R}_i - \tilde{R}^*) / (\tilde{R}^- - \tilde{R}^*) \quad (24)$$

Adım 5: Bu adımda $\tilde{Q}_i$ değerlerinin doğru sonuç vermesi için durulaştırma işlemi uygulanır ve Q_i indeksi bulunur (Eşitlik 25). Bu çalışmada durulaştırma yöntemi olarak BNP (Best Nonfuzzy Performance Value) tercih edilmiştir (Hsieh ve diğerleri, 2004).

$$BNP_i = [(u_i - l_i) + (m_i - l_i)] / 3 + l_i, \quad \forall i \quad (25)$$

Adım 6: Bu adımda Q_i indeksine göre alternatifler sıralanır ve en küçük değere sahip alternatif en uygun olarak seçilir. Daha sonra, belirlenen en iyi alternatifin uzlaştırmacı çözüm olup olmadığını tespit etmek için iki koşulun sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir.

1. Koşul - Kabul edilebilir avantaj: En iyi alternatifin takipçisine göre belirgin bir şekilde avantajlı olması gerektiğini belirten koşuldur (Eşitlik 26).

$$Q(a'') - Q(a') \geq DQ \quad (26)$$

Burada (a') değeri birinci en iyi alternatifi, (a'') değeri ikinci en iyi alternatifi Q değerini, m değeri alternatif sayısını göstermektedir (Eşitlik 27).

$$DQ = 1/(m - 1), \text{ (eğer } m \leq 4 \text{ ise } DQ = 0,25) \quad (27)$$

2. Koşul - Kabul edilebilir istikrar: En iyi Q değerine sahip (a') alternatifi S ve R değerlerinin en az bir tanesinde en iyi skoru elde etmiş olması gerektiğini belirten koşuldur.

Eğer $Q(a'') - Q(a') \leq DQ$ ise ve 1. koşul yerine gelmiyorsa (a'') ve (a') ise uzlaştırıcı çözümlerdir. Uzlaştırıcı çözümler ($a', a'', \dots, a''$) benzer olduklarından (a') karşılaştırmalı bir üstünlüğe sahip değildir. Eğer 2. koşul sağlanamıyorsa, (a') karşılaştırmalı bir üstünlüğe sahibi olsa da belli bir istikrara sahip değildir. Bundan dolayı (a') ve (a'') uzlaştırıcı çözümü aynıdır.

Adım 7: Q_i değeri minimum olan en iyi alternatifi seçimi yapılır.

4. UYGULAMA

Çalışma kapsamında makarna üretimi yapan bir işletmenin temel girdisi olan makarnalık buğday tedarikçi seçim problemi ele alınmış, tedarikçi seçimi sürecinde kullanılması uygun olan kriterler belirlenerek çok kriterli karar verme yöntemleri ile çözümlenebilecek bir uygulama gerçekleştirilmiştir.

4.1. Kriterlerin Ağırlıklandırılması

Karar verici uzman ekip, uygulama çalışmasının yapıldığı işletmede 8 yıldır görev yapmakta olan üretim müdürü, 10 yıldır görev yapmakta olan tedarik/satın alma müdürü ve 13 yıldır görev yapmakta olan finans/muhasebe müdürü olarak belirlenmiştir. Karar verici uzmanların görüşleri doğrultusunda Yurtiçi 1 (T1), Yurtiçi 2 (T2), İthal 1 (T3) ve İthal 2 (T4) olarak ifade edilen 4 farklı tedarikçi belirlenmiştir.

Kriterlerin belirlenmesi süreci, tedarikçi seçimi ile ilgili literatürün incelemesi ile başlanmış uygulama yapılan firma yetkilileri ile görüşme sonrasında kriterler nihai hale getirilmiştir. Firmada ilgili uzmanlar ile yapılan görüşme sonrasında nihai hale getirilen kriterler Tablo 4'te yer almaktadır.

Tablo 4. Nihai hale getirilen kriterler

Kriter	Referanslar
Ödeme Koşullarının Kolaylığı	Akpınar (2021)
Gıda Güvenliği	Lau ve diğerleri (2018)
Hijyen	Deste ve diğerleri (2021)
Kalite	Başaran ve Çakır (2020)
Ürün Çeşitliliği	Doğan (2022)
Teslimat Hızı	Şekerci ve Yazıcıoğlu (2019)
Fiyat Avantajı	Lizot ve diğerleri (2021)
Firma İmajı ve Güvenilirliği	Erdem ve diğerleri (2023)

Uzmanlardan Tablo 4'te belirlenen kriterleri en önemli gördükleri kriterden başlayarak önem sırasına göre sıralamaları istenmiş ve sonuçlar Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 5. Karar vericilerin kriterlere ilişkin önem sıralaması

Kriter No	Kriterler	KV1	KV2	KV3
K1	Ödeme Koşullarının Kolaylığı	3	8	7
K2	Gıda Güvenliği	8	1	2
K3	Hijyen	7	2	4
K4	Kalite	1	3	1
K5	Ürün Çeşitliliği	6	4	6
K6	Teslimat Hızı	4	5	5
K7	Fiyat Avantajı	2	6	3
K8	Firma İmajı ve Güvenilirliği	5	7	8

Tablo 2'de yer alan dilsel değişkenler kullanılarak Bulanık SWARA yöntemine ilişkin tüm işlem adımları tamamlandıktan sonra Tablo 6'da yer alan sonuçlara ulaşılmıştır. Bulanık SWARA yönteminden çıkan sonuçlara göre kriterlerin ağırlıkları K4 (kalite), K2 (gıda güvenliği), K7 (fiyat avantajı), K3 (hijyen), K6 (teslimat hızı), K5 (ürün çeşitliliği), K1 (ödeme koşullarının kolaylığı), K8 (firma imajı ve güvenilirliği) olarak sıralanmıştır.

Tablo 6. Durulaştırılmış kriter ağırlık değerleri

Kriterler	Karar Verici 1 (KV1)			Karar Verici 2 (KV2)			Karar Verici 3 (KV3)			Ortalama			Gerçek Değerler	Sıra
K1	0,11	0,11	0,12	0,02	0,01	0,01	0,03	0,02	0,01	0,04	0,03	0,02	0,03	7
K2	0,03	0,02	0,01	0,44	0,45	0,47	0,22	0,23	0,24	0,13	0,13	0,12	0,13	2
K3	0,03	0,03	0,02	0,22	0,23	0,24	0,08	0,06	0,04	0,08	0,07	0,05	0,07	4
K4	0,44	0,45	0,47	0,16	0,15	0,14	0,44	0,45	0,47	0,31	0,31	0,32	0,31	1
K5	0,04	0,04	0,03	0,11	0,1	0,08	0,05	0,03	0,02	0,06	0,05	0,04	0,05	6
K6	0,08	0,08	0,07	0,08	0,07	0,05	0,06	0,04	0,02	0,07	0,06	0,04	0,06	5
K7	0,22	0,23	0,24	0,05	0,03	0,02	0,13	0,11	0,09	0,11	0,09	0,08	0,09	3
K8	0,06	0,05	0,04	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0	0,03	0,02	0,01	0,02	9

4.2. Bulanık TOPSIS Yöntemi ile Tedarikçi Seçimi

Tablo 3'te yer alan dilsel ifadelerin denk geldiği üçgen bulanık sayı değerleri kullanılarak karar vericiler tarafından yapılan dilsel değerlendirmeler Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Karar vericiler tarafından yapılan dilsel değerlendirmeler

Karar Vericiler	Tedarikçiler	Kriterler							
		K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
Karar Verici 1 (KV1)	T1	İ	O	O	İ	İ	İ	Çİ	Çİ
	T2	İ	O	O	O	İ	İ	İ	O
	T3	O	Çİ	İ	Çİ	İ	O	İ	Çİ
	T4	O	Çİ	İ	İ	İ	O	O	Çİ
Karar Verici 2 (KV2)	T1	Çİ	O	O	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ
	T2	İ	O	O	O	İ	İ	Ç	O
	T3	Çİ	İ	İ	Çİ	Çİ	O	İ	Çİ
	T4	İ	Çİ	İ	İ	O	O	O	O
Karar Verici 3 (KV3)	T1	Çİ	Çİ	İ	Çİ	İ	Çİ	İ	Çİ
	T2	İ	O	Çİ	O	O	İ	O	O
	T3	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	İ	O	Çİ	Çİ
	T4	O	İ	İ	İ	İ	İ	İ	O

Geometrik ortalama yöntemi kullanılarak elde edilen bütünleştirilmiş bulanık değerler Tablo 8'de sunulmuştur. Tablo 9'da normalize edilmiş bulanık karar matrisi ($\tilde{R}$) verilmiştir. Bulanık SWARA yöntemi ile bulunan ağırlıklar kullanılarak, ağırlıklandırılmış bulanık karar matrisine ($\tilde{V}$) ulaşılmış, ardından A^+ ile gösterilen pozitif ideal, A^- ile gösterilen negatif ideal çözümler tanımlanmıştır (Tablo 10). Her bir alternatifi pozitif ve negatif ideal çözümlere olan uzakları ise Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 8. Bulanık karar matrisi

Tedarikçiler	Kriterler											
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K5	K6	K7	K8
T1	6,26	8,28	9,00	3,98	6,08	7,61	3,56	5,59	7,61	6,26	8,28	9,00
T2	5,00	7,00	9,00	3,00	5,00	7,00	3,98	6,08	7,61	3,00	5,00	7,00
T3	5,28	7,40	8,28	6,26	8,28	9,00	5,59	7,61	9,00	7,00	9,00	9,00
T4	3,56	5,59	7,61	6,26	8,28	9,00	5,00	7,00	9,00	5,00	7,00	9,00
T1	5,59	7,61	9,00	6,26	8,28	9,00	6,26	8,28	9,00	7,00	9,00	9,00
T2	4,22	6,26	8,28	5,00	7,00	9,00	4,72	6,80	8,28	3,00	5,00	7,00
T3	5,59	7,61	9,00	3,00	5,00	7,00	5,59	7,61	9,00	7,00	9,00	9,00
T4	4,22	6,26	8,28	3,56	5,59	7,61	3,56	5,59	7,61	3,98	6,08	7,61

Tablo 9. Normalize bulanık karar matrisi

	K1				K2				K3				K4			
Ağırlık Değerleri	0,04	0,03	0,02	0,13	0,13	0,12	0,08	0,07	0,05	0,31	0,31	0,32				
T1	0,70	0,92	1,00	0,44	0,68	0,85	0,40	0,62	0,85	0,70	0,92	1,00				
T2	0,56	0,78	1,00	0,33	0,56	0,78	0,44	0,68	0,85	0,33	0,56	0,78				
T3	0,64	0,89	1,00	0,70	0,92	1,00	0,62	0,85	1,00	0,78	1,00	1,00				
T4	0,47	0,73	1,00	0,70	0,92	1,00	0,56	0,78	1,00	0,56	0,78	1,00				
	K5				K6				K7				K8			
Ağırlık Değerleri	0,06	0,05	0,04	0,07	0,06	0,04	0,11	0,09	0,08	0,03	0,02	0,01				
T1	0,62	0,85	1,00	0,70	0,92	1,00	0,70	0,92	1,00	0,78	1,00	1,00				
T2	0,47	0,70	0,92	0,56	0,78	1,00	0,52	0,76	0,92	0,33	0,56	0,78				
T3	0,62	0,85	1,00	0,39	0,66	0,92	0,62	0,85	1,00	0,78	1,00	1,00				
T4	0,51	0,76	1,00	0,47	0,73	1,00	0,47	0,73	1,00	0,52	0,80	1,00				

Tablo 10. Ağırlıklandırılmış bulanık karar matrisi

	K1				K2				K3				K4			
T1	0,03	0,02	0,02	0,06	0,09	0,10	0,03	0,04	0,05	0,22	0,29	0,32				
T2	0,02	0,02	0,02	0,04	0,07	0,09	0,04	0,05	0,05	0,10	0,17	0,25				
T3	0,02	0,02	0,02	0,09	0,12	0,12	0,05	0,06	0,05	0,24	0,31	0,32				
T4	0,02	0,02	0,02	0,09	0,12	0,12	0,05	0,05	0,05	0,17	0,24	0,32				
A*(max)	0,03	0,02	0,02	0,09	0,12	0,12	0,05	0,06	0,05	0,24	0,31	0,32				
A ⁻ (min)	0,02	0,02	0,02	0,04	0,07	0,09	0,03	0,04	0,05	0,10	0,17	0,25				
	K5				K6				K7				K8			
T1	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,04	0,08	0,09	0,08	0,02	0,02	0,01				
T2	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,06	0,07	0,07	0,01	0,01	0,01				
T3	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,07	0,08	0,08	0,02	0,02	0,01				
T4	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,05	0,07	0,08	0,02	0,02	0,01				
A*(max)	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,04	0,08	0,09	0,08	0,02	0,02	0,01				
A ⁻ (min)	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,07	0,07	0,01	0,01	0,01				

Tablo 11. Alternatiflerin bulanık pozitif ve bulanık negatif ideal çözümlere uzaklıkları

	Kriterler								
Tedarikçiler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	d_i^*
T1	0,00	0,03	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06
T2	0,00	0,04	0,01	0,12	0,01	0,01	0,01	0,01	0,22
T3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,02
T4	0,01	0,00	0,00	0,06	0,00	0,01	0,02	0,00	0,10
Tedarikçiler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	
T1	0,01	0,01	0,00	0,10	0,01	0,02	0,02	0,01	0,17
T2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02
T3	0,00	0,04	0,01	0,12	0,01	0,00	0,01	0,01	0,21
T4	0,00	0,04	0,01	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14

Son adımda en yüksek yakınlık katsayı değerine sahip alternatif, en iyi alternatif olarak seçilmiş ve Tablo 12'de sunulmuştur.

Tablo 12. Tedarikçilerin yakınlık katsayı değerleri ve sıralaması

Tedarikçiler	CC _i	Sıra
T1	0,72	2
T2	0,07	4
T3	0,90	1
T4	0,56	3

Bulanık TOPSIS yöntemi ile yapılan değerlendirmeye göre tedarikçiler T3, T1, T4 ve T2 olarak sıralanmıştır.

4.3. Bulanık VIKOR Yöntemi ile Tedarikçi Seçimi

İlk adımda bulanık karar matrisi oluşturulmuş ve Tablo13'te sunulmuştur.

Tablo 13. Bulanık karar matrisi

	K1			K2			K3			K4		
T1	6,26	8,28	9,00	3,98	6,08	7,61	3,56	5,59	7,61	6,26	8,28	9,00
T2	5,00	7,00	9,00	3,00	5,00	7,00	3,98	6,08	7,61	3,00	5,00	7,00
T3	5,28	7,40	8,28	6,26	8,28	9,00	5,59	7,61	9,00	7,00	9,00	9,00
T4	3,56	5,59	7,61	6,26	8,28	9,00	5,00	7,00	9,00	5,00	7,00	9,00
$\tilde{f}_j^*$	6,26	8,28	9,00	6,26	8,28	9,00	5,59	7,61	9,00	7,00	9,00	9,00
f_j^-	3,56	5,59	7,61	3,00	5,00	7,00	3,56	5,59	7,61	3,00	5,00	7,00
	K5			K6			K7			K8		
T1	5,59	7,61	9,00	6,26	8,28	9,00	6,26	8,28	9,00	7,00	9,00	9,00
T2	4,22	6,26	8,28	5,00	7,00	9,00	4,72	6,80	8,28	3,00	5,00	7,00
T3	5,59	7,61	9,00	3,00	5,00	7,00	5,59	7,61	9,00	7,00	9,00	9,00
T4	4,22	6,26	8,28	3,56	5,59	7,61	3,56	5,59	7,61	3,98	6,08	7,61
$\tilde{f}_j^*$	5,59	7,61	9,00	6,26	8,28	9,00	6,26	8,28	9,00	7,00	9,00	9,00
f_j^-	4,22	6,26	8,28	3,00	5,00	7,00	3,56	5,59	7,61	3,00	5,00	7,00

İkinci adımda hesaplanan $\tilde{S}_i$ ve $\tilde{R}_i$ değerleri Tablo 14'te verilmiştir.

Tablo 14. $\tilde{S}_i$ ve $\tilde{R}_i$ değerleri

Tedarikçiler	$\tilde{S}_i$			$\tilde{R}_i$		
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>
T1	0,23	0,21	0,13	0,09	0,09	0,08
T2	0,71	0,65	0,57	0,31	0,31	0,32
T3	0,11	0,09	0,05	0,07	0,06	0,04
T4	0,47	0,41	0,17	0,16	0,16	0,08

Bu adımda $\tilde{S}^*$, $\tilde{S}^-$, $\tilde{R}^*$, $\tilde{R}^-$ parametreleri hesaplanmış ve Tablo 15'te verilmiştir.

Tablo 15. $\tilde{S}^*$, $\tilde{S}^-$, $\tilde{R}^*$ ve $\tilde{R}^-$ değerleri

Parametreler	Bulanık üyelik fonksiyonu
$\tilde{S}^*$	(0,11, 0,09, 0,05)
$\tilde{S}^-$	(0,71, 0,65, 0,57)
$\tilde{R}^*$	(0,07, 0,06, 0,04)
$\tilde{R}^-$	(0,31, 0,31, 0,32)

Bu adımda $\tilde{Q}_i$ değerleri hesaplanmış ve Tablo 16'da verilmiştir.

Tablo 16. $\tilde{Q}_i$ değerleri

Tedarikçiler	Bulanık üyelik fonksiyonu
T1	(0,15, 0,16, 0,15)
T2	(1,00, 1,00, 1,00)
T3	(0,00, 0,00, 0,00)
T4	(0,48, 0,48, 0,17)

Bu adımda durulaştırma işlemi sonucu Q_i indeksi bulunmuş ve Tablo 17'de sunulmuştur.

Tablo 17. Durulaştırılmış S_i , R_i , Q_i değerleri

Tedarikçiler	S_i	R_i	Q_i
T1	0,19	0,09	0,15
T2	0,64	0,31	1,00
T3	0,08	0,06	0,00
T4	0,35	0,13	0,17

Son adımda Q_i indeksine göre alternatifler sıralanır ve en küçük değere sahip alternatif en uygun olarak seçilmiştir. Daha sonra, belirlenen en iyi alternatifin uzlaştırıcı çözüm olup olmadığını tespit etmek için iki koşulun sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmiş ve Tablo 18'de sunulmuştur.

Yapılan değerlendirmede görüldüğü üzere T3 alternatifi kabul edilir avantaj ve kabul edilir istikrar koşullarını sağlamaktadır. Dolayısıyla T3 alternatifi en iyi sonucu veren uzlaşık çözümdür.

Tablo 18. S_i , R_i , Q_i değerleri değerlerine göre tedarikçilerin sıralanması

<i>Tedarikçiler</i>	S_i	<i>Sıra</i>	R_i	<i>Sıra</i>	Q_i	<i>Sıra</i>	<i>Nihai Sıra</i>
T1	0,19	2	0,09	2	0,15	2	2
T2	0,64	4	0,31	4	1,00	4	4
T3	0,08	1	0,06	1	0,00	1	1
T4	0,35	3	0,13	3	0,17	3	3

5. SONUÇ

Tedarikçi seçimi işletmelerin sürdürülebilir rekabet avantajı elde edebilmesi ve operasyonel verimliliğini artırabilmesi için kritik karar süreçlerinin başında gelmektedir. Genel olarak tedarikçi seçim süreci, kaynakların en verimli şekilde kullanılmasını sağlarken, doğru tedarikçi seçimi ile maliyetlerin düşürülmesi, kalite standartlarının korunması ve süreçlerin optimize edilmesi hedeflenir. Verimlilik odaklı bir tedarikçi seçim süreci hem maliyet avantajı sunar hem de zamanında teslimat, yüksek kalite ve sürdürülebilirlik gibi kriterleri karşılayarak işletmenin genel performansını artırır.

Çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri verimlilik analizinde ve iyileştirilmesinde kullanılan yöntemler arasında yer almaktadır. Karmaşık ve çok boyutlu karar süreçlerinde, birden fazla kriterin dikkate alınarak en uygun seçeneğin belirlenmesine olanak sağlayan ÇKKV yöntemleri bu çalışma kapsamında kullanılmıştır. Ayrıca Bulanık ÇKKV yöntemleri, klasik ÇKKV yöntemlerinin kesin verilere dayalı yapısına karşın, belirsizlik ve subjektif değerlendirmeleri de dikkate alabilen esnek bir yaklaşım sunması nedeniyle bu çalışmada özellikle tercih edilmiştir.

Literatürde benzer çalışmalara bakıldığında; Güler ve Saner (2020) üreticilerin yem tedarikçisinde en fazla yem kalitesine önem verdiklerini, Öztürk ve Tekin (2021) çalışmasında gıda ürünleri imalatı sektöründe faaliyet gösteren bir firmada en uygun hammadde tedarikçi seçiminde kalitenin en önemli kriter olarak öne çıktığını, Leong ve diğerleri (2022) çalışmasında maliyet kriterini en yüksek ağırlığa sahip kriter olduğunu, Hajiaghahi-Keshteli ve diğerleri (2023) çalışmasında ise gıda sanayinde hizmet kriterinin en çok kullanılan kriter olduğunu belirlemiştir.

Çalışmanın uygulaması Gaziantep ilinde makarna imalat sektöründe faaliyet gösteren bir firmada gerçekleştirilmiştir. Firmada karar vericiler için kritik bir problem olan ve firmanın temel girdisi olan makarnalık buğday tedarikçi seçim problemi ele alınmıştır. Çalışma kapsamında Bulanık SWARA yöntemi ile kriter ağırlıklandırması, Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR yöntemleri ile tedarikçi sıralaması ve seçimi yapılmıştır.

Çalışmada makarnalık buğday tedarikçi seçimine yönelik ödeme koşullarının kolaylığı, gıda güvenliği, hijyen, kalite, ürün çeşitliliği, teslimat hızı, fiyat avantajı, firma imajı ve güvenilirliği olmak üzere 8 farklı kriter Bulanık SWARA yöntemi ile ağırlıklandırılmıştır. Bulanık SWARA yönteminden çıkan sonuçlara göre kriterlerin ağırlıkları K4 (kalite), K2 (gıda güvenliği), K7 (fiyat avantajı), K3 (hijyen), K6 (teslimat hızı), K5 (ürün çeşitliliği), K1 (ödeme koşullarının kolaylığı), K8 (firma imajı ve güvenilirliği) olarak sıralanmıştır. Daha sonraki aşamada karar verici uzmanların görüşleri doğrultusunda Yurtiçi 1 (T1), Yurtiçi 2 (T2), İthal 1 (T3) ve İthal 2 (T4) olarak ifade edilen 4 farklı tedarikçi belirlenmiş ve firma için en iyi tedarikçi seçimi Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR yöntemleri ile belirlenmiştir. Her iki yöntem sonucunda göre makarnalık buğday teminine ilişkin en iyi tedarikçi sıralaması 1. sırada T3 tedarikçisi, 2. Sırada T1 tedarikçisi, 3. Sırada T4 tedarikçisi ve son sırada T2 tedarikçisi olarak gerçekleşmiştir. Her iki yöntemle aynı sonuçlara ulaşılması, problem yapısının her iki yöntemin de varsayımlarına uygun olduğunu ve alternatifler arasında çok büyük çelişkilerin bulunmadığını göstermektedir.

Kriter ve ağırlık belirleme sürecindeki karar vericilerin deneyimli kişilerden seçilmesinin zorunlu olması ve kullanılan tekniğe bağlı olarak farklı sonuçlar verebilmesi çalışmanın kısıtları arasında yer almaktadır.

Çalışma sonuçlarının buğday üreticilerinin, makarna sektöründe üretim ve satış yapan işletmelerin, sektörün farklı kesimlerini temsil eden sivil toplum kuruluşların ve ilgili kamu kurum/kuruluşlarının faaliyetlerine olumlu yönde katkı sunabileceği düşünülmektedir.

Çalışmada hammadde tedarikçi seçimine yönelik kullanılan yöntemlerin işletmenin benzer diğer kritik karar süreçlerinde de kullanılabileceği ayrıca diğer ÇKKV yöntemlerinin de hibrit olarak kullanılmasının da farklı yöntemlerin sonuçlarının karşılaştırılması açısından literatüre katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Yazar Katkıları /Author Contributions

Serkan Ulu: Literatür taraması, Kavramsallaştırma, Metodoloji, Veri Derleme, Analiz, Makale Yazımı-orijinal taslak *Füsün Erden:* Modelleme, Makale Yazımı-inceleme ve düzenleme

Serkan Ulu: Literature review, Conceptualization, Methodology, Data Curation, Analysis, Writing-original draft *Füsün Erden:* 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 Ankara Üniversitesi Etik Kurulu'nun 26.11.2024 tarihli ve 23 numaralı kararı ile onay alınmıştır.

For this study, the approval of the Ethics Committee of Ankara University was obtained with the decision dated 26.11.2024 and numbered 23.

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

- Akın, N.G. (2021). "Genelleştirilmiş Trapezoidal Bulanık Esnek Kümeler: Yeşil Tedarikçi Seçimi Problemine Uygulanması", *Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 23(1), 158-171. <https://doi.org/10.32709/akusosbil.632792>
- Akpınar, M.E. (2021). "An Application on the Most Suitable Supplier Selection with Fuzzy TOPSIS and Fuzzy VIKOR Methods", *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 23(2), 627-640. <https://doi.org/10.16953/deusosbil.843914>
- Arabsheybani, A. ve Arshadi Khasmeh, A. (2021). "Robust and Resilient Supply Chain Network Design Considering Risks in Food Industry: Flavour Industry in Iran", *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 16(3), 197-208. <https://doi.org/10.1080/17509653.2021.1907811>
- Azadnia, A.H., Saman, M.Z.M. ve Wong, K.Y. (2015). "Sustainable Supplier Selection and Order Lot-Sizing: An Integrated Multi-Objective Decision-Making Process", *International Journal of Production Research*, 53(2), 383-408. <https://doi.org/10.1080/00207543.2014.935827>
- Banaeian, N., Mobli, H., Fahimnia, B., Nielsen, I. E. ve Omid, M. (2018). "Green Supplier Selection Using Fuzzy Group Decision Making Methods: A Case Study From The Agri-Food Industry", *Computers & Operations Research*, 89, 337-347. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2016.02.015>
- Başaran, B. ve Çakır, S. (2021). Evaluation of Food Safety And Halal Criteria in Supplier Selection: An Application in Food Sector with Fuzzy COPRAS Method. *International Food Research Journal*, 28(3), 576-585. <https://doi.org/10.47836/ifrj.28.3.17>
- Başaran, S. ve Çakır, S. (2020). "Bulanık TODIM Yöntemiyle Gıda Sektöründe Tedarikçi Seçimi", *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 28, 65-78. <https://doi.org/10.18092/ulikidince.666189>
- Chang, D.Y. (1996) "Applications of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP", *European Journal of Operational Research*, 95(3), 649-655.
- Chen, C.T. (2000). "Extensions of the TOPSIS for Group Decision Making Under Fuzzy Environment", *Fuzzy Sets and Systems*, 114, 1-9.
- Chen, L. ve Wang, T. (2009): "Optimizing Partners' Choice in IS/IT Outsourcing Projects: The Strategic Decision of Fuzzy VIKOR", *International Journal of Production Economics*, 120(1), 233-242.
- Çakır, S. (2016). "Selecting Appropriate ERP Software Using Integrated Fuzzy Linguistic Preference Relations – Fuzzy TOPSIS Method", *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 9(3), 433. <https://doi.org/10.1080/18756891.2016.1175810>
- Dash, S., Dash, K.K. ve Choudhury, S. (2023). "Evaluation and Selection of Large Cardamom Supply Chain Using Fuzzy Logic Based Decision-Making Model", *Journal of Food Process Engineering*, 46(3), e14266. <https://doi.org/10.1111/jfpe.14266>
- Debnath, A., Roy, J., Kar, S., Zavadskas, E. ve Antucheviciene, J. (2017). "A Hybrid MCDM Approach for Strategic Project Portfolio Selection of Agro By-Products", *Sustainability*, 9(8), 1302. <https://doi.org/10.3390/su9081302>
- Deste, M., Ekinci, Ş. ve Savaşkan, A.G. (2021). "Kuru Kayısı Sektöründeki İşletmelerde Bulanık TOPSIS ile Tedarikçi Seçimi", *Sakarya İktisat Dergisi*, 10(4), SS. 449-466
- Doğan, H. (2022). "DEMATEL ve COPRAS Yöntemleri ile Tedarikçi Seçimi: Hazır Giyim Sektöründe Bir Uygulama", *Tekstil ve Mühendis*, 29(127), 150-160. <https://doi.org/10.7216/1300759920222912705>
- Ecer, F. (2007). "Üyelik Fonksiyonu Olarak Üçgen Bulanık Sayılar Mı Yamuk Bulanık Sayılar Mı?", *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 9(2), 161-180.
- Erdem, M.B., Göksu, N. ve Doğan, N.Ö. (2023). "An Integrated Model Approach with Fuzzy Multi Criteria Decision Making Methods for the Selection of Third Party Logistics Firm in THE Food Industry", *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 10(1), 57-80. <https://doi.org/10.30798/makuiibf.979840>
- Fallahpour, A., Yazdani, M., Mohammed, A. ve Wong, K.Y. (2021). "Green Sourcing in the Era of Industry 4.0: Towards Green and Digitalized Competitive Advantages", *Industrial Management & Data Systems*, 121(9), 1997-2025. <https://doi.org/10.1108/IMDS-06-2020-0343>
- Frej, E.A., Roselli, L.R.P., Araújo De Almeida, J. ve De Almeida, A.T. (2017). "A Multicriteria Decision Model for Supplier Selection in a Food Industry Based on FITradeoff Method", *Mathematical Problems in Engineering*, 2017(1), 4541914. <https://doi.org/10.1155/2017/4541914>
- Güler, D. ve Saner, G. (2020). "Süt Sığırcılığı İşletmelerinde Yem Tedarikçi ve Süt Alıcı Tercihlerinin Belirlenmesi: İzmir ve Manisa Örneği", *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 17(2), 207-214. <https://doi.org/10.25308/aduziraat.714007>

- Hajiaghaei-Keshteli, M., Cenk, Z., Erdebili, B., Selim Özdemir, Y. ve Gholian-Jouybari, F. (2023). "Pythagorean Fuzzy TOPSIS Method for Green Supplier Selection in the Food Industry", *Expert Systems with Applications*, 224, 120036. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120036>
- Hsieh, T., Lu, S. ve Tzeng, G. (2004): "Fuzzy MCDM Approach for Planning and Design Tenders Selection in Public Office Buildings", *International Journal of Project Management*, 22(7), 573-584.
- Hwang, C.L. ve Yoon, K. (1981) "Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications", Springer-Verlag, New York. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9>
- İkinci, M., ve Tipi, T. (2022). "Food Supplier Selection in the Catering Industry Using the Analytic Hierarchy Process", *Food Science and Technology*, 42, e48420. <https://doi.org/10.1590/fst.48420>
- Kalan, O. (2023). "Dolum Hattı Makineleri için AHP ve TOPSIS Yöntemine Dayalı Tedarikçi Seçimi", *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 38(4), 967-980
- Kaplan, S.N., Üner, Ü.C., Danişan, T. ve Eren, T. (2022). "Süt ve Süt Ürünleri İçin Uygun Depo Yeri Seçimi", *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(1), 13-143. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.1103493>
- Kazançoğlu, Y., Ozturkoglu, Y., Mangla, S.K., Ozbiltekin-Pala, M. ve Ishizaka, A. (2023). "A Proposed Framework for Multi-Tier Supplier Performance in Sustainable Supply Chains", *International Journal of Production Research*, 61(14), 4742-4764. <https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2025942>
- 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.
- Khan, A.U. ve Ali, Y. (2021). "Sustainable Supplier Selection for the Cold Supply Chain (CSC) in The Context of A Developing Country", *Environment, Development and Sustainability*, 23(9), 13135-13164. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-01203-0>
- Lau, H., Nakandala, D. ve Shum, P.K. (2018). "A Business Process Decision Model for Fresh-Food Supplier Evaluation", *Business Process Management Journal*, 24(3), 716-744. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-01-2016-0015>
- Leong, W.Y., Wong, K.Y. ve Wong, W.P. (2022). "A New Integrated Multi-Criteria Decision-Making Model for Resilient Supplier Selection", *Applied System Innovation*, 5(1), 8. <https://doi.org/10.3390/asi5010008>
- Liu, Y., Eckert, C., Yannou-Le Bris, G. ve Petit, G. (2019). "A Fuzzy Decision Tool to Evaluate the Sustainable Performance of Suppliers in An Agrifood Value Chain", *Computers & Industrial Engineering*, 127, 196-212. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.12.022>
- Lizot, M., Trojan, F. ve Afonso, P. (2021). "Combining Total Cost of Ownership and Multi-Criteria Decision Analysis to Improve Cost Management in Family Farming", *Agriculture*, 11(2), 139. <https://doi.org/10.3390/agriculture11020139>
- Magableh, G.M. (2023). "Evaluating Wheat Suppliers Using Fuzzy MCDM Technique", *Sustainability*, 15(13), 10519. <https://doi.org/10.3390/su151310519>
- Mavi, R.K., Goh, M. ve Zarbakhshnia, N. (2017). "Sustainable Third-Party Reverse Logistic Provider Selection with Fuzzy SWARA and Fuzzy MOORA in Plastic Industry", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 91, 5-8.
- Miranda-Ackerman, M. A., Azzaro-Pantel, C., Aguilar-Lasserre, A. A., Bueno-Solano, A. ve Arredondo-Soto, K.C. (2019). "Green Supplier Selection in the Agro-Food Industry with Contract Farming: A Multi-Objective Optimization Approach", *Sustainability*, 11(24), 7017. <https://doi.org/10.3390/su11247017>
- Mohammed, A., Bai, C., Channouf, N., Ahmed, T.A. ve Mohamed, S.M. (2023). "G-Resilient Multi-Tier Supplier Selection and Order Allocation in Food Industry: A Hybrid Methodology", *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*, 10(1), 2195055. <https://doi.org/10.1080/23302674.2023.2195055>
- Nie, S., Liao, H., Wu, X. ve Xu, Z. (2019). "Green Supplier Selection With A Continuous Interval-Valued Linguistic TODIM Method", *IEEE Access*, 7, 124315-124328. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2937994>
- Opricovic, S. (2011). "Fuzzy VIKOR With An Application to Water Resources Planning", *Expert Systems with Applications*, 38(10), 12983-12990.
- Opricovic, S. ve Tzeng, G. (2004): "Compromise Solution by MCDM Methods: A Comparative Analysis of VIKOR and TOPSIS", *European Journal of Operational Research*, 156(2), 445-455.
- Öztürk, D., ve Tekin, M. (2021). "Hammadde Tedarikçi Seçiminde AHP-TOPSIS Yöntemlerinin Kullanılması ve Gıda Sektöründe Bir Uygulama", *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 25(2), 411-432.
- Öztürk, M. ve Paksoy, T. (2020). "Yeşil Tedarikçi Seçimi İçin Birleştirilmiş Bir DEMATEL-QFD-AT2 BAHF Yaklaşımı", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35(4), 2023-2044. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.525762>

- Rezaei, J., Nispeling, T., Sarkis, J. ve Tavasszy, L. (2016). "A Supplier Selection Life Cycle Approach Integrating Traditional and Environmental Criteria Using the Best Worst Method", *Journal of Cleaner Production*, 135, 577-588. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.125>
- Sarıoğlu, M. ve Arslan, K. (2020). "Yiyecek İçecek İşletmelerinde MOORA Yöntemi İle Tedarikçi Seçiminin Uygulanabilirliği", *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 19(73), 254-270. <https://doi.org/10.17755/esosder.529386>
- Sumrit, D. (2020). "Supplier Selection For Vendormanaged Inventory in Healthcare Using Fuzzy Multi-Criteria Decision-Making Approach", *Decision Science Letters*, 9(2), 233-256.
- Sureeyatanapas, P. ve Damapong, K. (2024). "Performance Assessment and Comparison of Online Food Delivery Service Providers Based Upon the Aggregated Perspectives of Restaurant Operators", *Expert Systems with Applications*, 236, 121262. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121262>
- Şahin Macit, N. (2023). "Tedarikçi Seçimi Probleminin AHP Temelli MAIRCA Yöntemi İle Çözümü", *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 37, 42-63. <https://doi.org/10.20875/makusobed.1195851>
- Şekerci, A.Z., Yazicioğlu, O. (2019). "AHP Yöntemi İle Tedarikçi Seçimi: Gıda Sektöründe Bir Uygulama", *Al-Farabi International Journal on Social Sciences*, 3(2), 23-41
- Thanh, N.V., ve Lan, N.T.K. (2022). "A New Hybrid Triple Bottom Line Metrics and Fuzzy MCDM Model: Sustainable Supplier Selection in the Food-Processing Industry", *Axioms*, 11(2), 57. <https://doi.org/10.3390/axioms11020057>
- Tian, Z-P., Zhang, H-Y., Wang, J-Q. ve Wang, T-L. (2018). "Green Supplier Selection Using Improved TOPSIS and Best-Worst Method Under Intuitionistic Fuzzy Environment", *Informatica*, 29(4), 773-800. <https://doi.org/10.15388/Informatica.2018.192>
- Tirkolaee, E.B., Dashtian, Z., Weber, G-W., Tomaskova, H., Soltani, M. ve Mousavi, N.S. (2021). "An Integrated Decision-Making Approach for Green Supplier Selection in an Agri-Food Supply Chain: Threshold of Robustness Worthiness", *Mathematics*, 9(11), 1304. <https://doi.org/10.3390/math9111304>
- Verdecho, M-J., Alarcón-Valero, F., Pérez-Perales, D., Alfaro-Saiz, J-J. ve Rodríguez-Rodríguez, R. (2021). "A Methodology to Select Suppliers to Increase Sustainability within Supply Chains". *Central European Journal of Operations Research*, 29(4), 1231-1251. <https://doi.org/10.1007/s10100-019-00668-3>
- Wang, C-N., Nguyen, V.T., Thai, H.T.N., Tran, N.N. ve Tran, T.L.A. (2018). "Sustainable Supplier Selection Process in Edible Oil Production by a Hybrid Fuzzy Analytical Hierarchy Process and Green Data Envelopment Analysis for the SMEs Food Processing Industry", *Mathematics*, 6(12), 302. <https://doi.org/10.3390/math6120302>
- Wang, C-N., Tsai, H-T., Nguyen, V.T. ve Huang, Y-F. (2020). "A Hybrid Fuzzy Analytic Hierarchy Process and the Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution Supplier Evaluation and Selection in the Food Processing Industry", *Symmetry*, 12(2), 211. <https://doi.org/10.3390/sym12020211>
- Wang, Y-L., ve Liao, C-N. (2023). "Assessment of Sustainable Reverse Logistic Provider Using the Fuzzy TOPSIS and MSGP Framework in Food Industry", *Sustainability*, 15(5), 4305. <https://doi.org/10.3390/su15054305>
- Yazdani, M., Pamucar, D., Chatterjee, P., Torkayesh, A.E. (2022). "A Multi-Tier Sustainable Food Supplier Selection Model Under Uncertainty". *Operations Management Research*, 15(1-2), 116-145. <https://doi.org/10.1007/s12063-021-00186-z>
- Zadeh, L. A. (1965). "Fuzzy Sets", *Information and Control*, 8(3), 338-353.

İşyeri İnovasyonu Ölçeği: Geçerlik ve Güvenirlik Çalışması

Abdullah Zübeyr Akman¹ 

ÖZET

Amaç: Bu çalışmanın amacı, McMurray ve diğerleri (2023) tarafından “Measuring Workplace Innovation: Scale Development” adlı çalışmalarında geliştirdikleri “İşyerinde İnovasyon Ölçeğinin” Türkçe geçerlik ve güvenilirlik analizlerinin yapılarak literatüre kazandırılmasıdır.

Yöntem: Ele alınan ölçeğin dil geçerliğinin sağlanması için ilgili uzmanlarca 24 ifade Türkçeye çevrilmiş, daha son alan uzmanlarınca kontrol edilerek anket yöntemi vasıtasıyla veri toplanması aşamasına geçilmiştir. Bu kapsamda toplamda 360 katılımcıdan veri toplanmıştır. Çalışma kapsamında açıklayıcı faktör analizi, doğrulayıcı faktör analizi, Fornell Larcker analizi, yakınsak ve ıraksak geçerlik analizleri ve korelasyon analizleri yapılmış ve ayrıca model uyum indekslerine bakılmıştır.

Bulgular: Türkçeye uyarlanan ölçekteki alt boyutlar, orijinal ölçekte yer alan alt boyutlarla uyumlu çıkmıştır ve alt boyutlar sırasıyla şöyledir: Bireysel İnovasyon (Bİ), İşyeri İnovasyon İklimi (İİİ), Ekip İnovasyonu (Eİ) ve Örgütsel İnovasyon (Öİ) alt boyutu. Bu kapsamda ölçek, 4 alt boyut ve 24 ifadeden oluşmaktadır.

Özgünlük: Çalışma kapsamında gerçekleştirilen analizlerle ölçeğin geçerli ve güvenilir olduğu ve Türkçe literatürde kullanılabileceği öngörülmektedir. Araştırmanın özgün yanı ele alınan ölçeğin daha önce yerli literatürde geçerlik ve güvenilirlik çalışmasını yapan başka bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Anahtar Kelimeler: İnovasyon, İşyerinde İnovasyon, Ölçek Uyarlama, Geçerlik ve Güvenirlik.

JEL Kodları: M10, M12, O31.

Workplace Innovation Scale: Validity and Reliability Study

ABSTRACT

Purpose: The purpose of this study is to analyze the Turkish validity and reliability of the ‘Workplace Innovation Scale’ developed by McMurray et al. (2023) in their study titled ‘Measuring Workplace Innovation: Scale Development’.

Method: To ensure the language validity of the scale, 24 statements were translated into Turkish by the relevant experts, then checked by the field experts and the data collection phase was started through the questionnaire method. In this context, data were collected from 360 participants in total. Within the scope of the study, explanatory factor analysis, confirmatory factor analysis, Fornell Larcker analysis, convergent and divergent validity analyses, and correlation analyses were conducted, and model fit indices were also examined.

Results: The sub-dimensions in the scale adapted into Turkish were compatible with the sub-dimensions in the original scale and the sub-dimensions are as follows: Individual Innovation (II), Workplace Innovation Climate (WIC), Team Innovation (TE) and Organizational Innovation (OI). In this context, the scale consists of 4 sub-dimensions and 24 statements.

Originality: Based on the analyses conducted within the scope of the study, it is predicted that the scale is valid and reliable and can be used in the Turkish literature. The originality of the study is that there is no other study that has conducted a validity and reliability study of the scale in the domestic literature.

Keywords: Innovation, Workplace Innovation, Scale Adaptation, Validity and Reliability.

JEL Codes: M10, M12, O31.

¹ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Ereğli Kemal Akman MYO, Finans, Bankacılık ve Sigortacılık Bölümü, Konya, Türkiye

Sorumlu Yazar-Corresponding Author: Abdullah Zübeyr Akman, azakman@erbakan.edu.tr

DOI: 10.51551/verimlilik.1469075

Araştırma Makalesi / Research Article | Geliş / Submitted: 16.04.2024 | Kabul / Accepted: 06.11.2024

Atıf/Cite: Akman, A.Z. (2025). “İşyeri İnovasyonu Ölçeği: Geçerlik ve Güvenirlik Çalışması”, *Verimlilik Dergisi*, 59(2), 289-302.

EXTENDED ABSTRACT

In contexts characterized by competition and unpredictability, innovation represents a pivotal concept, one that is instrumental in bolstering organizational efficiency and sustainability. The concept of workplace innovation, a subset of innovation, is concerned with the examination of individual, team and organizational dynamics with a view to improving processes, culture and outcomes. The objective of this study is to adapt the "Workplace Innovation Scale," developed by McMurray et al. (2023), into Turkish and evaluate its validity and reliability, thereby addressing a notable gap in the Turkish literature.

It is of paramount importance to ensure that scales are adapted in order to guarantee cultural and contextual relevance. Despite the growing emphasis on workplace innovation in global contexts, there was a notable absence of a validated tool in Turkish. The objective of this study is to introduce a comprehensive scale for evaluating workplace innovation in Turkish organizations, thereby facilitating its application in measuring and enhancing innovation processes across a range of industries.

A quantitative research design was employed. The scale was translated by language experts and field specialists, after which data were collected from 360 participants in industrial firms. Analytical methods included Exploratory Factor Analysis (EFA), Confirmatory Factor Analysis (CFA), Fornell-Larcker analysis for validity checks, and correlation assessments. Model fit indices were also evaluated to confirm the scale's robustness.

The adapted scale was found to retain its original four dimensions. Individual Innovation; the scale is designed to assess personal creativity and proactive problem-solving. The concept of the "workplace innovation climate" is defined as follows; it assesses the extent to which the organizational environment is conducive to innovation. Team Innovation; the focus is on collaborative innovation efforts. Organizational Innovation; this assessment evaluates the structural and procedural factors that facilitate innovation.

EFA revealed that the Turkish version accounts for 65.6% of the total variance, with strong reliability scores (Cronbach's alpha = 0.904). The confirmatory factor analysis (CFA) confirmed the model's structure, achieving satisfactory fit indices, including the chi-squared to degree of freedom ratio (CMIN/df) of 1.849 and the root mean square error of approximation (RMSEA) of 0.049.

The study validates the "Workplace Innovation Scale" for use in Turkey, offering a reliable tool for measuring innovation at multiple organizational levels. The findings demonstrate the scale's utility for both academic and practitioner audiences in the assessment and promotion of innovation strategies. It would be beneficial for future research to test the scale in a variety of sectors and cultural contexts in order to enhance its generalizability. Furthermore, the utilization of this scale in longitudinal studies could facilitate the acquisition of insights into the evolution of workplace innovation practices over time.

1. GİRİŞ

İnovasyon (yenilik) kavramı, bireylerin ve kurumların ortaya yeni bir şeyler çıkarması ve rekabette öne geçebilmek için önemli bir kavramdır. Tarihsel süreçte de yeni bir şey üretmek ya da yeni bir şeyin peşinden gitmek insanlık için önemli bir adım olarak görülmüştür. Bu bağlamda da günümüzde kuruluşlar hızla değişen aşırı rekabetçi ve öngörülemez bir ortamda faaliyet göstermekte ve rekabet etmektedir. Bu koşullarda rekabet gücünü geliştirmek için inovasyonun başarısının çok önemli ve zorunlu olduğu iddia edilmektedir (Prus ve diğerleri, 2017; Tushman ve O'Reilly, 1996). İnovasyon kavramına da bu bağlamda bakıldığında hem bireyler hem de şirketler ve hükümetler için oldukça önemli bir kavram olarak karşımızda durmaktadır. Yine bu kapsamda işyerlerinde yapılan inovasyona da (işyerinde inovasyon) son zamanlarda ayrı bir önem verilmeye başlanmıştır (McMurray ve diğerleri, 2023; Prus ve diğerleri, 2017). Özellikle örgütlerin etkin ve verimli bir şekilde işlemesi ve örgüt içerisindeki çalışan davranışlarının inovatif bir bakış açısıyla yeniden tasarlanması için teknolojik gelişmeler işyerinde gerçekleşen inovasyon önemli bir noktada durmaktadır (Avunduk ve İçen, 2023).

İşyerinde inovasyon, günümüzün rekabetçi iş ortamında hayati bir kavramdır ve sürekli gelişim ve ilerleme için kilit bir itici güç olarak kabul edilmektedir. İşletmelerin mevcut durumlarını sorgulamalarını ve yeni fikirler, ürünler, süreçler veya hizmetler yaratmak için yenilikçi çözümler geliştirmelerini içerir (Alım, 2024). İnovasyon teknolojik ilerlemelerle sınırlı değildir; iş kültürü, iş birliği yöntemleri ve müşteri ilişkileri gibi alanlarda da yenilik getirebilir. İşyerinde inovasyon, rekabet avantajı sağlamanın yanı sıra maliyet tasarrufu, verimlilik artışı ve müşteri memnuniyeti gibi bir dizi fayda da getirebilir. Ancak inovasyon süreci sadece yeni fikirlerin üretilmesini değil, aynı zamanda bunların başarılı bir şekilde uygulanmasını ve değere dönüştürülmesini de gerektirir. Bu nedenle, işyerinde inovasyonun teşvik edilmesi ve desteklenmesi, işletmelerin sürdürülebilir başarıya ulaşmasında kritik bir rol oynamaktadır.

Bu çalışmada McMurray ve diğerleri (2023) tarafından "Measuring Workplace Innovation: Scale Development" adlı çalışmada geliştirdikleri işyerinde inovasyon ölçeğinin Türkçeye uyarlanması gerçekleştirilmiştir. Türkçe literatür tarandığı zaman işletmeler açısından inovasyon sürecini ortaya koyan bir ölçek çalışmasına rastlanılmamıştır. Ortaya konulan uyarlama süreci, ölçeğin Türkçe konuşan bireyler arasında geçerlilik ve güvenilirlik açısından uygun olup olmadığını değerlendirmeyi hedeflemektedir. Çalışma ayrıca, bu ölçeğin Türk iş dünyasında inovasyon süreçlerini ölçmek ve değerlendirmek için kullanılabilirliğini test etmeyi amaçlamaktadır.

Çalışma, önceki araştırmaların kapsamlı bir değerlendirmesini içeren literatür taraması bölümü, araştırmacının dayandığı nicel yöntemlerin ve uygulanan analiz tekniklerinin ayrıntılı olarak sunulduğu yöntem bölümü, analizler sonucunda elde edilen bulguların titizlikle yorumlandığı bulgular bölümü ve araştırmacının bulguları doğrultusunda geliştirilen sonuçlar ve politika veya uygulama önerilerinin ele alındığı sonuç ve öneriler bölümlerinden oluşmaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1. İşyerinde İnovasyon

İnovasyon kavramı, temel olarak Schumpeter'e kadar götürülmektedir. Schumpeter, yaratıcı yıkım ve yenilik temelli bir anlayışla "inovasyon" kavramına ulaşmıştır (Gilbert, 2006). İşyeri inovasyonunun genel olarak inovasyondan farklı bileşenlere sahip olması beklenebilmektedir. İnovasyon gerçekleştirmek ve yönelmek, işletmelerin daha iyi performans göstermelerine yardımcı olacak etkili bir strateji olarak uzun zamandır literatürde kabul görmektedir. İnovasyon, yeni ve benzersiz olanı benimseyen şirketlere anlamlı değer sağlayan fikirlerin, ürünlerin, süreçlerin veya hizmetlerin ortaya çıkartılması veya uygulanması anlamına gelmektedir (Damanpour ve Wischnevsky, 2006; Yusof ve diğerleri, 2023).

'İşyeri' kavramı hem yakın çalışma ortamı hem de bir bütün olarak işletme/örgüt olarak tanımlanır ve işin 'iş organizasyonu' olarak seçilmiş bir iş bölümüne göre yürütüldüğü ortamdır. İşyerinde inovasyon kavramında 'inovasyon' terimi, bunu uygulayan kuruluş için bir yenilenme anlamına gelmektedir (Oeij ve diğerleri, 2015: 12). Kavram, inovasyonun işletmelerce benimsenmesi, ortaya atılan yeni fikirlerin veya davranışların üretilmesi, iletilmesi ve nihayetinde tüm bunların uygulanmasını kapsayacak şekilde düşünülmüştür. Bir inovasyon süreci, yeni bir ürün veya hizmet, yeni bir üretim süreci teknolojisi, yeni bir yapı veya idari sistem ya da örgüt üyelerine ilişkin yeni bir plan veya program olabilir (Prus ve diğerleri, 2017). Dolayısıyla inovasyon kavramı, inovasyonu benimseyen işletme için "yeni olan, kurum içinde üretilen veya satın alınan bir cihaz, sistem, politika, program, süreç, ürün veya hizmetin benimsenmesi" olarak tanımlanmaktadır (Daft, 1978, Damanpour, 1991; Damanpour ve Evan, 1984). Bu kapsamda işyerlerinde gerçekleştirilen inovasyon kavramı da tüm bu süreçleri kapsamaktadır. Çünkü inovasyonun benimsenmesi genellikle benimseyen kuruluşun performansına veya etkinliğine katkıda bulunmayı amaçlar (Damanpour, 1991).

İşyeri inovasyonu kavramı literatürde ilk kez 1980'ler ve 1990'larda kurumsal bir çözüm olarak önerilmiştir (Weisskopf, 1987). Weisskopf (1987), ileriye dönük olarak gerçekleştirdiği çalışmada bu kavramı işsizlik ve

şirketlerin üretkenliği arasındaki ilişki üzerine yaptığı bir çalışmada kullanmıştır (Oeij ve diğerleri, 2023). Diğer yandan kavramla alakalı Hi-Res raporu, “işyerinde inovasyon” kavramını ayrıntılı olarak tanımlamaya yönelik bilinen ilk girişimlerden birisidir. Bu girişim, Sosyo-Teknik Sistem Tasarımı ve İskandinav Demokratik Diyaloğu gibi çeşitli geleneklere dayanmaktadır (Gustavsen, 1992: 17).

İnovasyon kavramını işyeri düzeyinde ele alan çalışmalar genellikle işyerindeki çalışanların özellikleri ya da davranışları, işyerinin özellikleri ve fazla olarak işyerindeki faktörler olarak yaklaşmaktadırlar. Daha alt düzeye inildiği zaman ise çalışanlar, örgütün kültürü ve iklimi, stratejiler, yapısı ve yenilik düzeyi/kapasitesi olarak sıralanabilir (King, 1990: 31-33; Koyuncu, 2018: 111). En istikrarlı ortamlar bile değiştiğinden örgütler yenilikleri zaman içinde sürekli olarak benimserler. Bundan dolayı, örgütsel yenilikçilik tekil yenilikler yerine çoklu yenilikler dikkate alındığında daha doğru bir şekilde temsil edilmektedir (Hage, 1980: 389).

İşyeri inovasyonu bireylerin, ekiplerin, yöneticilerin ve kuruluşların çalışma ortamlarının özellikleri bağlamında potansiyel olarak yeni veya yaratıcı şekillerde etkileşime girdiği ve ortaya yeni bir durumun çıkartıldığı durumlarıdır (Prus ve diğerleri, 2017). Bu kapsamda işyerleri inovasyon süreçlerinin ayrılmaz bir parçası kabul edilmektedir (McMurray ve diğerleri, 2023). Diğer yandan işyeri inovasyonu, yaratıcılığı, sürekli gelişimi ve kurumsal zorlukların üstesinden gelmek için yeni fikirlerin benimsenmesini destekleyen bir kültürün teşvik edilmesini içermektedir (Atatsi ve diğerleri, 2024).

OECD, inovasyonu, “iş uygulamalarında, işyeri organizasyonunda veya dış ilişkilerde yeni veya önemli ölçüde iyileştirilmiş bir ürünün (mal veya hizmet) veya sürecin, yeni bir pazarlama yönteminin veya yeni bir organizasyonel yöntemin uygulanması” olarak tanımlamaktadır (OECD/Eurostat, 2005: 46). Bu tanıma benzer bir tanım olarak işyeri inovasyonu kavramı, bireylerin işyerlerindeki inovasyon uygulamalarının davranışsal yönlerini tanımlayan ve ölçen bağlamsal bir psikolojik yapı olarak görülmektedir (McMurray ve diğerleri, 2013). Bir diğer tanımda Hi-Res raporu, işyeri inovasyonunun tanımlayıcı özelliğini, “bir kuruluşun her seviyesindeki çalışanları günlük işlerinde tüm bilgi, beceri, deneyim ve yaratıcılıklarını kullanmaları ve geliştirmeleri için güçlendiren ve yüksek performansla eş zamanlı olarak yüksek çalışma yaşamı kalitesine yol açan iş ve uygulamaların yaratılması” olarak özetlemiştir (Totterdill ve diğerleri, 2002: 6). Son olarak başka bir tanıma göre işyerinde inovasyon, “yeni sosyal değer getirmek amacıyla işyerlerinin yapısal, örgütsel, kültürel ve deneyimsel özelliklerini değiştiren kasıtlı kapsamlı bir yenileme süreci” olarak tanımlanmıştır (Prus ve diğerleri, 2017).

Literatürde “işyerinde inovasyon” kavramıyla ilgili olarak önceden yayımlanmış dört editörlü kitap, dört adet özel sayısı çıkmış bilimsel dergi, dört literatür taraması makalesi yazılmış ve 2015 yılında “Avrupa İşyeri İnovasyonu Dergisi” yayın hayatına başlamıştır (Oeij ve diğerleri). 2024 Nisan ayı itibarıyla “workplace innovation” şeklinde arama sonucunda Web of Science (WoS) veri tabanında 151 çalışma, Scopus veri tabanında ise 245 çalışma bulunmuştur. Çalışma sayıları bakımından son yıllarda artmaktadır. Yine literatürde son dönemde gerçekleştirilen dört sistematik çalışma ön plana çıkmaktadır. İlk olarak Almeida ve Moreira (2022) sistematik literatür taraması gerçekleştirmiştir. İşyerinde inovasyonu güçlendiren belirleyiciler nelerdir ve birbirlerine bağımlılıkları nelerdir? araştırma sorusundan hareketle, beş belirleyici olarak kümeledikleri 38 konu belirlemişlerdir: Örgütsel dinamikler, İKY, İş birliği, bilgi teknolojisi altyapıları ve diğer kolaylaştırıcılar. Bir diğer çalışmada Prus ve diğerleri, (2017) işyerinde inovasyonu ontolojik, epistemolojik ve teorik yönlerini ayırtırmak istemiştir. Çalışmaları araştırma geleneklerine göre kümelemişler ve çalışma sistemi, işyeri demokrasisi, yüksek teknoloji uygulaması, işyeri sınırları, çalışma alanları, insan uygulamaları, işyeri deneyimi ve işyeri kültürü olmak üzere sekiz işyeri boyutu belirlemişlerdir. Üçüncü çalışma Weerakoon ve McMurray (2021) tarafından bibliyometrik analiz temel alınarak bu disiplinin ilgi alanındaki en etkili 17 yayını belirlemek için kullanılan bir atıf analizi çalışmasıdır. Yüksek düzeyde bağlantılı bu 17 yayın, işyerinde inovasyon literatüründe altı ana bilgi kümesinin varlığına işaret etmiştir: (1) Liderlik, örgüt kültürü ve işyerinde inovasyon, (2) iş organizasyonu biçimleri, iş kalitesi ve istihdam, (3) çalışanların işyerinde inovasyona katılımı, (4) mesleki stres, (5) iş güvenliği ve sağlığı inovasyonu ve (6) organizasyonun sosyal yönlerinde inovasyon. Son olarak Oeij ve diğerleri (2024) tarafından gerçekleştirilen çalışmada yazarlar kavrama işlerin ilerlemesi ve bunun örgütsel performansa yansması olarak bakmışlardır. Diğer yandan kavrama insan odaklı bir yaklaşım sergileyerek kavramı teknik ve sosyal sistemlerin bir bütünü olarak görmüşlerdir. Yine çalışmada kavramın dört ana akım çerçevesinde yaklaşmışlardır: sosyoloji ve organizasyon araştırmaları, güvenlik bilimi ve organizasyon araştırmaları, ekonomik strateji ve insan kaynakları araştırmaları ve psikoloji ve davranış araştırmaları. Son olarak çalışmada işyerinde inovasyon sürecine teknoloji, örgüt ve personel (TÖP) modeli çerçevesinde bakmışlardır. Bir diğer bakış açısında ise Atatsi ve diğerleri (2024), sağlık sektöründe gerçekleştirdikleri çalışmada tıp profesyonellerinin, özellikle de ön saflarda bakım veren hemşirelerin, başarılı bir sağlık hizmeti sunumu sağlamak için standartların uyarlanması ve modernize edilmesinin yanı sıra yeni teknik ve süreçlerin uygulanmasında rol almaları gerektiğini vurgulamışlardır. Benzer şekilde, hemşireler arasında iş yerinde inovasyonu anlamak ve teşvik etmek sadece hasta bakımını iyileştirmek için değil, aynı zamanda daha geniş sağlık sistemi sorunlarının üstesinden gelmek için de gerekli olduğunu belirtmişlerdir. Bu sebeple işyerinde inovasyona ayrı bir önem vermişlerdir.

İşyeri inovasyonu, iş organizasyonu, insan kaynakları yönetimi (İKY) ve destekleyici teknolojiler alanlarında, örgütsel performansın ve çalışanların çalışma yaşamı kalitesinin aynı anda iyileştirilmesini hedefleyen süreçlerin tümü tanımlanmaktadır (Pot, 2011). İşyeri inovasyonu, hızla büyüyen şirket ve pazarlarda yeni ürünler, süreçler ve hizmetlerle rekabette öne geçmek için yararlanılan bir kavramdır. Özellikle dijital dönüşümün yaşandığı çağda birçok kuruluş için stratejik bir mekanizma olarak kabul edilmektedir (Ghosh, 2014). Bir diğer tanım, işyeri inovasyonu, ürünlerin, süreçlerin ve hizmetlerin geliştirilmesini ve iyileştirilmesini sağlayarak eş zamanlı olarak kurumsal performansta iyileşmeye yol açan bir sistemdir (Wipulanusat ve diğerleri, 2017).

İşyerilerindeki örgütsel yapı ve bütünlük, işletmelerin rekabet etme ve yenilik yapma kapasitelerinde önemli bir rol oynamaktadır. Çalışanların işyerlerinde öne çıktıkları özellikleri işlerini en iyi şekilde yapmak ve işlerini geliştirmektir. Bu tür işletmelerde katılımcı karar vermek, her düzeyde girişimciliğin teşvik edilmesi, yeniliklerin ödüllendirilmesi ve cesaretlendirilmesi ön plana çıkan unsurlardır. Ortaya çıkan kanıtlar, işyeri inovasyonunun hem kurumsal performansta hem de çalışan bağlılığı ve refahında önemli ve sürdürülebilir iyileşmelere yol açtığını göstermektedir. Üretken organizasyon işyeri inovasyonu uygulamalarının üretkenlik, üretim kalitesi, müşteri hizmetleri, finansal performans ve kârlılık ile çok çeşitli diğer performans sonuçları üzerindeki etkisine ilişkin çok sayıda kanıt bulunmaktadır (Totterdill ve diğerleri, 2016: 4).

İnovasyonun hem işletmelerce hem de ülkelerce önemli olduğun ve dijital dönüşüm ekseninde inovasyon süreçlerinin daha farklı bir düzeyde gerçekleştirildiği göz önünde bulundurulduğu zaman (Robertson ve Lapiņa, 2023), işyerinde inovasyon kavramının inovasyon kavramından ayrılarak daha farklı bir yerde konumlanacağı, işyerleri ve örgütler için oldukça önem arz edeceği ve ileride bu kavrama ait çalışmaların artacağı düşünülmektedir. Bu kapsamda bu alanda bir ölçek uyarlama çalışmasına karar verilmiştir.

Bu çalışma, Türkçe literatürde işyerinde inovasyon sürecini ele alan ve işyerinde inovasyonu ölçmeye yönelik kapsamlı bir ölçek sunan eksikliği gidermeye yönelik bir katkı sunmaktadır. Bu uyarlama çalışması, Türkiye’de işyerinde inovasyonun teşvik edilmesi ve izlenmesine yönelik politika geliştirme ve uygulama süreçlerine akademik bir katkı sunmayı amaçlamaktadır. Ayrıca, bu ölçek sayesinde Türkiye’deki işletmeler, inovasyon süreçlerini daha nesnel bir yaklaşımla ölçebilecek ve bu süreçlerin gelişimini izleyebilecektir. Dolayısıyla, bu çalışma hem literatürdeki boşluğu doldurmakta hem de uygulayıcıların inovasyon stratejilerini daha etkili bir şekilde yapılandırılmalarına olanak tanımaktadır.

2.2. Konuyla İlgili Önceki Ölçek Çalışmaları

Hurt ve diğerleri (1977) tarafından geliştirilen “bireysel yenilikçilik ölçeği” Türkçeye Kılıçer ve Odabaşı (2010) tarafından uyarlanmıştır. Çalışma 343 üniversite öğrencisi üzerinde gerçekleştirilmiş olup ölçek toplam 20 maddeye sahiptir 4 farklı alt boyuttan oluşmaktadır. Aynı ölçeğin bir diğer Türkçeye uyarlanma çalışması ise Sarioğlu Kemer ve Altuntaş (2017) tarafından hemşirelik mesleği üzerinden gerçekleştirilmiştir. Buna göre ölçek 18 madde ve 3 alt boyuttan oluşmaktadır.

İsmail ve diğerleri (2002) tarafından ortaya konulan örgütsel inovasyon ölçeği “İnovasyon/Çevre, İnovasyon/Liderlik, İnovasyon/Kişisel, Geribildirim/Çevre, Geribildirim/Kişisel, Geribildirim/Kişilerarası ve Kanıta dayalı Öğrenme” olmak üzere yedi alt boyut ve 33 ifadeden oluşmaktadır. Ölçek Türkçe literatüre (Koyuncu 2018) tarafından uyarlanmıştır.

Wipulanusat ve diğerleri (2017), işyeri inovasyonu konusunda ölçek geliştirme çalışması gerçekleştirmişlerdir. Bu kapsamda çalışma Avustralya Milletler Topluluğu departmanlarındaki 3.125 mühendislik uzmanı üzerinde yürütülmüştür. Yazarlar, toplam varyansın %69,1 açıklandığı iki faktörlü bir işyeri inovasyonu ölçeği elde etmişlerdir. Bu iki faktör ise takım inovasyonu ve bireysel inovasyondur.

3. YÖNTEM

3.1. Veri Toplama Aracı

Bu çalışma kapsamında araştırma yöntemlerinden nicel yöntem tercih edilmiştir. Ayrıca veri toplamak için nicel yöntemlerden anket tekniği kullanılmıştır. Araştırmanın ölçek uyarlama sürecinde ilk olarak orijinal ölçek bulunmuş ve ilgili yazarlardan izin alınmıştır. Daha sonra İngilizce dilinde olan ölçek önce Türkçe dil uzmanlarınca ve alan uzmanlarınca Türkçeye çevrilmiştir. Bu aşamadan sonra ilgili alanda çalışan akademisyenlerce kontrol edildikten sonra ilgili ölçek online platformlar vasıtasıyla katılımcılara gönderilerek veri toplama aşaması gerçekleştirilmiştir.

Araştırma kapsamında veri toplama izni Necmettin Erbakan Üniversitesi Sosyal ve Beşerî Bilimler Bilimsel Araştırmalar Etik Kurulu 10/11/2023 tarih ve 2023/513 Karar No ile alınmıştır.

3.2. Araştırma Evreni ve Örneklemi

Araştırmanın evrenini Ankara ve çevre illerinde faaliyet gösteren en az 50 çalışana sahip sanayii firmaları oluşturmaktadır. Araştırmanın örneklemini ise Ankara ve çevre illerinde en az 50 çalışana sahip ve işyerinde

inovasyon faaliyetlerinde bulunan ve bu kültüre sahip sanayii firmalarından oluşmaktadır. Ankara ve çevre illerin seçilmesinin nedeni, Türkiye'de savunma sanayii faaliyetlerinin bu bölgede toplanması olarak gösterilebilir. Ayrıca bu sektörde Ankara'da 54 firma yer almaktadır. Sektörel büyüklüğün yaklaşık %50'si Ankara ilindeki firmalar oluşturmaktadır (SASAD, 2023: 19). Bu kapsamda ilgili firmalardan toplamda 360 kişiye ulaşılmıştır. Anketler, inovasyon süreçleri içerisinde yer alan çalışanlardan toplanmıştır.

3.3. Araştırma Verilerinin Analizi

Araştırma kapsamında verilerin analizi IBM SPSS 29.0 ve AMOS 24.0 programları vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda önce değişkenlerin güvenilirliğine bakılmış, daha sonra da açıklayıcı faktör analizi (AFA) ve doğrulayıcı faktör analizi (DFA) gerçekleştirilmiştir. Yine Fornell Larcker ayrışma geçerliği analizi ve Korelasyon analizleri yapılmıştır. Son olarak modelin yapı güvenilirliğini ölçmek için CR (Bileşik Güvenirlilik-Composite Reliability) ve birleşme geçerliği için ise AVE (Açıklanan Ortalama Varyans-Average Variance Extracted) değerleri de hesaplanmıştır.

4. BULGULAR

Bu bölümde elde edilen anket sonucunda ortaya çıkan analizlere ve bulgulara yer verilmiştir.

4.1. Demografik Bulgular

Aşağıdaki Tablo 1'de araştırmanın demografik bilgilerine yer verilmiştir. Araştırma kapsamında toplamda 360 kişiye ulaşılmıştır.

Tablo 1. Demografik bilgiler

<i>Değişkenler</i>	<i>Kategori</i>	<i>n</i>	<i>Yüzde (%)</i>
Cinsiyetiniz	Erkek	244	67,8
	Kadın	116	32,2
Medeni Durumunuz	Bekar	102	28,3
	Evli	258	71,7
Yaşınız	18-26	17	4,7
	27-35	102	28,3
	36-44	116	32,2
	45-53	76	21,1
	54+	49	13,6
Eğitim Durumunuz	Lise	48	13,3
	Önlisans	70	19,4
	Lisans	145	40,3
	Lisansüstü	97	26,9
Toplam İş Deneyiminiz	0-5 Yıl	65	18,1
	6-10 Yıl	79	21,9
	11-15 Yıl	141	39,2
	16 Yıl ve Üstü	75	20,8
Faaliyet Gösterilen Sektör	Bilişim Teknolojileri	81	22,5
	Demir-Çelik	44	12,2
	Elektrikli Ev Aletleri	89	24,7
	İnşaat, Yapı ve Kauçuk Ticareti	63	17,5
	Medikal Sanayi	35	9,7
Toplam	Otomotiv Yedek Parça İmalatı ve Ticareti	48	13,3
		360	100.00

Tablo 1'de yer alan demografik bilgilere göre çalışmaya katılan toplam 360 kişiden 244'ü (%67,8) erkek, 116'sı (%32,2) kadındır. Katılımcıların 102'si bekar (%28,3), 258'si evlidir (%71,7). Yaş aralığında en çok katılım 116 kişi ile 36-44 yaş aralığındadır (%32,2). Eğitim durumunda en fazla katılım 145 katılım ile lisans eğitime aittir (%40,3). Toplam iş deneyimi olarak en fazla katılım ise 141 kişi ile 11-15 yıl (%39,2) aralığında yer almaktadır. Son olarak faaliyet gösterilen sektör olarak ise en fazla katılım 89 kişi (%24,7) ile elektrikli ev aletleri sektörüne aittir.

4.2. Açıklayıcı Faktör Analizi (AFA)

Açıklayıcı faktör analizi (AFA), ölçeklere dair örtük olan yapıyı ortaya çıkarmak için kullanılan bir faktör analizi yöntemidir (Brown, 2006: 10). AFA kapsamında ölçeğin KMO değerine ve toplam açıklanan varyans oranına bakılmıştır. Bu kapsamda çalışmada ilgili ölçeğin yapısının ölçümü için AFA gerçekleştirilmiştir. AFA analizi sonuçları Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Ölçeğe ilişkin açıklayıcı faktör analizi bulguları

Alt Boyutların Açıkladığı Varyans						
Alt Boyutlar	Maddeler	Madde Yükleri	Toplam	Açıklanan Varyans %	Kaiser-Meyer-Olkin Testi (KMO)	Cronbach Alpha (α)
Bireysel İnovasyon (Bİ) (6 Madde)	Bi1 Bi2 Bi3 Bi4 Bi5 Bi6	0,722 0,844 0,839 0,766 0,823 0,756	7,827	32,613	0,902	0,904
İşyeri İnovasyon İklimi (İİİ) (8 Madde)	İİİ1 İİİ2 İİİ3 İİİ4 İİİ5 İİİ6 İİİ7 İİİ8	0,761 0,718 0,716 0,744 0,688 0,746 0,706 0,704	3,827	15,948	Barlett Küresellik Testi	
Ekip İnovasyonu (Eİ) (5 Madde)	Eİ1 Eİ2 Eİ3 Eİ4 Eİ5	0,738 0,733 0,780 0,825 0,839	2,667	11,114	Ki-kare (χ^2) =5468,618 Serbestlik derecesi: 276	
Örgütsel İnovasyon (Öİ) (5 Madde)	Öİ1 Öİ2 Öİ3 Öİ4 Öİ5	0,805 0,813 0,778 0,764 0,590	1,424	5,935	p: 0,000	
Toplam: 24 Madde			Toplam Açıklanan Varyans	65,610		

Tablo 2’de gerçekleştirilen AFA analizine göre toplam 24 maddeden oluşan ölçek, orijinaline uygun olarak dört alt boyuta ayrılmıştır. Bu alt boyutlar sırasıyla şöyledir: Bireysel İnovasyon (Bİ) alt boyutu 6 maddeden oluşmaktadır. İşyeri İnovasyon İklimi (İİİ) alt boyutu 8 maddeden oluşmaktadır. Ekip İnovasyonu (Eİ) ve Örgütsel İnovasyon (Öİ) alt boyutları ise 5'er maddeden oluşmaktadır. AFA'ya göre ölçeğin toplam açıklanan varyansı %65,610 çıkmış ve KMO değeri 0,902 olmuştur. Ortaya çıkan değerler ölçeğin faktör analizinin kabul edilebilir değerlerde olduğunu göstermektedir. Ölçeğin güvenirlilik değeri ise 0,904 çıkarak oldukça yüksek düzeyde güvenilir bir ölçek çıkmıştır. AFA analizinden sonra ayrışma geçerliği için Fornell-Larcker analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analizde köşegendeki her bir AVE'nin karekökü ile ilgili satır ve sütunlardaki her bir yapı için korelasyon katsayıları (köşegen dışı) karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Yine çalışma kapsamında yakınsak ve ıraksak geçerlik durumuna da bakılmıştır. Bu kapsamda sonuçlar Tablo 3'te yer almaktadır.

Tablo 3. Yakınsak ve ıraksak geçerlik sonuçları ve korelasyon analizi

İşyeri İnovasyonu Ölçeği	Ortalama	Standart Sapma	AVE	CR	MSV	ASV	1	2	3	4
1. Bireysel İnovasyon (Bİ)	4,184	0,586	0,671	0,924	0,469	0,185	0,819			
2. İşyeri İnovasyon İklimi (İİİ)	4,243	0,536	0,505	0,891	0,047	0,031	0,190**	0,711		
3. Ekip İnovasyonu (Eİ)	3,730	0,874	0,716	0,926	0,469	0,190	0,685**	0,216**	0,846	
4. Örgütsel İnovasyon (Öİ)	3,541	0,928	0,509	0,838	0,053	0,038	0,225**	0,105*	0,230**	0,713

Not: *Korelasyon 0,05 düzeyinde anlamlıdır (2- kuyruklu), **Korelasyon 0,01 düzeyinde anlamlıdır (2- kuyruklu).

CR=Birleşik Güvenirlilik, AVE=Ortalama Açıklanan Varyans, MSV=Maksimum Paylaşılan Varyansın Karesi, ASV=Paylaşılan Varyansın Karesinin Ortalaması.

Tablo 3'e göre Fornell-Larcker kriterinde tüm değişkenlere ait korelasyon katsayıları, aynı sütundaki diğer katsayılardan daha yüksek çıkarak ayrışma geçerliğini sağlamıştır. Diğer yandan Tablo 3'te yakınsak ve ıraksak geçerlik sonuçları ve korelasyon analizi sonuçları da yer almaktadır. Buna göre yakınsak geçerlik için $CR > AVE$, $AVE > ,50$ ve $CR > ,70$ değerlerinin sağlanması gerekir. Ayrıca ıraksak geçerlik için $MSV < AVE$; $ASV < MSV$ ve AVE 'nin karekökünün alt boyutlara ait aynı satır ve sütundaki korelasyondan büyük olması gerekir (Yaşlıoğlu, 2017). Tablo 3'te yer alan sonuçlara göre tüm alt boyutlar için $CR > AVE$, $AVE > ,50$ ve $CR > ,70$ koşulları sağlanarak ölçeğe ait yakınsak geçerlik sağlanmıştır. Diğer yandan yine tüm alt boyutlar için $MSV < AVE$; $ASV < MSV$ ve AVE 'nin karekökünün alt boyutlara ait aynı satır ve sütundaki korelasyondan büyük olması şartı da sağlanarak ıraksak geçerlik şartı yerine getirilmiştir. Sonuç olarak ölçeğe ait yakınsak ve ıraksak geçerlikler sağlanmıştır. Son olarak alt boyutlar arasında korelasyon katsayısı en yüksek alt boyutlar ise B1 ile E1 alt boyutları arasında gerçekleşmiştir ($r=0,685^{**}$, $p=0.01$).

4.3. Doğrulatoryı Faktör Analizi

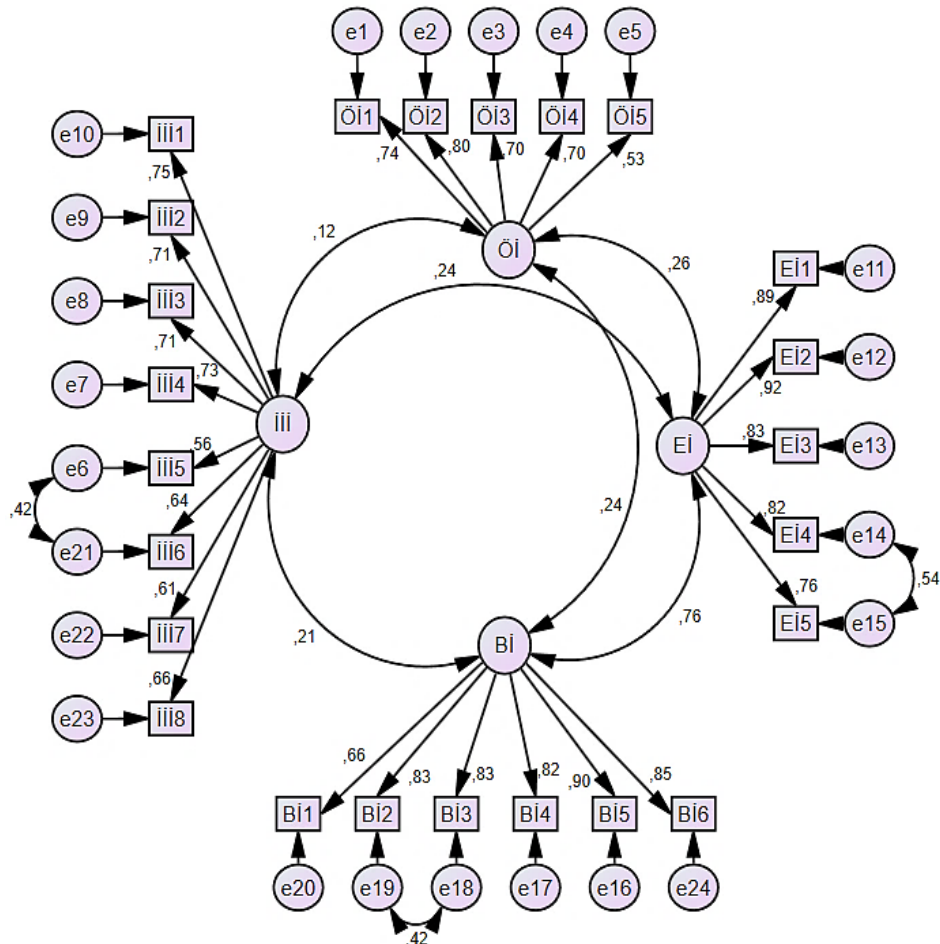
Doğrulatoryı faktör analizi (DFA) ölçeklere ait yapı geçerliğini ölçmek için kullanılan bir analiz yöntemidir. Bu kapsamda çalışma doğrultusunda DFA gerçekleştirilmiştir. Ayrıca yapı güvenirliğini ölçmek için CR (Bileşik Güvenirlik-Composite Reliability) ve birleşme geçerliği için ise AVE (Açıklanan Ortalama Varyans-Average Variance Extracted) değerleri hesaplanmıştır. AVE değerinin 0,50'den, CR değerinin 0,70'ten ve $CR > AVE$ değerlerinin sağlanması gerekmektedir (Fornell ve Larcker, 1981; Rejikumar ve diğerleri, 2019).

Tablo 4'te DFA analizi yapıldıktan sonra ortaya çıkan sonuçlar gösterilmiştir. Bu kapsamda tüm alt boyutlara ilişkin $CR > 0,70$, $AVE > 0,50$ ve $CR > AVE$ durumları karşılanmıştır. Ayrıca tüm alt boyutlara ilişkin faktör yükleri de 0,50'den daha büyüktür. Yine alt boyutlar ayırımında güvenirlik katsayıları da oldukça yüksek çıkmıştır. Bu da alt boyutlar bağlamında ölçeğin güvenilir olduğunu akademik çalışmalarda kullanılabileceğini göstermektedir.

Tablo 4. Doğrulatoryı faktör analizi bulguları

Boyut	Ölçek İfadeleri	Faktör Yükleri	Cronbach Alpha (α)	AVE	CR
Bireysel İnovasyon (B1)	İşimde ara sıra özgünlük sergilerim.	0,656	0,926	0,671	0,924
	İşim yenilikçi kararlar almamı gerektirmektedir.	0,833			
	Kendi fikirlerimin veya projelerimin peşinden gitmek için zaman ayırıyorum.	0,830			
	İşyerimi geliştirmek için sürekli yeni fikirler düşünürüm.	0,824			
	İş arkadaşlarım arasında yeni fikir ve yöntemleri ilk deneyen benimdir.	0,905			
	Patronum ve iş arkadaşlarım beni yaratıcı ve problem çözücü biri olarak görmektedir.	0,847			
İşyeri İnovasyon İklimi (İİ)	İşyerimizde performans ölçümü kişinin problem çözme inisiyatifi ile ilgilidir.	0,746	0,872	0,505	0,891
	İşyerimde bir bireyin performans ölçümü kendi yaratıcılığı ile ilgilidir.	0,709			
	Patronum yaratıcı düşünme konusunda bizim rol modelimizdir.	0,711			
	Patronumla nasıl ilerleyebileceğimi düzenli olarak tartışırım.	0,728			
	Sorunlara yeni fikirler ve yaklaşımlar denemem için bana her zaman fırsat verilir.	0,664			
	Patronum yaratıcı fikirlerimle ilgili bana faydalı geri bildirimler verir.	0,742			
Ekip İnovasyonu (Eİ)	Patronum hatalarımdan ders çıkarmam için bana fırsat verir.	0,714	0,933	0,716	0,926
	Personel toplantılarında kendimi açıkça ifade ederim.	0,664			
	Karmaşık sorunları çözmek için ekipler halinde çalışırız.	0,895			
	İşyerimizde ekipler, izin istemeye gerek kalmadan karar alma ve bu kararlara göre hareket etme özgürlüğüne sahiptir.	0,916			
	Karmaşık sorunları çözmek için ekiplerle birlikte çalışırım.	0,832			
	Şirketimde insanlar güçlü bir üyelik ve destek duygusu hissederler.	0,816			
Örgütsel İnovasyon (Öİ)	Çalışma arkadaşlarım işimizle ilgili belirsizlikleri ve olağandışı durumları hoş karşılarlar.	0,762	0,820	0,509	0,838
	İşyerimizin çalışanlara çok net bir şekilde açıklanmış bir vizyonu vardır.	0,735			
	İşyerimin vizyonu, çalışanların hedeflerini belirlemelerine genellikle yardımcı olur.	0,800			
	İşyerimde inovasyon, iş hedefleriyle bağlantılıdır.	0,697			
	İşyerimizde öğrenme fırsatları sistemler ve prosedürler aracılığıyla oluşturulur.	0,696			
	İşyerimiz, yenilikçi fikirleri düzenli olarak ödüllendirir.	0,629			

Şekil 1’de ölçeğe ait standardize edilmiş doğrulayıcı faktör analizi sonuçlarına yer verilmiştir. Buna göre maddeler arasındaki uyum indeksi değerlerini artırmak için modelde üç tane modifikasyon gerçekleştirilmiştir. Modifikasyon yapılmasının temel nedeni indeksi değerinin daha üst seviyeye çıkartılmasından gelmektedir. Modifikasyon değerleri ne kadar büyük olursa, daha iyi bir uyum için modele eklendiklerinde ilgili ilişkiler o kadar anlamlı olacaktır (Shek ve Yu, 2014). Diğer doğrulayıcı faktör analizinde modifikasyon endekslerinin kullanımı, modelin verilere uyumunu iyileştirecek alternatif yollar sağlamaktadır (Clayton ve Pett, 2008). Bu sayede modelin uyum değeri yükseltilerek daha anlamlı sonuçlar ortaya konabilir. Bu kapsamda İşyeri inovasyon iklimi alt boyutunda İİ5 ve İİ6 maddeleri arasında (0,42), bireysel inovasyon alt boyutunda Bİ2 ve Bİ3 maddeleri arasında (0,42) ve ekip inovasyonu alt boyutunda Eİ4 ve Eİ5 maddeleri arasında (0,54) ilgili modifikasyonlar gerçekleştirilmiştir. Şekil 1’e göre standardize edilmiş katsayılar 0,49 ile 0,92 arasında değer almaktadır. Ele alınan model, Şekil 1’deki standardize edilmiş faktör yüklerine göre anlamlı çıkmıştır ve ölçek bundan sonraki çalışmalarda kullanılabilir değerlerde çıkmıştır. Şekil 1’e göre alt boyutlar arasında belirli bir uyum vardır ve 0,50 değerinin altında bir faktör yükü yoktur. Buna göre ölçek anlamlı kabul edilmiştir.



Şekil 1. Ölçeğe ait doğrulayıcı faktör analizi

Tablo 5’te ilgili ölçeğe ait model uyum indeksleri yer almaktadır. Yapılan analizler sonucunda CMIN/Df değeri 1,849 çıkmıştır. Diğer uyum indeks değerleri ise şöyledir; GFI değeri 0,905; CFI değeri 0,961; NFI değeri 0,920; TLI değeri 0,956; SRMR değeri 0,051, AGFI değeri 0,882 ve RMSEA değeri ise 0,049 çıkmıştır. Tüm değerler mükemmel uyum sağlamışken sadece AGFI değeri kabul edilebilir uyum şeklinde çıkmıştır. Bu kapsamda ilgili ölçeğin modelinin anlamlı çıktığı söylenebilir.

Tablo 5. Ölçeğe ait geçerlilik değerleri ve uyum iyiliği indeks değerleri

Uyum Ölçütleri	Mükemmel Uyum	Kabul Edilebilir Uyum	Ölçek Değerleri
CMIN/Df	$\chi^2/df < 3$	$3 \leq \chi^2/df \leq 5$	1,849
GFI	$0,90 \leq GFI \leq 1$	$0,85 \leq GFI \leq 0,90$	0,905
CFI	$0,95 \leq CFI \leq 1,00$	$0,90 \leq CFI \leq 0,95$	0,961
NFI	$\geq 0,90$	$\geq 0,80$	0,920
TLI	$\geq 0,95$	$\geq 0,80$	0,956
SRMR	$0 \leq SRMR \leq 0,05$	$0,05 \leq SRMR \leq 0,10$	0,051
AGFI	$0,90 \leq AGFI \leq 1,00$	$0,85 \leq AGFI \leq 0,90$	0,882
RMSEA	$0 \leq RMSEA \leq 0,05$	$0,05 \leq RMSEA \leq 0,08$	0,049

Kaynak: Akman (2023: 147).

5. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

İşyerlerinde birçok örgütsel davranış türü gerçekleşebilmektedir. Bu kapsamda işyerinde ortaya çıkan kavramlar, örgütlerin rekabetinden müşterilerine, inovasyon süreçlerinden yönetim tarzlarına kadar birçok noktada karşımıza çıkmaktadır. Bu kapsamdaki kavramlardan birisi olan inovasyon kavramı da işletmeler için hem rekabet açısından hem de kârlılık açısından oldukça önem taşımaktadır. İşyerlerinde öne çıkan kavramlardan birisi de inovasyon kavramıdır. Yenilik süreçleri olarak ortaya çıkan inovasyon kavramı son zamanlarda işyerlerinde inovasyon kavramı olan tanımlanmaktadır (McMurray ve diğerleri, 2023).

İşyerlerinde inovasyon kavramı özellikle bilgi ve iletişim teknolojileriyle beraber ortaya çıkan yeni teknolojiler sayesinde daha da önem kazanmaktadır. Dijital dönüşüm, Endüstri 4.0, Endüstri 5.0 ve Toplum 5.0 gibi kavramlarla oraya çıkan dijital ev, dijital fabrika, dijital işyeri, dijital toplum gibi kavramlar şirketlerin inovasyona ne kadar değer vermesi gerektiğini gösteren önemli kavramlar arasında yer almaktadır (Aghazadeh ve diğerleri, 2024; Grabowska ve diğerleri, 2022; Ziatdinov ve diğerleri, 2024). Bu kapsamda yeni ürün ve süreçler, şirketler açısından önemli bir yerde durmaktadır.

İşyerinde inovasyon konusuyla ilgili literatürde daha önce yapılan bazı çalışmalar mevcuttur. De Jong ve Den Hartog (2008) gerçekleştirdikleri çalışmada işyerinde inovasyonu ölçmek için birden fazla ölçeğin olduğunu belirtmişlerdir. Bu ölçekler içinde öne çıkan ve çok kullanılan belli başlı çalışmalar şunlardır: Scott ve Bruce (1994), işyerinde inovasyon kavramını çok aşamalı bir süreç olarak belirtmektedirler ve kavramla ilgili üç aşamanın ana hatlarını çizmektedirler; *fikir üretme, koalisyon kurma ve uygulama aşaması*. Bunce ve West (1995), işyerlerinde yeniliği ölçmek için beş madde ve tek faktörden oluşan bir ölçek kullanmışlardır. Son olarak Basu ve Green (1997) dört madde ve tek faktörden oluşan bir ölçekten yararlanarak işyerlerinde inovasyonu ölçmeye çalışmışlardır. Ancak bu çalışmaların işyerlerinde inovasyonu çok boyutlu ele almadığı, alsa bile işyerlerinin ihtiyacını karşılamadığı değerlendirildiği için bu ölçek uyarlaması çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu ölçek uyarlama çalışmasında işyerlerine karşı oldukça kapsamlı yaklaşılmış ve hem bireysel hem de örgütsel açıdan inovasyon sürecine yaklaşılmıştır. Bu bağlamda işyerlerinin ve akademik çalışma gerçekleştirenlerin yararlanması için McMurray ve diğerleri (2023) tarafından “*Measuring Workplace Innovation: Scale Development*” adlı çalışmada geliştirilen işyerinde inovasyon ölçeğinin Türkçeye uyarlaması çalışması gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın akademi-sanayi iş birliği kapsamında da işletmelere inovasyon sürecinde kullanabilecekleri ifadeleri ortaya koyduğu ve inovasyon süreçlerinin durumu hakkında bilgi verebileceği için faydalı olacağı düşünülmektedir.

Çalışma kapsamında ölçeğin yapısını doğrulamak için çeşitli analizler gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda çalışma sonucunda orijinal ölçeğe benzer olarak bireysel inovasyon (Bİ), işyeri inovasyon iklimi (İİİ), ekip inovasyonu (Eİ) ve örgütsel inovasyon (Öİ) alt boyutları olmak üzere 4 alt boyut ve 24 ifade ortaya çıkmıştır. Bu kapsamda araştırmanın inovasyon ve işyerinde inovasyon kavramını çalışacak akademisyenlere, araştırmacılara ve işyeri sahiplerine/yöneticilerine bir yol gösterici nitelikte olacağı düşünülmektedir. Sonuç olarak, işyerinde inovasyon kavramı hem bireysel hem de örgütsel düzeyde büyük bir öneme sahiptir. McMurray ve diğerleri (2023) tarafından geliştirilen ve Türkçeye uyarlanan bu ölçek, işyerlerinde inovasyonun farklı boyutlarını kapsamlı bir şekilde değerlendirmek için güçlü bir araç sunmaktadır. İnovasyon süreçlerinin etkili bir şekilde yönetilmesi, işletmelerin rekabet avantajı elde etmelerinde ve sürdürülebilir bir büyüme yakalamalarında kritik rol oynamaktadır.

Gelecek çalışmalarda, bu ölçeğin farklı sektörler ve kültürel bağlamlar üzerindeki geçerliliği ve güvenilirliği üzerine derinlemesine incelemeler yapılması önerilmektedir. Bu sayede, işyerinde inovasyonun dinamiklerini daha geniş bir perspektifte anlamak ve daha genellenebilir sonuçlar elde etmek mümkün olacaktır. Ayrıca, ölçeğin farklı örneklem grupları üzerinde test edilmesi, işyerlerinde inovasyon süreçlerini daha iyi kavrayabilmek için literatüre önemli katkılar sağlayabilir.

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

Bu çalışma için Necmettin Erbakan Üniversitesi Sosyal ve Beşerî Bilimler Bilimsel Araştırmalar Etik Kurulu'nun 10.11.2023 tarihli ve 2023/513 numaralı kararı ile onay alınmıştır.

For this study, the approval of the Ethics Committee Necmettin Erbakan University Necmettin Erbakan University Social and Human Sciences Scientific Research Ethics Committee's was obtained with the decision dated 10.11.2023 and numbered 2023/513.

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

- Aghazadeh, H., Zandi, F., Amoozad, M.H. ve Sadraei, R. (2024). "Digital Transformation and SME Internationalisation: Unravelling the Moderated-Mediation Role of Digital Capabilities, Digital Resilience and Digital Maturity", *Journal of Enterprise Information Management*, 37(5), 1499-1526. <https://doi.org/10.1108/JEIM-02-2023-0092>
- Akman, A.Z. (2023). "Toplum 5.0 Yapılanmasında Dijital Dönüşüm ile Örgüt Kültürü Etkileşiminin Yeri: Bir Alan Araştırması", Doktora Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya.
- Alım, M. (2024). "Examining the Interplay Between Innovation Index, Innovation Efficiency and Sustainability Index: A Cross- Group Analysis of G7 and E7 Countries", *Verimlilik Dergisi*, Productivity for Innovation (SI), 77-88. <https://doi.org/10.51551/verimlilik.1344038>
- Almeida, L. ve Moreira, A. (2022). "Workplace Innovation: A Search for its Determinants through a Systematic Literature Review", *Business: Theory and Practice*, 23(2), 502-524. <https://doi.org/10.3846/btp.2022.14928>
- Atatsi, E.A., Azila-Gbettor, E. M. ve Honyenuga, B.Q. (2024). "Unpacking the Dynamics of Workplace Innovation among Nurses: The Synergistic Relationship Between Psychological Ownership and High-Performance Work Systems. *International Journal of Healthcare Management*, 1-10. <https://doi.org/10.1080/20479700.2024.2390321>
- Avunduk, Z.B. ve İçen, H. (2023). "Eko-Inovasyon Performansının Ekonomik Büyümeye Etkisi: Avrupa Birliği Ülkeleri Üzerine Panel Veri Analizi", *Verimlilik Dergisi*, 57(4), 657-670. <https://doi.org/10.51551/verimlilik.1357187>
- Basu, R ve Green, S.G. (1997). "Leader-member Exchange and Transformational Leadership: An Empirical Examination of Innovative Behaviors in Leader-member Dyads", *Journal of Applied Social Psychology*, 27(6), 477-499.
- Brown, T.A. (2006). "Confirmatory Factor Analysis for Applied Research". Guilford Press, New York, NY.
- Bunce, D. ve West, M.A. (1995). "Self Perceptions and Perceptions of Group Climate as Predictors of Individual Innovation at Work", *Applied Psychology*, 44(3), 199-215.
- Clayton, M.F. ve Pett, M.A. (2008). "AMOS Versus LISREL: One Data Set, Two Analyses", *Nursing Research*, 57(4), 283-292. <https://doi.org/10.1097/01.NNR.0000313487.64412.be>
- Daft, R.L. (1978). "A Dual-Core Model of Organizational Innovation", *Academy of Management Journal*, 21, 193-210.
- Damanpour, F. (1991). "Organizational Innovation: A Meta-Analysis of Effects of Determinants and Moderators", *Academy of Management Journal*, 34(3), 555-590.
- Damanpour, F. ve Evan, W.M. (1984). "Organizational Innovation and Performance: The Problem of Organizational Lag", *Administrative Science Quarterly*, 29, 392-409.
- Damanpour, F. ve Wischnevsky, J.D. (2006). "Research on Innovation in Organizations: Distinguishing Innovation-Generating from Innovation-Adopting Organizations", *Journal of Engineering and Technology Management*, 23(4), 269-291.
- De Jong, J. ve Den Hartog, D.N. (2008). "Innovative Work Behavior: Measurement and Validation", *EIM Business and Policy Research*, 8(1), 1-27.
- Fornell, C. ve Larcker, D.F. (1981). "Evaluating Structural Equation Models with Unobservable Variables and Measurement Error", *Journal of Marketing Research*, 18(1)1, 39-50.
- Ghosh, K. (2014). "Creativity in Business Schools: Towards a Need Based Developmental Approach", *Global Journal of Flexible Systems Management*, 15(2), 169-178. <https://doi.org/10.1007/s40171-013-0049-2>
- Gilbert, R. (2006). "Looking for Mr. Schumpeter: Where are we in the Competition—Innovation Debate?", *Innovation Policy and the Economy*, 6, 159-215.
- Grabowska, S., Saniuk, S. ve Gajdzik, B. (2022). "Industry 5.0: Improving Humanization and Sustainability of Industry 4.0", *Scientometrics*, 127(6), 3117-3144. <https://doi.org/10.1007/s11192-022-04370-1>
- Gustavsen, B. (1992). "Dialogue and Development: Theory of Communication, Action Research and the Restructuring of Working Life". van Gorcum Assen.
- Hage, J. (1980). "Theories of Organizations", Wiley: New York.
- Hurt, H.T., Joseph, K. ve Cook, C.D. (1977). "Scales for the Measurement of Innovativeness", *Human Communication Research*, 4, 58-65.
- Ismail, A.I., Belli, R.F., Sohn, W. ve Toussaint, L. (2002). "Internal Consistency and Reliability of a Questionnaire Assessing Organizational Innovation in Two Schools of Dentistry", *Journal of Dental Education*, 66(4), 469-477. <https://doi.org/10.1002/j.0022-0337.2002.66.4.tb03525.x>
- Kılıçer, K. ve Odabaşı, H.F. (2010). Bireysel Yenilikçilik Ölçeği (BYÖ): Türkçeye Uyarlama, Geçerlik ve Güvenirlilik Çalışması", *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 38(38), 150-164.
- King, N. (1990). "Innovation at Work: The Research Literature", John Wiley & Sons.

- Koyuncu, A.G. (2018). "Örgütsel Yenilik Ölçeği: Uyarlama Çalışması", *Hak İş Uluslararası Emek ve Toplum Dergisi*, 7(17), 108-122.
- McMurray, A.J., Islam, Md. M., Sarros, J.C. ve Pirola-Merlo, A. (2013). "Workplace Innovation in a Nonprofit Organization", *Nonprofit Management and Leadership*, 23(3), 367-388. <https://doi.org/10.1002/nml.21066>
- McMurray, A.J., Muenjohn, N. ve Scott, D. (2023). "Measuring Workplace Innovation: Scale Development", *Journal of Small Business Management*, 61(4), 1563-1582. <https://doi.org/10.1080/00472778.2020.1844490>
- OECD/Eurostat (2005). "Oslo Manual: Guidelines for Collecting and Interpreting Innovation Data", (3rd Edition), OECD Publishing.
- Oei, P. ve Dhondt, S. (2024). "Reviewing Workplace Innovation as a Plea for a Practical Approach", *Sociology Compass*, 18(4), 1-15. <https://doi.org/10.1111/soc4.13203>
- Oei, P., Dhondt, S. ve McMurray, A. J. (Ed.). (2023). "A Research Agenda for Workplace Innovation: The Challenge of Disruptive Transitions", Edward Elgar Publishing.
- Oei, P., Žiauberytė-Jakštienė, R., Dhondt, S., Corral, A., Totterdill, P. ve Preenen, P. (2015). "Workplace Innovation in European Companies", Report for Eurofound. Publications Office of the European Union.
- Pot, F. (2011). "Workplace Innovation for Better Jobs and Performance", *International Journal of Productivity and Performance Management*, 60(4), 404-415. <https://doi.org/10.1108/17410401111123562>
- Prus, I., Nacamulli, R.C.D. ve Lazazzara, A. (2017). "Disentangling Workplace Innovation: A Systematic Literature Review", *Personnel Review*, 46(7), 1254-1279. <https://doi.org/10.1108/PR-10-2016-0267>
- Rejikumar, G., Sreedharan R. ve Saha R. (2019). "An Integrated Framework for Service Quality, Choice Overload, Customer Involvement and Satisfaction: Evidence from India's Non-life Insurance Sector", *Management Decision*, 59(4), 801-828. <https://doi.org/10.1108/MD-12-2018-1354>
- Robertson, G. ve Lapiņa, I. (2023). "Digital transformation as a catalyst for sustainability and open innovation", *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 9(1), 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.joitmc.2023.100017>
- Sarioğlu Kemer, A. ve Altuntaş, S. (2017). "Bireysel Yenilikçilik Ölçeğinin Hemşireliğe Uyarlanması: Türkçe Geçerlik-Güvenirlik Çalışması", *Hemşirelikte Eğitim ve Araştırma Dergisi*, 14(1), 52-61.
- SASAD (2023). "SASAD Performans Raporu 2022", <https://www.sasad.org.tr/sasad-sektor-performans-raporu-2022>, (Erişim Tarihi: 02.08.2024)
- Scott, S.G. ve Bruce, R.A. (1994). "Determinants of Innovative Behavior: A Path Model of Individual Innovation in the Workplace", *Academy of Management Journal*, 37(3), 580-607.
- Shek, D.T.L. ve Yu, L. (2014). "Confirmatory Factor Analysis Using AMOS: A Demonstration", *International Journal on Disability and Human Development*, 13(2), 191-204. <https://doi.org/10.1515/ijdh-2014-0305>
- Totterdill, P., Dhondt, S. ve Boermans, S. (2016). "Your Guide to Workplace Innovation", Brussels: European Workplace Innovation Network (Euwin).
- Totterdill, P., Dhondt, S. ve Milsome, S. (2002). "Partners at Work", A Report to Europe's Policy Makers and Social Partners, DG Research of the European Commission under the Competitive and Sustainable Growth: Accompanying Measures Programme.
- Tushman, M.L. ve O'Reilly, C.A. (1996). "Ambidextrous Organizations: Managing Evolutionary and Revolutionary Change", *California Management Review*, 38(4), 8-29. <https://doi.org/10.2307/41165852>
- Weerakoon, C. ve McMurray, A. (2021). "The Introduction: An Overview to Workplace Innovation Research", The Palgrave Handbook of Workplace Innovation (Editörler: A. McMurray, N. Muenjohn ve C. Weerakoon), Palgrave Macmillan, 3-21.
- Weisskopf, T.E. (1987). "The Effect of Unemployment on Labour Productivity: An International Comparative Analysis", *International Review of Applied Economics*, 1(2), 127-151.
- Wipulanusat, W., Panuwatwanich, K. ve Stewart, R.A. (2017). "Workplace Innovation: Exploratory and Confirmatory Factor Analysis for Construct Validation", *Management and Production Engineering Review*, 8(2), 57-68. <https://doi.org/10.1515/mper-2017-0018>
- Yaşlıoğlu, M.M. (2017). "Sosyal Bilimlerde Faktör Analizi ve Geçerlilik: Keşfedici ve Doğrulamalı Faktör Analizlerinin Kullanılması", *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 46, 74-85.
- Yusof, N., Kamal, E.M., Lou, E.C.W. ve Kamaruddeen, A.M. (2023). "Effects of Innovation Capability on Radical and Incremental Innovations and Business Performance Relationships", *Journal of Engineering and Technology Management*, 67, 101726. <https://doi.org/10.1016/j.jengtecman.2022.101726>
- Ziatdinov, R., Atteraya, M.S. ve Nabiye, R. (2024). "The Fifth Industrial Revolution as a Transformative Step towards Society 5.0", *Societies*, 14(2), 19. <https://doi.org/10.3390/soc14020019>

Social Navigation in Warehouse Logistics Based on Artificial Intelligence and RGB-D

Bilal Gürevin¹ , Hilal Öztemel¹ , Burhan Turgut Ulutürk¹ , Emre Sebat¹ 

ABSTRACT

Purpose: Ensuring both human safety and transportation efficiency simultaneously during the navigation of autonomous mobile robots (AMRs) in warehouse logistics is a challenging problem due to dynamic environments and diverse obstacles. In this study, a social navigation approach based on artificial intelligence was developed to optimize these two critical factors.

Methodology: RGB images from an Intel_RealSense_D455 depth camera mounted on the PIXER AMR were utilized in a YOLOv8-based model to detect humans and reach trucks (RT). For human detection, the YOLOv8 model was trained with 4746 images and labels for 362 epochs, while RT detection used 4193 images and labels for 450 epochs. Each dataset was split into 60% training, 20% testing, and 20% validation subsets. The depth feature of the camera was used to measure object distances.

Findings: Objects detected with at least 80% accuracy had their midpoints identified, and distances were calculated using the depth camera. For humans detected within 2 meters, the robot's max_speed was reduced to 80%. For RTs detected at 6 meters, a new path was planned.

Originality: This study provides a novel integration of social navigation and deep learning to address the dual challenge of ensuring safety and efficiency in AMR navigation, contributing to advancements in warehouse logistics.

Keywords: Artificial Intelligence, Social Navigation, Warehouse Logistic.

JEL Codes: C63, L62, R41.

Yapay Zekâ ve RGB-D Tabanlı Depo İçi Lojistikte Sosyal Navigasyon

ÖZET

Amaç: Depo lojistiğinde otonom mobil robotların (AMR) navigasyonu sırasında insan güvenliğini ve taşıma verimliliğini aynı anda sağlamak, dinamik ortamlar ve çeşitli engeller nedeniyle zor bir problemdir. Bu çalışmada, bu iki kritik faktörü optimize etmek amacıyla yapay zekâ tabanlı bir sosyal navigasyon yaklaşımı geliştirilmiştir.

Yöntem: PIXER AMR üzerine monte edilmiş Intel_RealSense_D455 derinlik kamerasından alınan RGB görüntüler, insan ve Reach Truck (RT) algılaması için YOLOv8 tabanlı bir modelde kullanılmıştır. İnsan algılama için YOLOv8 modeli 4746 görüntü ve etiketle 362 epoch boyunca, RT algılama için ise 4193 görüntü ve etiketle 450 epoch boyunca eğitilmiştir. Her bir veri seti, %60 eğitim, %20 test ve %20 doğrulama alt kümelerine bölünmüştür. Algılanan nesnelerin mesafeleri, kameranın derinlik özelliği kullanılarak ölçülmüştür.

Bulgular: En az %80 doğrulukla algılanan nesnelerin orta noktaları belirlenmiş ve mesafeleri derinlik kamerası kullanılarak hesaplanmıştır. İnsanlar 2 metre mesafede algılandığında robotun maksimum hızı %80'e azaltılmıştır. RT'ler 6 metre mesafede algılandığında yeni bir rota planlanmıştır.

Özgünlük: Bu çalışma, AMR navigasyonunda güvenliği ve verimliliği sağlama ikili problemini ele alan sosyal navigasyon ve derin öğrenmenin yenilikçi bir entegrasyonunu sunarak depo lojistiğinde ilerlemelere katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yapay Zekâ, Sosyal Navigasyon, Depo Lojistiği.

JEL Kodları: C63, L62, R41.

¹ Ottobo Robotics and Artificial Intelligence Technologies Inc., İstanbul, Türkiye

Corresponding Author: Bilal Gürevin, bilalgurevin@gmail.com

DOI: 10.51551/verimlilik.1523828

Research Article | Submitted: 30.07.2024 | Accepted: 30.12.2024

Cite: Gürevin, B., Öztemel, H., Ulutürk, B.T. and Sebat, E. (2025). "Social Navigation in Warehouse Logistics Based on Artificial Intelligence and RGB-D", *Verimlilik Dergisi*, 59 (2), 301-322.

1. INTRODUCTION

With the emergence of Industry 4.0, both academic and industrial studies on autonomous mobile robots (AMR) have been increasing. The increasing use of AMR in warehouse logistics has provided significant advances in operational efficiency and safety protocols (Gürevin et al., 2024; Fragapane et al., 2022). In response to the increasing demands of fast delivery services and e-commerce operations, the integration of AMRs into warehouse environments has become inevitable. These robots are designed to navigate dynamic environments, interact seamlessly with human employees, and ensure efficient transportation of products. However, maintaining transportation efficiency while ensuring human safety poses a major challenge (Trakadas et al., 2020; Cognominal et al., 2021). When looking at the literature, artificial intelligence-based object recognition systems have been developed in warehouse environments thanks to camera sensors on robots. However, these studies are mostly in areas where personnel are checked to see if they are wearing safety equipment, human detection is performed, or autonomous personnel tracking systems are performed. It does not directly affect AMR navigation in terms of efficiency.

RT vehicle and human are indispensable personnel in many warehouse environments. It is important for AMRs to take these two objects, which are constantly dynamic, into consideration in terms of both occupational safety and process efficiency. The situations that AMRs should pay attention to are as follows; reach trucks (RT) can cause route congestion due to their large structures and cumbersome movements. This has a negative impact on the AMR working process. On the other hand, humans should be considered as a constantly moving entity that requires attention. In this study, it is aimed to develop a social navigation system that increases both human safety and transportation efficiency in warehouse environments. It is aimed to provide a harmonious interaction between robots and their environment by using advanced sensor technologies such as depth cameras (Gürevin et al., 2023) and the latest deep learning algorithms.

The central part of our method is the use of the Intel RealSense D455 depth camera, which provides object detection and distance measurement by capturing RGB images and depth data. Object detection and distance measurement operations were performed using the images taken from this depth camera in front of our robot, which we named PIXER and developed by us (Ottobo Robotics and Artificial Intelligence Technologies Inc.). The YOLOv8 model was used for human and RT detection. In the training of each model, the epoch values were set to 500. However, the save_period value was set to "-1" and the patience value was set to 10. In this way, the training continued until the last 10 epochs, where the verification losses did not improve. For this reason, each model could not continue its training until 500 epochs. The human detection model was trained using the transfer learning method with 60% training, 20% test and 20% validation data ratios for 362 epochs on a dataset containing 4746 images and labels. Similarly, the RT detection model was trained using the same data distribution for 450 epochs using transfer learning with 4193 images and labels. Our system ensures safety by reducing the robot's maximum speed to 80% when a human is detected at a distance of 2 meters on the robot navigation route. During navigation, when an RT is detected at a distance of 6 m on the route in narrow corridors, an alternative route is planned and the robot's path is optimized. The novelty of this research lies in its dual-focused approach to improve both safety and operational efficiency through social navigation. By integrating deep learning-based object detection and real-time distance measurement, our system provides a robust solution for the evolving needs of warehouse logistics.

The remainder of the paper is structured as follows; Section 2 reviews the existing literature on AMR navigation and safety systems. Section 3 details the methodology, including data collection, model training, and system implementation. Section 4 presents the experimental results and their analysis. Finally, Section 5 concludes the study and discusses future research directions.

2. LITERATURE RESEARCH

In this section, the existing studies on AMRs in the fields of human-robot interaction and social navigation were comprehensively reviewed. In addition, the potential of AMRs to increase operational efficiency and safety, the challenges encountered in achieving these goals, and the innovative solutions developed to overcome these challenges were discussed. This literature review aims to reinforce the scientific basis of our research by allowing us to understand the previous research on which our study is based and the methods used. The studies obtained from the literature are as follows;

Zhu and Zhang conducted a research article on deep reinforcement learning-based navigation studies. In their deep learning-based social navigation studies, they provided the generation of speed and volumetric (radius) estimates of pedestrians with point cloud data taken from lidar and depth cameras (Zhu and Zhang, 2021). Francis and his colleagues determined the benchmark criteria for the evaluation of social navigation studies conducted by researchers with their comprehensive study. They also defined the social navigation robot (Francis et al., 2023). Daza and his colleagues proposed a navigation algorithm that takes into

account the interaction of a robot against humans and robots, unlike robot-robot or human-robot interaction. They analyzed the proximity of people to each other and the navigation of other robots and provided the planning of the robot's behavior. They modeled their work in the Gazebo simulation environment (Daza et al., 2021). The performances of various YOLO, SSD, RCNN, R-FCN and SqueezeDet applications were evaluated. YOLO v3-416 emerged as an ideal model for embedded platforms by providing relatively accurate results in a reasonable time (Kim et al., 2018).

Mayershofer and his colleagues presented the Logistics Objects in COntext (LOCO) dataset, which is the first publicly available object recognition dataset in the logistics field. LOCO contains 39,101 images, and the first version includes 5,593 bounding-box labeled images. A total of 151,428 pallets, small load carriers, fixed racks, forklifts and pallet trucks were labeled (Mayershofer et al., 2020). Salmerón-García et al. (2015) investigated the effects of cloud computing on robotic navigation and demonstrated the advantages of performing vision-based navigation tasks over the cloud. In their work, they used a mobile robot based on the Robot Operating System (ROS) and processed the information received from stereo cameras on the robot on a cloud platform consisting of five bare-metal nodes. (Salmerón-Gar Salmerón-García et al., 2015).

Kenk and his colleagues addressed the reliable navigation capabilities required by industrial and mobile robots to provide safe and comfortable navigation in environments full of people. As a result of their work, they were able to ensure that mobile robots could approach pallets to pick up objects while maintaining a certain distance from people (Kenk et al., 2019). Wang and his colleagues, starting from the lack of public datasets that can be used for object detection in a warehouse environment, collected a large number of images in a real warehouse environment and marked them with cameras. This study enabled the accurate detection of warehouse objects (Wang and Li, 2023).

Clavero et al. (2024) presented a new architecture called DMZoomNet in the intralogistics industry. This architecture aims to improve object detection performance by combining deep learning-based detectors with distance information. In their work, they evaluated their method on the LOCO dataset, one of the few open-source datasets specifically designed for intralogistics scenarios (Clavero et al., 2024). In the study proposed by Truong and Ngo (2016), an effective human comfort safety framework was proposed for mobile service robots to navigate safely and socially in social environments. The dynamic social zone (DSZ) based human comfort safety framework enabled the robot to estimate the target position when approaching a human or group of humans, allowing the robot to both avoid and approach humans in a socially acceptable manner (Truong and Ngo, 2016).

Mavrogiannis et al. (2023), in their review article, organized a large set of open issues related to robot planning, behavior design, and evaluation methodologies to address the challenges of robot navigation in crowded environments (Mavrogiannis, 2023). Beyer et al., worked on improving the ability of mobile robots to detect people, especially those using mobility aids. For this purpose, they developed DROW, a deep learning-based wheelchair and walker detector (Beyer et al., 2018). Jia et al. proposed a person detection network that uses an alternative strategy to combine scans obtained at different times. Their work outperformed the current state-of-the-art methods on the DROW dataset and was approximately four times faster (Jia et al., 2020).

When the current literature is examined, it is seen that significant progress has been made in human detection and social navigation with various approaches and technologies. However, there is a lack of a comprehensive approach in the literature that combines human detection and social navigation, takes into account both human and mobile obstacles such as RT, and prioritizes safety and efficiency. The studies conducted were generally conducted by simulating them in a theoretical virtual environment. Or they were limited to object detection only. In this study, a new system has been proposed that detects both humans and RT vehicles using the deep learning-based YOLOv8 model and depth camera, and provides integration with social navigation strategies. Thanks to this system, the robot in navigation will be instantly made sensitive to dynamic objects such as humans and RT in its environment. This innovative approach aims to go beyond existing systems and ensure the safe and effective operation of autonomous mobile robots in e-commerce warehouses.

3. METHOD

In this section, the methods used to develop the social navigation system in the PIXER robot were presented in detail. In the study, Intel RealSense D455 depth camera (Intel Realsense, 2024) and YOLOv8 deep learning framework (Ultralytics, 2024a) were used for human and RT detection. In the images taken from the depth camera positioned in front of the robot, which we call PIXER, human and RT were detected and their midpoints were determined. Thanks to the depth feature of the camera, the distance of this point to the robot was measured instantly. Thus, the human and RT distances on the robot's navigation route were measured and the robot was enabled to take the necessary actions. In case a human was detected

within 2 m. on the robot's route, the robot's maximum speed was reduced to 80%. Again, in the RT detection of the robot in narrow corridors and in the case where RT restricts the robot's movement, the robot was provided with a new alternative path planning after a 5-second waiting period. The representative flow diagram of the structure mentioned is as given in Figure 1.

In the following subsections, the dataset used to obtain the artificial intelligence model developed for human and RT detection, model training, object detection and distance measurement, and finally system integration were discussed.

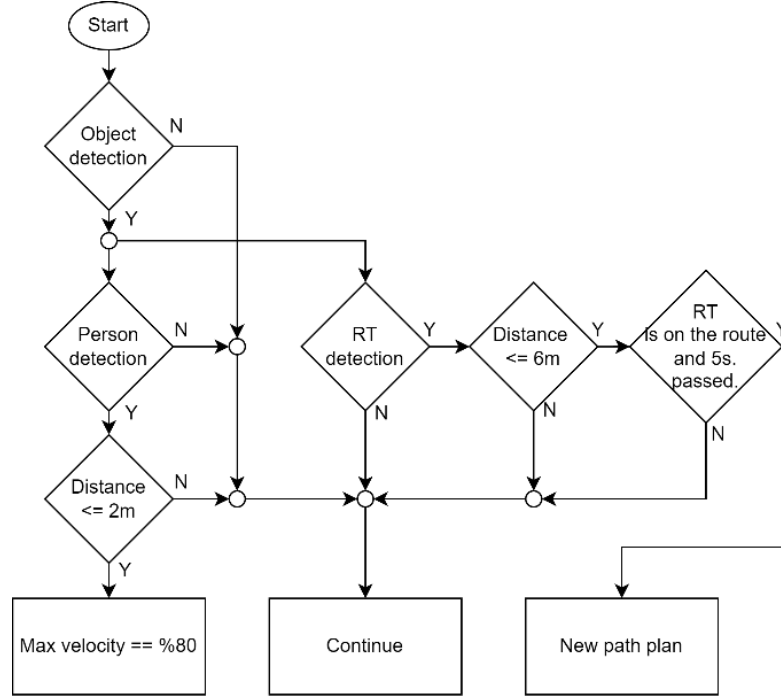


Figure 1. Social navigation scenario for PIXER AMR

3.1. YOLOv8 Deep Learning Model

YOLOv8 algorithm is one of the latest deep learning algorithms for object detection introduced by Ultralytics. YOLOv8 is optimized for real-time object detection and offers various model sizes; YOLOv8n, YOLOv8s, YOLOv8m, YOLOv8l and YOLOv8x. This flexibility allows the model to be used in a wide range of applications with different computational resources. YOLOv8 has the same architecture as previous versions, but offers several improvements compared to previous YOLO versions. It integrates both “Feature Pyramid Network” (FPN) and “Path Aggregation Network” (PAN) using a new neural network architecture. The FPN is an architecture that facilitates multi-scale object detection by efficiently transferring information across different layers of a deep neural network. FPN combines high-resolution, low-level features from earlier layers with low-resolution, high-level features from deeper layers. This enables the model to detect both small and large objects simultaneously. FPN primarily provides an upward flow of information, optimizing feature propagation to better interpret objects of various sizes. The PAN, on the other hand, complements the upward information flow of FPN by introducing a downward flow of information. PAN allows high-level abstract features to be aggregated with lower-level detailed features, creating a bidirectional information flow. This enhances detection accuracy and improves the model's ability to detect objects at different scales, especially in complex scenes. PAN is specifically designed to bolster the success of multi-scale object detection by refining feature aggregation. The architecture of the YOLOv8 model is given in Figure 2 (Reis et al., 2023). In this study, the YOLOv8n artificial intelligence model was used to perform social navigation of AMRs actively working in logistics warehouses. The PIXER robot, which is actively used in the warehouse environment, has power-consuming industrial sensor systems such as a 2D LIDAR, a 3D LIDAR and a depth camera. For this reason, the YOLOv8n model was preferred because it is a lightweight and fast model that requires less computational resources.

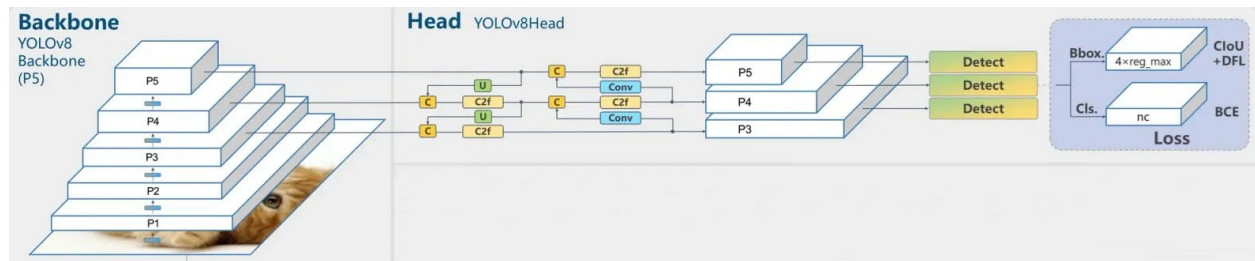


Figure 2. YOLOv8 architecture

3.2. Data Set

The dataset used in this study was prepared in two separate categories, for human and RT detection. A dataset consisting of 4746 images and their corresponding labels was created for human detection. This dataset was divided into three groups as 60% training, 20% test and 20% validation. 4193 images were used for RT detection. 1% of the images were used as background data. The reason for keeping the background data in a small proportion is that this type of data is required in less numbers compared to the object to be detected. Because the model does not need a large number of examples to learn the background. 1% background data is sufficient to increase the overall performance of the model. Using too much may negatively affect the detection success or lead to unbalanced results. This dataset was also divided into training, test and validation groups in the same proportions. The dataset distribution is as shown in Figure 3.

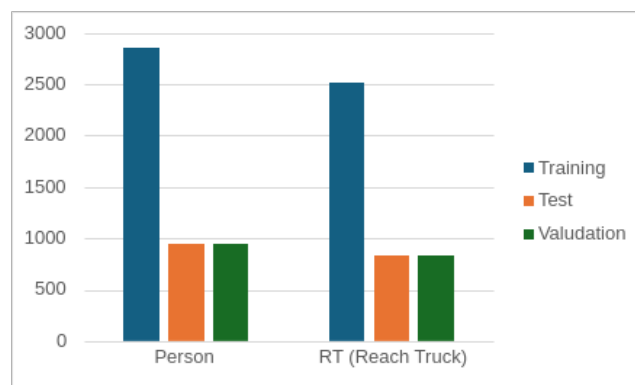


Figure 3. Dataset distribution

In creating the datasets, images taken in storage environments were used. In addition, data augmentation techniques were used to ensure that the datasets were balanced and diverse. These images were obtained from various lighting, angles and positions to reflect real-world conditions. These techniques include operations such as rotation, scaling, brightness and contrast adjustments. Some of the human and RT images obtained with data augmentation are given in Figure 4.



Figure 4. RT and human images obtained by data augmentation method for model training.

The human dataset contains a single class, 'person'. On the other hand, the RT direction dataset contains three classes, 'Reachtruck Rear', 'Reachtruck Sides', and 'Reachtruck Front'. This distinction was made

because the gaze direction of the RT that PIXER will encounter during its movement in the field needs to be evaluated. By measuring the gaze direction of the RT and its distance from the robot, it will be possible to comment on the direction in which it is moving.

3.3. Model Training

The dataset of the model in which the YOLOv8n artificial intelligence model developed for RT and human detection was used and the model was trained is as described in the template in Figure 5. In order to provide high detection accuracy for both objects and to facilitate the maintenance and development processes of the model in R&D studies, training was performed on two different models. The YOLOv8n model used for human detection was trained for 362 epochs. The model was trained for RT direction detection for 450 epochs. During the training process, hyperparameter optimization was performed to increase model performance. The accuracy of the model was measured on the test and validation sets, and 75% accuracy was achieved for human detection and 93% for RT direction detection.

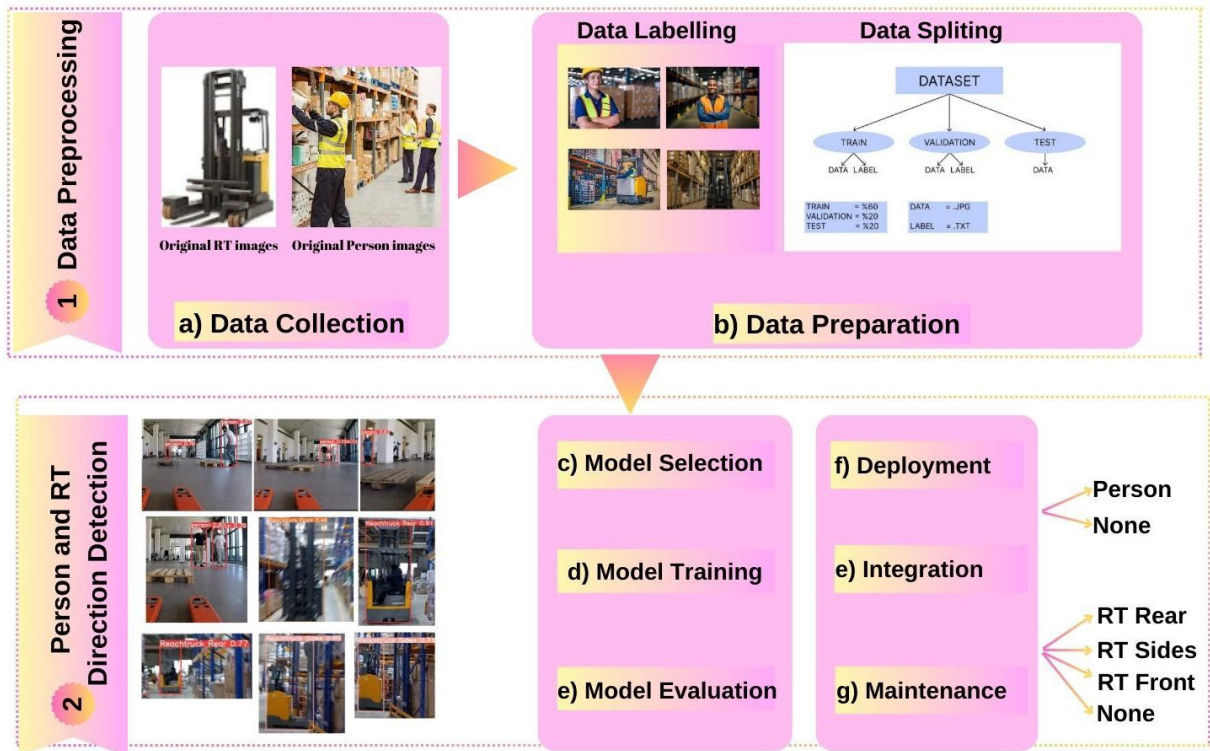


Figure 5. Human and RT detection model methodology

During training, models like YOLO use Focal Loss for DFL Loss, Complete Intersection over Union (CIoU) for Box Loss and Binary Cross-Entropy (BCE) for Cls Loss as loss functions (Ultralytics, 2024b). The optimization process was performed with Adam optimizer for human detection model and Stochastic Gradient Descent (SGD) for reach truck direction detection. For SGD optimizer, learning rate was set as $lr_0=0.01$ and momentum was set as 0.9, weight decay was set as 0.0 and 0.0005 for different layers. For Adam optimizer, learning rate was set as $lr_0=0.01$ and momentum was set as 0.9, weight decay was set as 0.0 and 0.0005 for different layers. Automatic Mixed Precision (AMP) was used in the training process to increase speed and memory efficiency. The image size was set to 640, the scaling factor was set to 0.5, the initial and final learning rates were set to lr_0 and lrf to 0.01. The training period was configured as 1000 epochs, but the early stopping parameter was set to 50, and the RT direction detection training was completed in 450 epochs.

During training, the YOLOv8n model was trained by applying transfer learning to both models. Early stopping with a patience value of 50 was used. YOLO's early stopping mechanism stops training when there is no improvement in the validation loss or validation metric (mAP) for a certain period of time (50 epochs) during model training. This method is used to prevent overfitting and to save time and resources. When the model's validation error does not improve, the training process is automatically stopped and the training is terminated at the point where the model shows the best performance. In YOLO models, training is usually structured with a high number of epochs (e.g. 1000), but thanks to early stopping, training is

stopped at the point where the performance peaks. This prevents training for unnecessary epochs and ensures efficient use of resources.

Validation loss based early stopping is a frequently used technique in YOLO models. During model training, the loss on the validation set is monitored and if the validation loss does not improve over several epochs, the training process is stopped. This prevents the model from being unnecessarily overtrained and overlearning, and ensures that the model with the best performance is preserved. In the data augmentation technique; HSV values were set as hsv_h: 0.015, hsv_s: 0.7, hsv_v: 0.4, 5 degree rotation and 0.1 translation are applied to the images. Batch size was set as 16, and the maximum number of objects that the model can detect was set as max_det=300. The save_period parameter was set as -1, and the model with the highest accuracy was saved. In YOLO models, cross-validation methods are generally not used. Instead, training and validation sets are used to evaluate the generalization ability of the model. In this study, the performance of the model was evaluated using the validation data set.

The use of GPU is of great importance to accelerate the training process. For this reason, training was performed using Amazon servers with CUDA and CuDNN features. The AMI (Amazon Machine Image) used includes the Ubuntu 20.04.6 LTS (GNU/Linux 5.15.0-1048-aws x86_64) operating system, 535.104.12 NVIDIA driver version, NVIDIA A10G GPU and 12.1 CUDA version.

3.3.1. Model Performance

Commonly used metrics to evaluate the performance of object detection models include Precision, Mean Average Precision (mAP), Recall and F1. These metrics measure the ability of the model to correctly identify objects. Precision is the ratio of true positives to total predictions. Recall is the ratio of true positives to the total number of positive examples. F1 score is the harmonic mean of precision and recall. MAP (Mean Average Precision) measures the overall accuracy of the model. MAP50 and MAP50-95 express the precision of the model in certain correct prediction intervals. These metrics are used to comprehensively evaluate the performance of the model in object detection tasks (Önal and Dandil, 2021). The performance evaluations of the models developed in this study were given in Table 1. In addition, a detailed review was given in Section 4.

Table 1. Performances of RT and human detection models

<i>Model Name</i>	<i>Precision (%)</i>	<i>Recall (%)</i>	<i>F1 (%)</i>	<i>mAP50 (%)</i>	<i>mAP50-95 (%)</i>
Person detection model	95	97	97	97	75
RT detection model	98	99	99	99	93

The main objective of this project is to obtain maximum efficiency with minimum data. That's why, transfer learning (YOLOv8n), data augmentation and error-driven learning techniques, which is one of the active learning strategies, were used. The model was developed in a structure that can learn from its errors with the principle of error-driven learning. In the first stage, the model was trained and tested with 500 images. According to the test results, the erroneously detected data were corrected and added to the training data set, thus ensuring that the model learned from errors. The model was retrained with the updated data set and its performance gradually improved. This process was repeated in order to continuously improve the performance of the model. In order to prevent overfitting, especially in small data sets, the early stopping parameter was set to 50 and the dropout rate was applied as 0.5. In this way, the model was able to generalize by increasing its overall performance despite being trained with limited data. In addition, occlusion tests of the model in difficult scenarios were also performed. The results of these tests are shown in Figure 6. The model was evaluated with its ability to detect only partially visible objects during occlusion tests. In these tests, situations where objects were covered to a certain extent and were not clear were simulated. Especially thanks to YOLOv8's bounding box strategy, the model managed to make correct predictions by evaluating only the visible parts. We would also like to point out that the early stopping and dropout parameters were optimized to reduce the risk of overfitting against different scenarios. Thanks to this, the model was able to generalize even on small data sets.

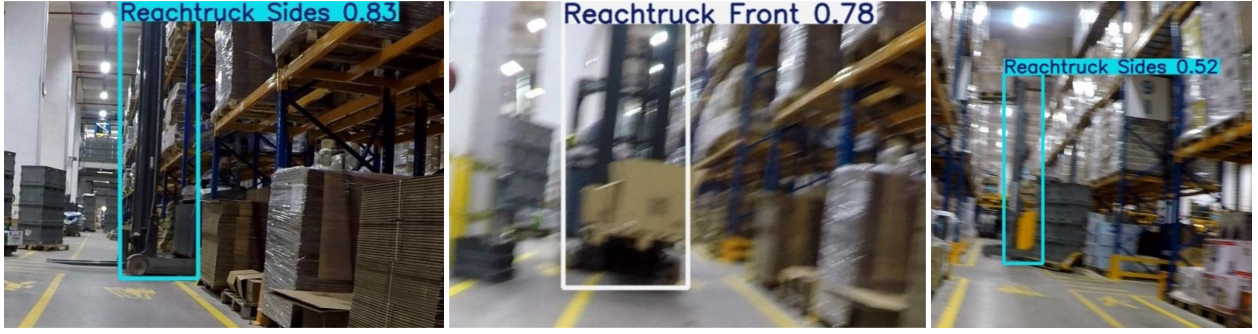


Figure 6. Occlusion test results for the RT detection model

YOLOv8's bounding box strategy is a method developed to increase the precision of the location and size of objects and makes object detection more flexible. This strategy works by dividing a bounding box into 9 small parts in order to detect objects more precisely using a grid-based system. This strategy analyzes different parts of the object separately by dividing each bounding box into a 3x3 grid. In this way, the model can accurately detect the object even in difficult scenarios such as occlusion by using only the visible parts of the object. Especially in difficult scenarios such as occlusion (covering a part of the object) and changing light conditions, it enables detection by only using the visible parts of the objects. Thanks to the division of the bounding boxes into small parts, the model can make more accurate predictions by analyzing different parts of the object and shows high performance in these difficult conditions. This approach provides better capture of small objects and strengthens contextual information. Thus, the overall accuracy of the model increases and reduces the risk of overfitting.

3.4. Object Detection and Distance Measurement

In this section of the study, object detection and distance measurement methods were detailed. The images obtained with the RT and human detection models developed using YOLOv8n were enclosed in a bounding box around the objects. In order for the RGB and depth images to be compatible, the alignment process was performed with the Intel RealSense D455 depth camera, and thus the pixel and position values from both cameras (depth and RGB) were matched. Otherwise, although the images taken from the depth belt and the RGB camera have the same frame sizes, they have different depth image outputs. The alignment situation in question was expressed in the images in Figure 7 and Figure 8.

In order to increase the accuracy of distance measurement in dynamic environments, sensor noise for RealSense D455's depth data was reduced by various filtering techniques. In this context, "spatial", "temporal" and "hole filling" filters were used while obtaining depth data. Spatial filter was used to reduce sudden jumps in distance data by considering the relationship of each pixel with its neighbors. Temporal filter was used to ensure temporal accuracy between multiple consecutive frames. Hole filling filtering was used to fill the gaps that the camera has difficulty detecting. Thanks to these filtering processes, sensor noise that may occur especially while the robot is moving was minimized.

The midpoints of the detected objects were determined and the distances of these midpoints to the robot were calculated using the depth data provided by the Intel RealSense D455 depth camera. In this way, the distance information of the detected objects was transferred to the ROS (Robot Operating System) environment and the control of the PIXER robot was provided. The flow diagram explaining the object detection and distance measurements was given in Figure 9.

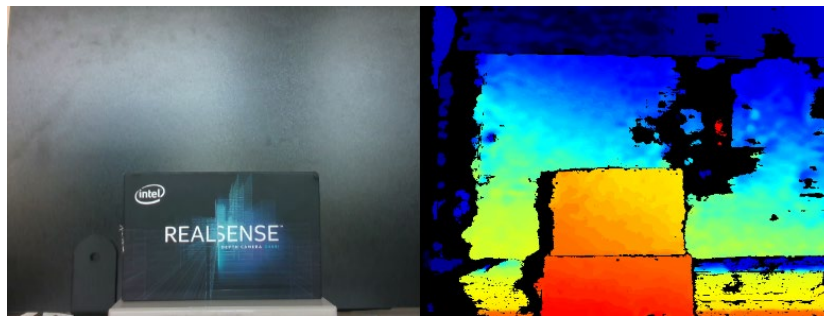


Figure 7. RGB (left) and depth image (right) without alignment and filtering operations

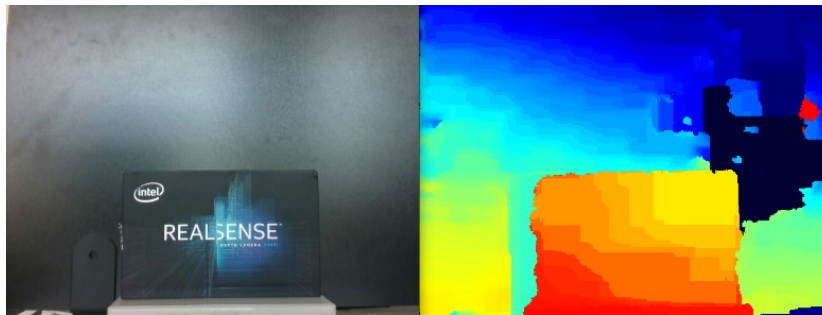


Figure 8. RGB (left) and depth image (right) with alignment and filtering operations

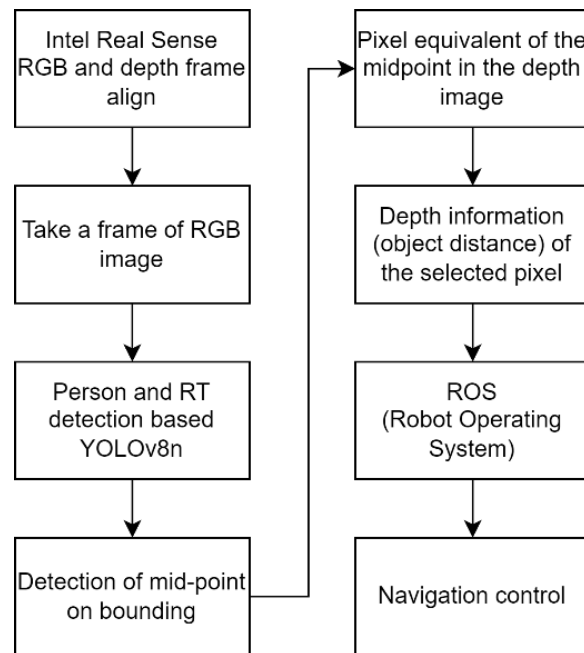


Figure 9. Flowchart of integration of object detection and distance measurement with RGB-D into PIXER navigation

3.5. PIXER Robot

The studies carried out in this research were carried out on the industrial AMR developed by us and named PIXER. The PIXER robot, which works in logistics companies, has a carrying capacity of 80 kg and is used for autonomous product collection based on ROS. Working in large warehouses such as 10000 m², PIXER does not require any extra markers while performing the navigation process with the 3D LIDAR located on the tower (top of the robot). In addition, it ensures safety during navigation the 2D LIDAR located at the bottom. The features of the PIXER robot are as given in Table 2. In addition, images of the PIXER robot are given in Figure 10. To ensure the safety of the robot during navigation; Velodyne 3D LIDAR, RealSense Depth Cam and SICK 2D LIDAR sensors were used. The work presented in this article was designed as an additional protection layer to the existing sensors. Even if there are cases where the detection processes are faulty, this protection infrastructure prevents accident risks.

Table 2. PIXER AMR features

Features	Sensor and Capacity
Navigation	3D - Velodyne LIDAR
Security	2D - Sick LIDAR
Carrying Capacity	80 kg
Battery	24 V - 44 Ah (Wireless)
Camera	Intel Real Sense 455
PC	Intel i7, 11. Gen, 16 Gb, 256 SSD



Figure 10. PIXER AMR robot

4. EXPERIMENTS and RESULTS

In this study, a YOLOv8n-based artificial intelligence model was trained for the purpose of detecting humans and RT vehicles. Awareness of humans and RT vehicles was achieved during the robot's navigation by utilizing a pretrained model trained with the YOLO algorithm.

The training was conducted on an AMI (Amazon Machine Image) machine equipped with an NVIDIA A10G GPU and CUDA version 12.1. The pixel value corresponding to the midpoint of detected objects in the RGB image was also marked in the depth image, enabling distance measurement based on this point. Object detection was performed by running the YOLOv8n model on each frame of the RGB images. The central coordinates of detected objects, along with their depth information, were utilized to inform the robot's movement strategies. In social navigation strategies, when a human was detected within 2 meters in front of the robot, the maximum speed was reduced by 80%. Similarly, if an RT vehicle was detected within 6 meters along the path, an alternative route was generated to plan a new path. These strategies were developed to ensure human safety while enhancing operational efficiency. The following sections include performance evaluations of the model used and social navigation environment tests.

4.1. Model Training Evaluation

In this part, the results reached from experimental test were presented. Object detections accuracy, to measure distance accuracy and were evaluated for general performance about social navigation system. The performance of the person and RT detection model developed with YOLOv8n was assessed. Otherwise, this model was integrated on the PIXER robot and was tested in a warehouse environment.

4.1.1. Human Detection Model Performance

A confusion matrix is a useful tool for evaluating the performance of a classification model by comparing predicted values to actual values. Figure 11 shows to evaluated model performance about person model.

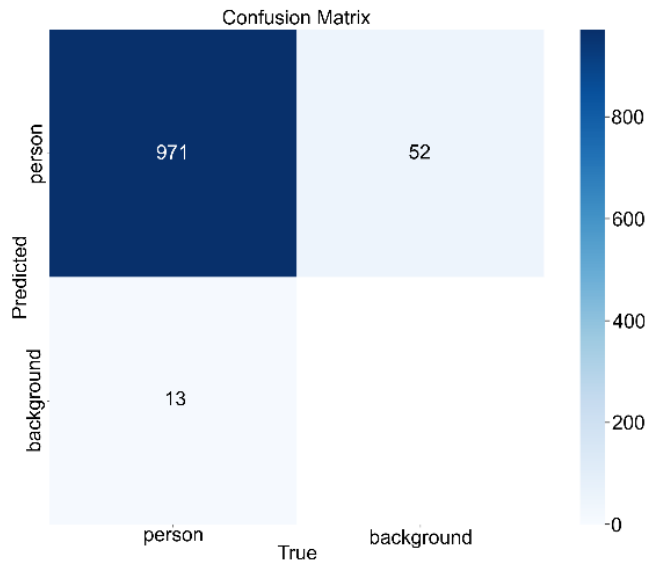


Figure 11. Confusion matrix of human detection model

The evaluation of the matrix is as follows:

- True Positives (TP) were shown as 971 (in the top left cell). This indicates that the model correctly predicted the "person" class 971 times.
- False Positives (FP) were recorded as 52 (in the top right cell). This means that the model incorrectly predicted the "background" class as "person" 52 times.
- False Negatives (FN) were determined to be 13 (in the bottom left cell), which means that the model incorrectly predicted the "person" class as "background" 13 times.
- True Negatives (TN) were not shown in the bottom right cell. This indicates that the model either could not accurately identify the "background" class or completely ignored it.

The color scale represents the magnitude of the values in the matrix cells; dark blue corresponds to high values, while light blue corresponds to low values. Overall, the high number of TPs indicates that the model is successful in correctly identifying the "person" class. However, the FP and FN values reveal that the model makes some errors. The lack of TN indicates that the model has struggled to predict the "background" class. During model training, data belonging to the "background" class was not utilized. It was deemed unnecessary to include background data as the model (Yolov8n), having already developed its object detection capabilities through transfer learning, is focused on detecting the "person" class. Therefore, the accuracy of the background class is not critically important in this application scenario.

In Figure 12(a), the statement "all classes 0.99 at 0.000" in the recall score graph indicates that the recall scores for all classes are 99% when a threshold value of 0 is used. This suggests that the model is able to successfully recall all classes even at a very low threshold value. Additionally, the statement "all classes 1 at 0.926" in the precision score graph in Figure 12(b) indicates that the precision scores for all classes are 100% when a threshold value of 0.926 is used. This demonstrates that the model has an excellent ability to correctly classify all classes when decisions have made above the 0.926 threshold.

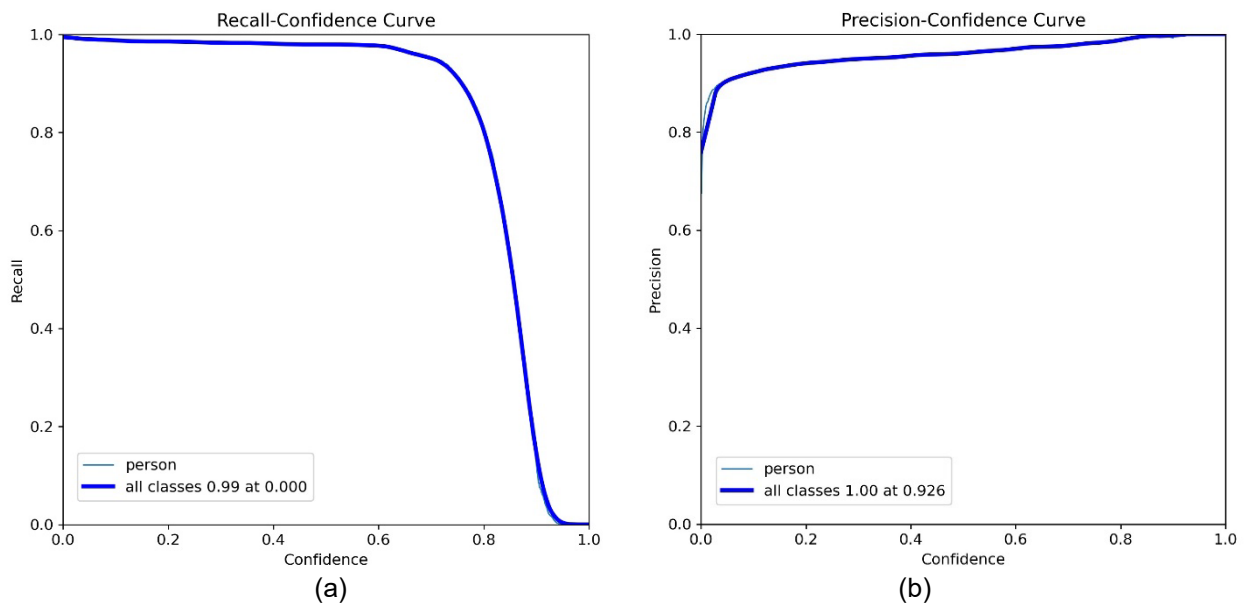


Figure 12. Recall-Confidence and Precision-Confidence score graph of human detection model

In Figure 12(a), the statement "all classes 0.99 at 0.000" in the recall score graph indicates that the recall scores for all classes were 99% when a threshold value of 0 was used. This suggests that the model is able to successfully recall all classes even at a very low threshold value. Additionally, the statement "all classes 1 at 0.926" in the precision score graph in Figure 12(b) indicates that the precision scores for all classes are 100% when a threshold value of 0.926 is used. This demonstrates that the model has an excellent ability to correctly classify all classes when decisions have made above the 0.926 threshold.

In Figure 13(a), the statement "all classes 0.97 at 0.611" in the f1 score graph indicates that the all f1 scores for all classes were 97% when a threshold value of 0.611 was used. This suggests that the model is able to successfully f1 all classes even at a very high threshold value. Additionally, the statement "all classes 0.988 at mAP@50" in the precision-recall score graph in Figure 13(b) indicates that the mAP scores for all classes are 98%. This suggests that the model is able to successfully recall and precision all classes even at a very low threshold value.

In Figure 14, it displays the losses and performance metrics of the object detection model during the training and validation process. Each of these graphs allows us to analyze a specific aspect of the model and its performance in detail.

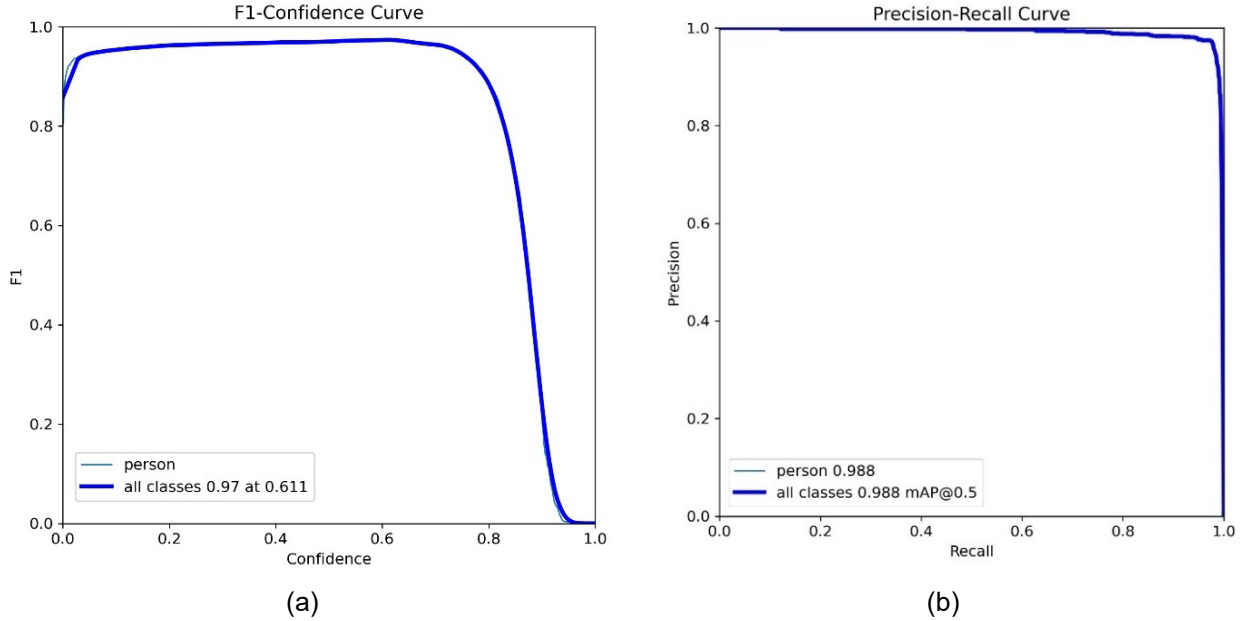


Figure 13. F1 and Precision-Recall score graph of the human detection model

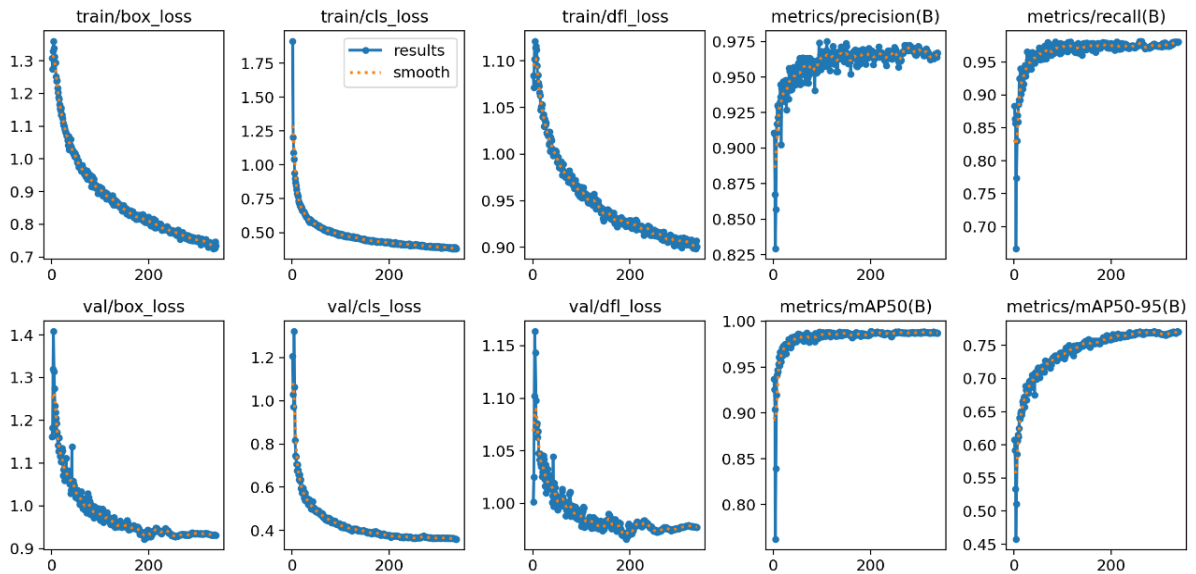


Figure 14. Human detection Model Training chart

Below are the technical comments for each graph related to the human detection model:

Evaluation of Training Losses

- *train/box_loss*: The loss for object boxes started at approximately 1.3 and decreased to about 0.8 after 200 epochs. This indicates that the model has learned to position objects more accurately.
- *train/cls_loss*: The classification loss started at around 1.75 but decreased to 0.5 as training progressed. This reduction shows that the model is better at correctly identifying the class labels of the objects.
- *train/df_l_loss*: The distribution loss began at a level of 1.1 and fell to about 0.9 after 200 epochs. This decrease suggests that the model has reduced uncertainty in its predictions and can make more precise predictions.

Evaluation of Validation Losses

- *val/box_loss*: The loss for object boxes on the validation data started at 1.4 and gradually decreased to approximately 0.9 after 200 epochs. This demonstrates that the model can also make accurate box placements on new data.
- *val/cls_loss*: The classification loss on the validation data shown a similar decrease. Initially at 1.2, it dropped to about 0.4 after 200 epochs.
- *val/dfl_loss*: The distribution loss started at 1.15 and fell to 0.95 by the end of the training process. This indicates that the model can also make more accurate predictions on validation data.

Metrics for RT Orientation Detection Model

- *metrics/precision(B)*: The precision value, which was low at the beginning of the training process, rapidly increased to about 0.96 and stabilized. This indicates that the model is highly successful in making true positive predictions with very few false positives.
- *metrics/recall(B)*: The recall value, initially low, also rose quickly to approximately 0.95 and stabilized. This shows that the model can detect true positives at a high rate, with very few false negatives.
- *metrics/mAP50(B)*: The mean Average Precision metric at 50 (IoU = 0.5) was initially low but quickly rose to about 0.98 and stabilized. This indicates that the model has high overall prediction accuracy.
- *metrics/mAP50-95(B)*: The mean Average Precision metric from 50 to 95 (IoU = 0.5 to 0.95) started low but rapidly increased to approximately 0.77 and stabilized. This indicates that the model demonstrates high prediction accuracy across different threshold values.

4.1.2. RT detection model performance

The model developed for RT detection was designed to detect RT vehicles and also their gaze directions. The model can accurately determine the given images using classification algorithms. The performances of the model developed for RT detection, which produces high accuracy results, have been examined in the following graphs.

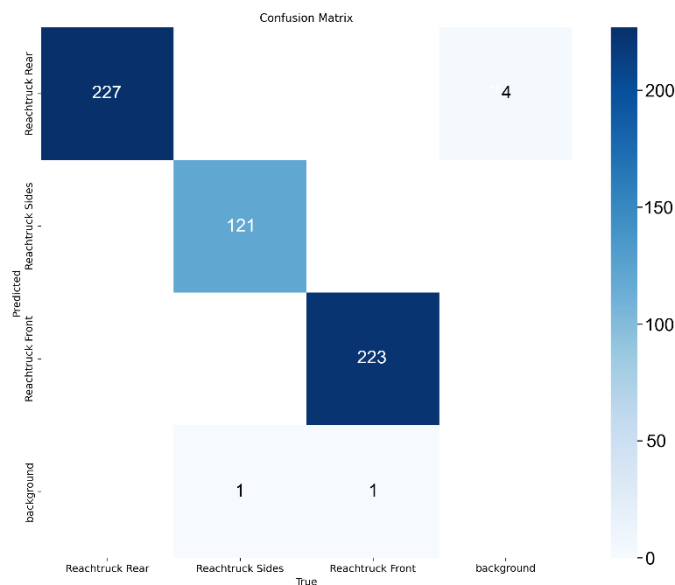


Figure 15. Confusion Matrix of the RT detection model

The confusion matrix in Figure 15 illustrates the performance of a four-class classification model. These classes have been divided into "Reachtruck Rear," "Reachtruck Sides," "Reachtruck Front," and "background." For the "Reachtruck Rear" class, the model correctly predicted this class 227 times (top-left cell) with no false negatives (FN) for this class. In the "Reachtruck Sides" class, the model made 121 correct predictions (second cell in the bottom-left corner), with only 4 incorrect predictions, indicating overall accurate classification for this class. For the "Reachtruck Front" class, the model correctly predicted this class 223 times (bottom-right corner) and also has no FN in this class. In the "background" class, the model correctly identified the "background" class only once (top-right cell), with no false positives (FP) for this class.

The high True Positive (TP) counts and the absence of FN in the "Reachtruck Rear," "Reachtruck Sides," and "Reachtruck Front" classes demonstrate the model's strong performance in recognizing these classes.

Since detecting the "background" class is not the primary goal of the project, the low performance in this class does not negatively impact the model's overall success. This evaluation highlights the model's high performance in the targeted Reachtruck classes, with lower success in the background class.

During model training, only 1% of the data used was from the "background" class. This proportion was strategically chosen to minimize visual confusion between Reachtruck and similar objects. While using more background data could improve the model's accuracy in identifying the background, it could also increase the risk of overfitting, thereby reducing accuracy. Thus, the 1% background data usage was deemed optimal for performance based on experiments. Background data was included specifically to prevent Battery Powered Pallet Trucks in the field from being misclassified as Reachtruck classes. Since Battery Powered Pallet Trucks and Reachtrucks can visually resemble each other, adding background data aimed to enhance the model's ability to distinguish between these objects and reduce misclassifications. This approach has improved the model's object detection accuracy and minimized classification confusion.

In Figure 16(a), the statement "all classes 1 at 0.706" in the f1 score graph indicates that the all f1 scores for all classes were 100% when a threshold value of 0.706 was used for RT direction detection. This suggests that the model is able to successfully f1 all classes even at a very high threshold value. Additionally, the statement "all classes 1 at 0.891" in the precision score graph in Figure 16(b) indicates that the precision scores for all classes are 100% when a threshold value of 0.891 is used. This demonstrates that the model has an excellent ability to correctly classify all classes when decisions have been made above the 0.891 threshold.

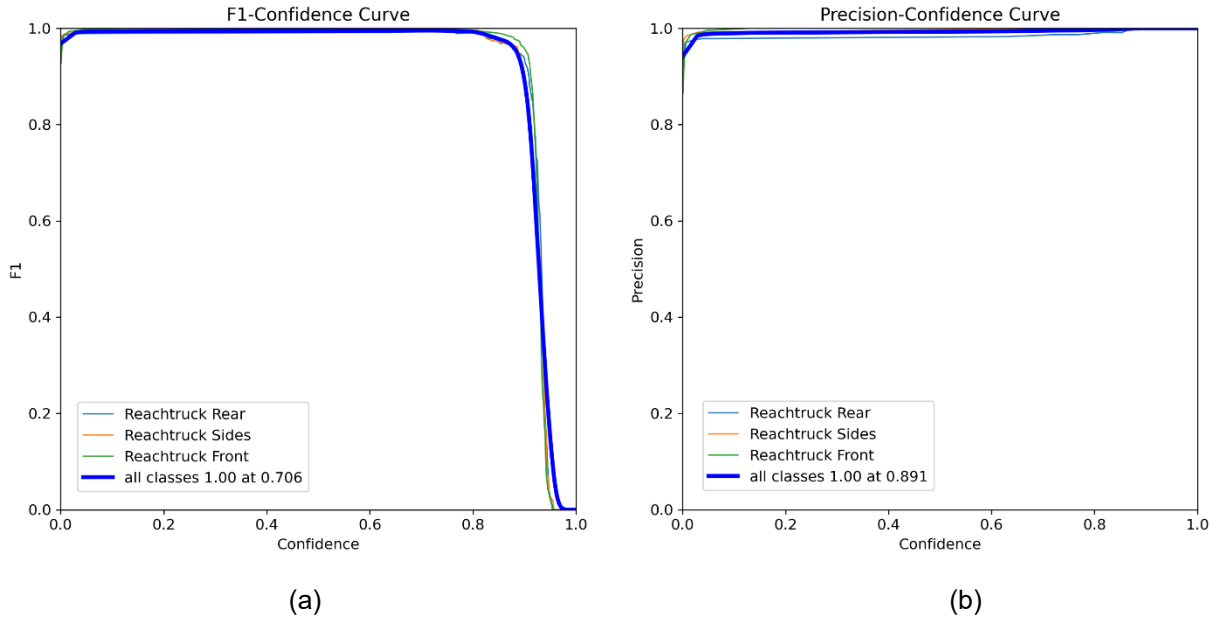


Figure 16. F1 and Precision-Confidence score graph of the RT detection model

In Figure 17(a), the statement 'all classes 1 at 0.000' in the recall score graph indicates that the recall scores for all classes were 100% when a threshold value of 0 was used. This suggests that the model is able to successfully recall all classes even at a very low threshold value.

Additionally, the statement "all classes 0.995 at mAP@50" in the precision-recall score graph in Figure 17(b) indicates that the mAP scores for all classes are 99%. This suggests that the model is able to successfully recall and precision all classes even at a very low threshold value.

In Figure 18, it displays the losses and performance metrics of the object detection model during the training and validation process. Each of these graphs allows us to analyze a specific aspect of the model and its performance in detail.

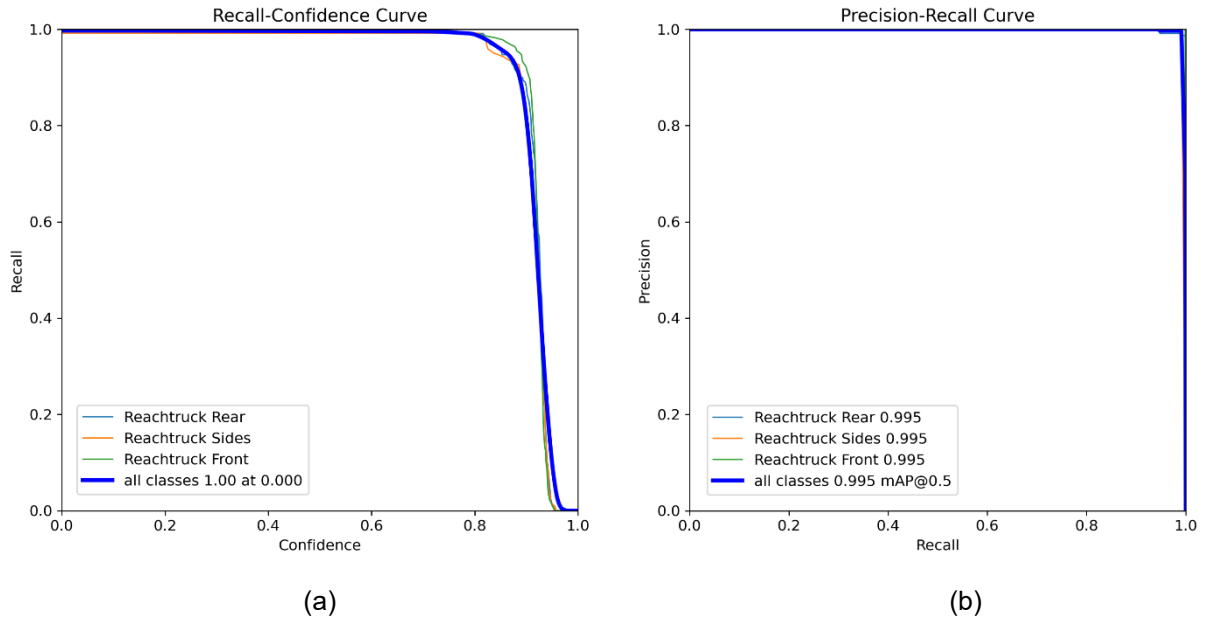


Figure 17. Recall and Precision graph of RT detection model

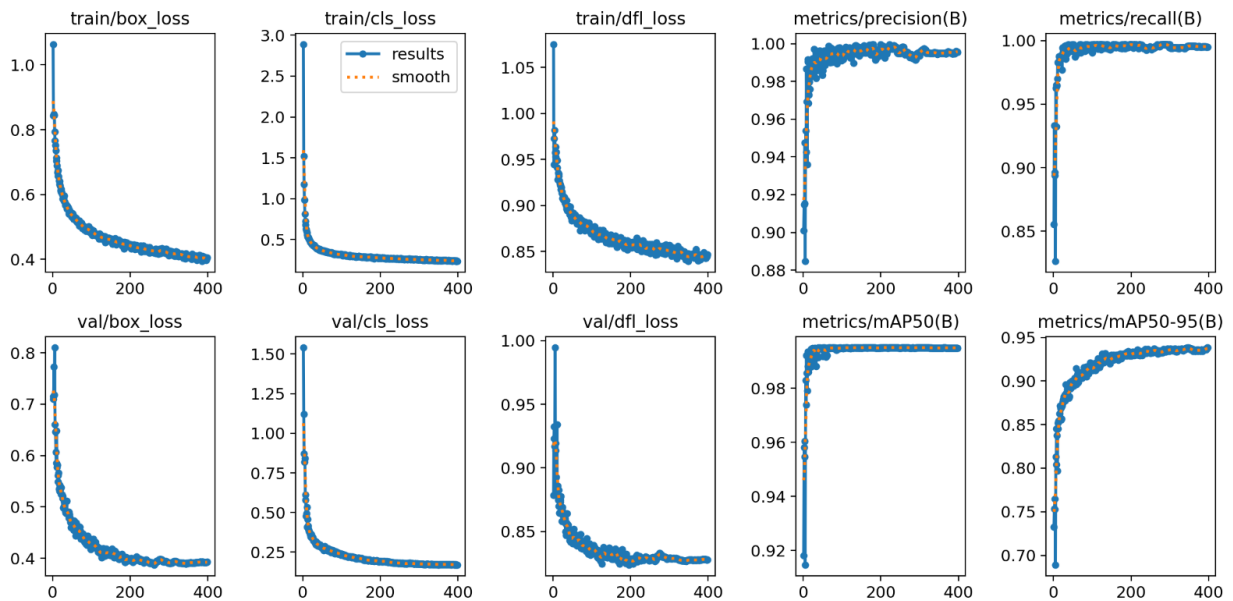


Figure 18. RT detection model training graph

Below are the technical comments for each graph related to the RT direction detection model:

Evaluation of Training Losses

- **train/box_loss**: This loss value, which represents the error in the positioning of object boxes during training, initially starts around 1.0 and decreases to approximately 0.4 after 200 epochs. This decrease indicates that the model has been learning to position objects more accurately.
- **train/cls_loss**: The classification loss starts at around 3.0 and gradually drops to 0.5 as training progresses. This reduction shows that the model has been learning to identify the class labels of objects more accurately.
- **train/dfl_loss**: The distribution loss starts at 1.05 and decreases to around 0.85 after 200 epochs. This reduction indicates that the model has been reducing uncertainty in its predictions and can make more precise predictions.

Evaluation of Validation Losses

- *val/box_loss*: The box loss on validation data starts at 0.8 and gradually drops to approximately 0.4 after 200 epochs, showing that the model can make accurate box placements on new data as well.
- *val/cls_loss*: Similar to the training data, the classification loss on validation data decreases from 1.5 initially to approximately 0.25 after 200 epochs.
- *val/df_l_loss*: The distribution loss starts at 0.99 and decreases to 0.85 by the end of training, showing that the model is also making more precise predictions on the validation data.

Metrics for RT Orientation Detection Model

- *metrics/precision(B)*: Initially low, the precision value rapidly increases to approximately 1.0 and stabilizes. This shows that the model is highly successful in making correct positive predictions with very few false positives.
- *metrics/recall(B)*: The recall value, which is initially low, rapidly rises to about 1.0 and stabilizes, demonstrating that the model can detect true positives at a high rate with very few false negatives.
- *metrics/mAP50(B)*: The mean accuracy metric @ 50 (IoU = 0.5) starts low and quickly rises to about 1.0, indicating high overall prediction accuracy by the model.
- *metrics/mAP50–95(B)*: The mean accuracy metric @ 50–95 (with IoU thresholds from 0.5 to 0.95) also starts low, increases rapidly, and stabilizes around 0.95, indicating that the model shows high prediction accuracy across various threshold values.

The model has also achieved successful results on the images from different environment conditions and various aspects. Through these features, it has the potential to be used as a reliable solution in automated RT recognition systems.

4.2. Social Navigation Tests

The developed social navigation system has been integrated into the PIXER robot platform. The system has been tested by the warehouse. The PIXER has been assigned to areas within an aisle width of 2.5 m and an approximate aisle length of 9 m. In the first situation, PIXER has been provided autonomous navigation on an empty way from A point to B point and the arrival time has been measured as $t_1=10,6$ seconds. The movement of the robot was monitored in real-time via the PIXER tracking and control interface. The real-time status image of PIXER, recorded from the interface, is shown in Figure 19.



Figure 19. In an empty aisle, with the RT detection model deactivated, the process of the PIXER robot planning its route globally and initiating movement locally.

In the second scenario, the RT detection module has been activated on PIXER in the same aisle, and the robot has been instructed to move from point A to point B. Initially, PIXER has planned its route globally, then has proceeded to plan the local route and has started moving. This situation has been illustrated in Figure 20. However, upon detecting an RT along the route, PIXER has planned an alternative path. As a result, PIXER, having reached point B from point A, has been measured to have a travel time of $t_2=30,6$ seconds. PIXER's alternative route planning upon encountering an RT has been shown in Figure 21.

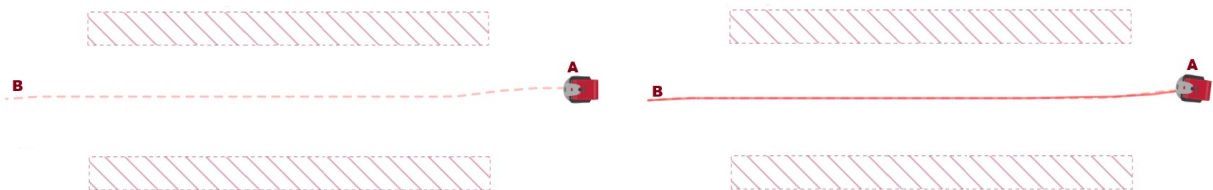


Figure 20. The process of the PIXER robot planning its route globally and initiating movement locally with the RT detection model activated.

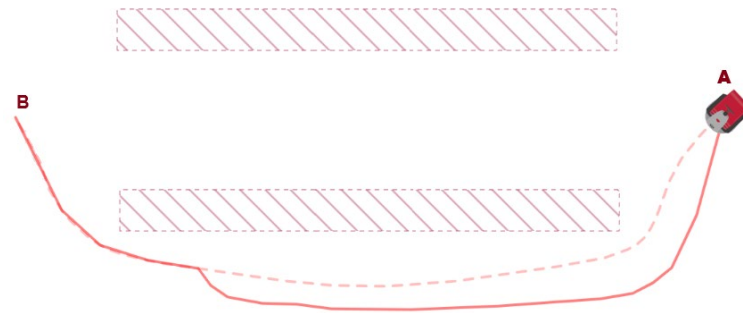


Figure 21. The PIXER robot's replanning of an alternative route upon detecting an RT along its path.

In the third scenario, the RT detection module on PIXER was deactivated in the same aisle, and the robot was instructed to move from point A to point B. Since the RT detection module was inactive on PIXER, it attempted to pass by the RT upon reaching its location and waited there. Due to this delay, PIXER eventually reached point B with a travel time of $t_3=49,5$ seconds. This situation is illustrated in Figure 22. A total of 5 different trials were conducted under 3 different conditions in the same environment. The time measurements obtained from these trials are presented in Table 3.

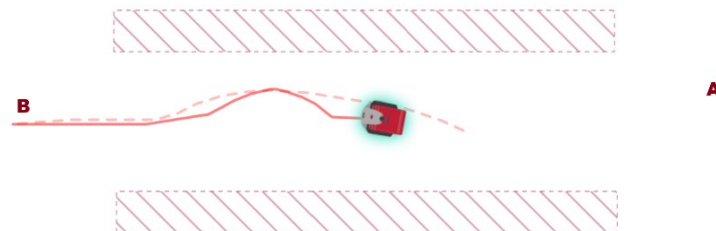


Figure 22. With the RT detection model active, the PIXER robot perceives the RT along its path as a regular object and attempts to pass by it.

Table 3. Studies in which the RT detection module is active and deactive

Test	Arrival time on empty road (sec)	Arrival time (sec) when RT detection model is active on the path where RT is located	Arrival time (sec) when RT detection model is disabled on the path where RT is present
1	10,6	30,6	49,5
2	10,9	32,2	50,3
3	9,5	29,5	49,8
4	10,8	31,8	50,7
5	11,2	33,4	51,2
Average	10,6	31,5	50,3

Some tests have been conducted by activating and deactivating the human detection model on PIXER. Similar to the RT detection model, PIXER has been instructed to move from point A to point B with the human detection model active and inactive under the same aisle conditions (Figure 23). The results of these tests have been presented in Table 4. For example, looking at the first row of the table: PIXER has reached point B from point A in $t_1=10,8$ seconds on an empty path. When the human detection model has been active and there has been a person along the route, PIXER has reached point B in $t_2=14,5$ seconds. When the human detection model has been inactive and there has been a person along the route, PIXER has reached point B in $t_2=15,3$ seconds. The results of 5 different trials conducted in this manner have been presented in the table. Additionally, a representative image of human detection from the depth camera on PIXER has been shown in Figure 24.

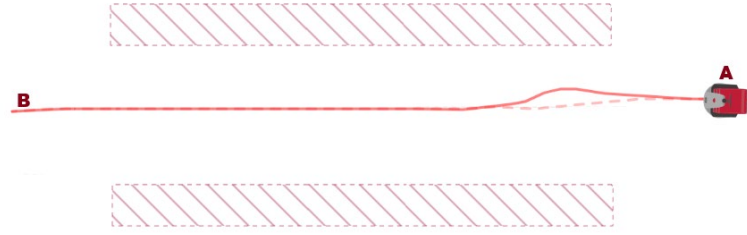


Figure 23. The scenario where a human is present during navigation in the aisle.

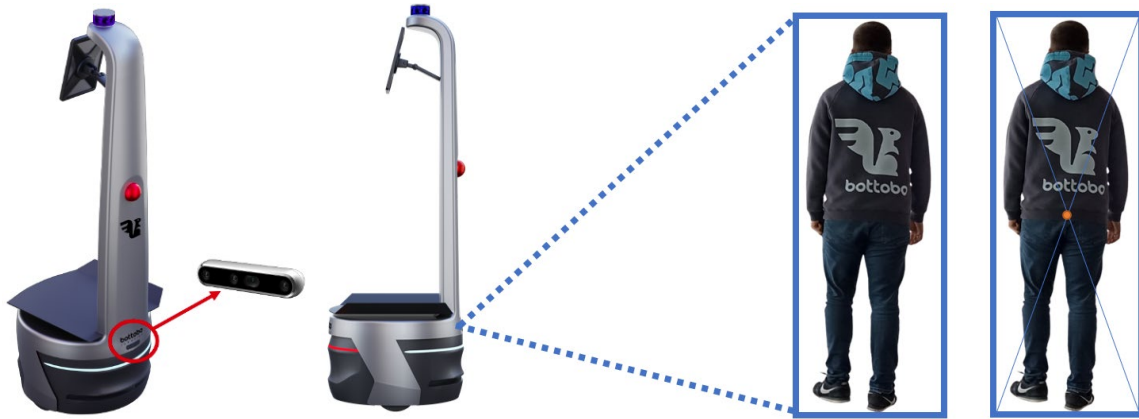


Figure 24. The scenario where a human is present during navigation in the aisle.

Table 4. Studies in which the human detection module is active and deactive

Test	Arrival time on empty road (sec)	Arrival time (sec) when the human detection model is active on the road with people	Arrival time (sec) when the human detection model is disabled on the road with people
1	10,8	14,5	15,3
2	10	15,2	15,9
3	9,9	15,6	14,6
4	10,7	14,9	14,8
5	11,2	16,1	16,2
Average	10,52	15,26	15,36

5. CONCLUSION

This study has comprehensively evaluated the social navigation performance of the PIXER robot in e-commerce warehouses, focusing on human and RT detection using YOLOv8n and depth cameras. Through the experiments conducted, the impact of active detection models on the robot's efficiency and safety has been examined during navigation in a 9-meter-long and 2.5-meter-wide aisle. In scenarios without any obstacles, the PIXER robot has successfully reached point B from point A in an average of 10.6 seconds. When the RT detection model has been active and an RT has been detected, the robot has replanned its path and reached its target in an average of 31.5 seconds. In contrast, without an active RT detection model, the robot has been unable to detect the RT and has had to wait to bypass the obstacle, reaching its target in 50.3 seconds. This situation has been shown in Figure 25. Similarly, the human detection model has also played a critical role in ensuring safe and efficient navigation. When the human detection model has been active, the robot, upon detecting a human, has reduced its maximum speed by 80% to pass at a safe distance, reaching its target in an average of 15.26 seconds. Without an active human detection model, however, the robot has failed to detect the human presence, faced potential collision risks, and experienced significant delays, reaching its target in an average of 15.36 seconds. This situation has been illustrated in Figure 26.

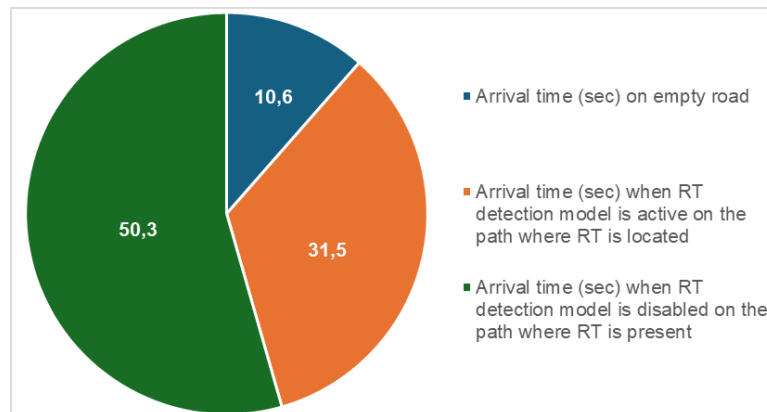


Figure 25. Average target arrival times (sec.) with the RT detection module active and inactive.

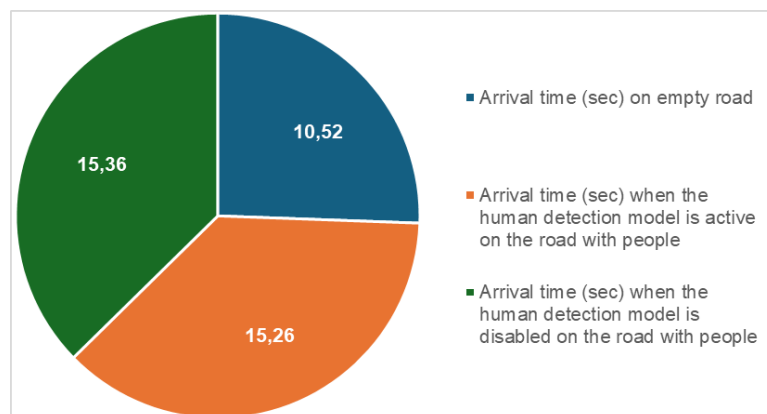


Figure 26. Average target arrival times (sec.) with the human detection module active and inactive.

When examining scenarios where the human detection model is active and inactive, it has been observed that the robot reached its target in approximately similar times in both cases. With the human detection model inactive, the robot behaved as if the obstacle were an ordinary dynamic object, slowing down but passing by in an unsafe manner without regard for what the object was. Additionally, because it hadn't pre-adjusted its speed, the robot approached the object too closely. However, in the case where the model was active, the robot detected the human and slowed down safely to avoid a collision. By adjusting its speed in advance, the robot avoided approaching the human object unsafely. These findings underscore the importance of integrating detection models to enhance the operational efficiency and safety of AMRs in dynamic environments. The notable time savings and reduction in collision risk demonstrate the value of advanced detection systems in supporting real-time decision-making and adaptive path planning processes.

Similar studies in literature primarily focus on areas such as human detection and maintaining a safe distance from humans. Unlike these studies, this research enhances the sensitivity of actively navigating AMR in a warehouse environment to dynamically moving objects in its surroundings. As a result, the AMR operates more efficiently in terms of both occupational safety and operational time.

This study was tested in a small-scale warehouse environment with a single AMR. Environments where multiple AMRs operate in larger warehouse settings are considered a potential topic for future research. Upcoming studies will focus on further optimizing detection algorithms to reduce latency and improve accuracy. Additionally, plans include expanding experimental setups to incorporate more complex and diverse warehouse environments. The exploration of multi-sensor fusion techniques could provide a more holistic perception framework, further enhancing the robot's navigation capabilities. Unlike this study, which focused on human and RT detection in social navigation, future work aims to develop new detection models for environments with other objects, such as electric pallet jacks.

Author Contributions

Bilal Gürevin: Literature review, Methodology, Analysis, Writing-original draft *Hilal Öztemel*: Modelling, Writing-review and editing *Burhan Turgut Ulutürk*: Literature review, Data Curation, Analysis *Emre Sebat*: Modelling, Writing-review and editing

Conflict of Interest

No potential conflict of interest was declared by the authors.

Funding

This study was supported by TUBITAK within the scope of "Project No: 3231501".

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

- Beyer, L., Hermans, A., Linder, T., Arras, K.O. and Leibe, B. (2018). "Deep Person Detection in 2D Range Data", arXiv preprint:1804.02463.
- Clavero, C., Patricio, M.A., García, J. and Molina, J.M. (2024). "DMZoomNet: Improving Object Detection Using Distance Information in Intralogistics Environments", *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 20 (7), 9163-9171. <https://doi.org/10.1109/TII.2024.3381795>
- Cognominal, M., Patronymic, K. and Wańkowicz, A. (2021). "Evolving Field of Autonomous Mobile Robotics: Technological Advances and Applications", *Fusion of Multidisciplinary Research An International Journal*, 2(2), 189-200.
- Daza, M., Barrios-Aranibar, D., Diaz-Amado, J., Cardinale, Y. and Vilasboas, J. (2021). "An Approach of Social Navigation Based on Proxemics for Crowded Environments of Humans and Robots", *Micromachines*, 12(2), 193. <https://doi.org/10.3390/mi12020193>
- Fragapane, G., Ivanov, D., Peron, M., Sgarbossa, F. and Strandhagen, J.O. (2022). "Increasing Flexibility and Productivity in Industry 4.0 Production Networks with Autonomous Mobile Robots and Smart Intralogistics", *Annals of Operations Research*, 308(1), 125-143. <https://doi.org/10.1007/s10479-020-03526-7>
- Francis, A., Pérez-d'Arpino, C., Li, C., Xia, F., Alahi, A., Alami, R. and Martín-Martín, R. (2023). "Principles and Guidelines for Evaluating Social Robot Navigation Algorithms", arXiv preprint arXiv:2306.16740.
- Gürevin, B., Gül, R., Eğri, S., Gültürk, F., Yıldız, M., Çalışkan, F. ve Pehlivan, İ. (2023). "A Novel Method Determining the Size and Angle of an Object Using a Depth Camera Without Reference", *Academic Platform Journal of Engineering and Smart Systems*, 11(2), 41-46. <https://doi.org/10.21541/apjess.1297168>
- Gürevin, B., Yıldız, M., Gültürk, F., Pehlivan, İ., Çalışkan, F., Boru, B. ve Yıldız, M.Z. (2024). "A Novel Control and Monitoring Interface Design for ROS Based Mobile Robots", *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 12(1), 496-509. <https://doi.org/10.29130/dubited.1214278>
- Intel Realsense. (2024). <https://www.intelrealsense.com/depth-camera-d455/>, (Erişim Tarihi: 25.07.2024).
- Jia, D., Hermans, A. and Leibe, B. (2020). "DR-SPAAM: A Spatial-Attention and Auto-Regressive Model for Person Detection in 2D Range Data", *2020 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 10270-10277.
- Kenk, M.A., Hassaballah, M. and Brethé, J.F. (2019). "Human-Aware Robot Navigation in Logistics Warehouses", *Proceedings of the 16th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO 2019)*, 371-378.
- Kim, C. E., Oghaz, M.M.D., Fajtl, J., Argyriou, V. and Remagnino, P. (2018). "A Comparison of Embedded Deep Learning Methods for Person Detection", arXiv preprint arXiv:1812.03451.
- Mavrogiannis, C., Baldini, F., Wang, A., Zhao, D., Trautman, P., Steinfeld, A. and Oh, J. (2023). "Core Challenges of Social Robot Navigation: A Survey", *ACM Transactions on Human-Robot Interaction*, 12(3), 1-39. <https://doi.org/10.1145/3583741>
- Mayershofer, C., Holm, D.M., Molter, B. and Fottner, J. (2020). "Loco: Logistics Objects in Context", *19th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA)*, 612-617.
- Önal, O. and Dandil, E. (2021). "Object Detection for Safe Working Environments Using YOLOv4 Deep Learning Model", *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (26), 343-351. <https://doi.org/10.31590/ejosat.951733>
- Reis, D., Kupec, J., Hong, J. and Daoudi, A. (2023). "Real-Time Flying Object Detection with YOLOv8", arXiv preprint arXiv:2305.09972.
- Salmerón-Garci, J., Inigo-Blasco, P., Di, F. and Cagigas-Muniz, D. (2015). "A Tradeoff Analysis of a Cloud-Based Robot Navigation Assistant Using Stereo Image Processing", *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 12(2), 444-454. <https://doi.org/10.1109/TASE.2015.2403593>
- Trakadas, P., Simoens, P., Gkonis, P., Sarakis, L., Angelopoulos, A., Ramallo-González, A. P., Skarmeta, A., Trochoutsos, C., Calvo, D., Pariente, T., Chintamani, K., Fernandez, I., Irigaray, A.A., Parreira, J.X., Petrali, P., Leligou, N. and Karkazis, P. (2020). "An Artificial Intelligence-Based Collaboration Approach in Industrial IoT Manufacturing: Key Concepts, Architectural Extensions and Potential Applications", *Sensors*, 20(19), 5480. <https://doi.org/10.3390/s20195480>
- Truong, X.T. and Ngo, T.D. (2016). "Dynamic Social Zone Based Mobile Robot Navigation for Human Comfortable Safety in Social Environments", *International Journal of Social Robotics*, 8, 663-684. <https://doi.org/10.1007/s12369-016-0352-0>
- Ultralytics. (2024a). <https://docs.ultralytics.com/tr/models/yolov8/>, (Erişim Tarihi: 25.07.2024).
- Ultralytics. (2024b). <https://github.com/ultralytics/ultralytics/tree/main>, (Erişim tarihi: 08.10.2024).

- Wang, F. and Li, X. (2023). "Research on Warehouse Object Detection for Mobile Robot Based on YOLOv5", *2023 International Conference on Image Processing, Computer Vision and Machine Learning (ICICML)*, 1196-1200.
- Zhu, K. and Zhang, T. (2021). "Deep Reinforcement Learning Based Mobile Robot Navigation: A Review", *Tsinghua Science and Technology*, 26(5), 674-691.

Mediator Role of Quality Work Life in Relationship Between Perception of Job Embeddedness and Intention to Leave Work in Nurses: A Cross-Sectional Study

Fatma Demirkaya¹ , Ece Uysal Kasap² , Hanife Tiryaki Şen³ 

ABSTRACT

Purpose: The aim of the study is to examine the relationships between the perception of “job embeddedness”, “quality of work life” and “intention to leave” among nurses and to determine the effect of “quality of work life” on the relationship between the perception of “job embeddedness” and “intention to leave”.

Methodology: This study was conducted between June and August 2024. It has a cross-sectional design. 244 nurses working in a public hospital in Istanbul were included in the study by convenience sampling method. Data were collected using scales regarding “job embeddedness”, “quality of work life” and “intention to leave” perceptions. IBM SPSS 28.0 Hayes' PROCESS macro was used for data analysis.

Findings: “Quality of work life” among nurses mediates the effect of the perception of “job embeddedness” on “intention to leave”. The findings provide an important perspective on the determinants of “intention to leave” among clinical nurses.

Originality: More studies are needed to determine the factors that will enable nurses to stay in their jobs. Studies have largely focused on nursing specialty groups (intensive care, infection, emergency nurses, primary care, etc.), with a few studies focusing on general clinical nurses. Although studies have examined the relationship between perception of job embeddedness, quality of work life, and intention to leave, no study has been found that has examined the causal relationship of these three variables among clinical nurses.

Keywords: Nursing, Intention to Leave Work, Job Embeddedness, Quality of Work Life, Human Resources Management.

JEL Codes: J45, L20, L80, M10.

Hemşirelerde İşe Gömülü Olma Algısı ve İşten Ayrılma Niyeti Arasındaki İlişkide İş Yaşam Kalitesinin Aracılık Rolü: Kesitsel Bir Çalışma

ÖZET

Amaç: Çalışmanın amacı, hemşirelerde “işe gömülmüşlük” algısı, “iş yaşam kalitesi” ve “işten ayrılma niyeti” arasındaki ilişkileri incelemek ve “işe gömülmüşlük” algısı ile “işten ayrılma niyeti” arasındaki ilişkide “iş yaşam kalitesinin” etkisini belirlemektir.

Yöntem: Bu çalışma Haziran-Ağustos 2024 tarihlerinde yapılmıştır. Kesitsel tasarımdadır. İstanbul'daki bir kamu hastanesinde çalışan 244 hemşire, kolayda örnekleme yöntemi ile çalışmaya dahil edilmiştir. Veriler, “işe gömülmüşlük”, “iş yaşam kalitesi” ve “işten ayrılma niyeti” algılarına ilişkin ölçekler kullanılarak toplanmıştır. Verilerin analizi için IBM SPSS 28.0 Hayes' PROCESS makrosu kullanılmıştır.

Bulgular: Hemşirelerde “iş yaşam kalitesi”, “işe gömülmüşlük” algısının “işten ayrılma niyeti” üzerindeki etkisine aracılık etmektedir. Bulgular klinik hemşireler arasında “işten ayrılma niyetinin” belirleyicileri hakkında önemli bir bakış açısı sağlamaktadır.

Özgünlük: Hemşirelerin işlerinde kalmalarını sağlayacak faktörleri belirlemek için daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır. Çalışmalar büyük ölçüde hemşirelik branş gruplarına (yoğun bakım, enfeksiyon, acil hemşireleri, birincil bakım vb.) odaklanmış olup birkaç çalışma genel klinik hemşirelerine odaklanmıştır. Çalışmalar işe gömülmüşlük algısı, iş yaşam kalitesi ve ayrılma niyeti arasındaki ilişkiyi incelemiş olsa da klinik hemşireler arasında bu üç değişkenin nedensel ilişkisini inceleyen bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Anahtar Kelimeler: Hemşirelik, İşten Ayrılma Niyeti, İşe Gömülmüşlük, İş Yaşam Kalitesi, İnsan Kaynakları Yönetimi.

JEL Kodları: J45, L20, L80, M10.

¹ University of Yalova, Faculty of Health Science, Department of Nursing, Yalova, Türkiye

² Başakşehir Çam and Sakura City Hospital, İstanbul, Türkiye

³ University of Health Sciences, Hamidiye Faculty of Nursing, Department of Nursing, İstanbul, Türkiye

Corresponding Author: Fatma Demirkaya, fatma.demirkaya@yalova.edu.tr

DOI: 10.51551/verimlilik.1589694

Research Article | Submitted: 22.11.2024 | Accepted: 06.02.2025

Atıf/Cite: Demirkaya, F., Uysal Kasap, E. and Tiryaki Şen, H. (2025). “Mediator Role of Quality Work Life in Relationship Between Perception of Job Embeddedness and Intention to Leave Work in Nurses: A Cross-Sectional Study”, *Verimlilik Dergisi*, 59(2), 325-336.

1. INTRODUCTION

Nurses leaving their profession is currently a global issue. The World Health Organization estimates that there will be a 12.9 million shortage in the number of healthcare professionals, most of whom are nurses, by 2039 (Khan et al., 2019). Challenges in the work environment, the aging nurse workforce and nurses leaving their profession are among the important reasons for the nursing shortage (Eriksson et al., 2021; Slater et al., 2021). In particular, professional nurses leaving the profession leads to increased costs, as well as affecting efficiency and quality patient care (Griffeth et al., 2000). It is reported that patient satisfaction increases, length of stay is shortened, and hospital infection rates decrease with professional nursing practices (Aiken et al., 2001). Considering that nurses constitute the majority of hospital manpower, it is clear that they are an important source of manpower that ensures hospital service efficiency due to the active role they play in health care services. The productivity of the nursing workforce directly affects the quality and efficiency of health services (Bayer and Gölbaşı, 2021; Oztürk and Akbulut, 2011).

Effective, effective and productive health care services can be provided more easily with a nursing workforce resource with high levels of job satisfaction. High job satisfaction will increase the productivity of the nursing workforce and the quality of nursing care services (Çam and Yıldırım, 2010). Considering that as job satisfaction increases, the “*intention to leave*” will decrease (Başpınar et al., 2024; Brady et al., 2025; Maniscalco et al., 2024; Yıldız and Intepeler, 2024), the “*intention to leave*” emerges as an important issue that needs to be investigated. Intention to leave (ITL) is described as “*a preoccupation that nurses experience in their own minds about leaving and not leaving the profession*” (Maleki et al., 2023). It leads to excessive workload, job stress, dissatisfaction with work life, decreased productivity and leaving the profession. It also negatively affects patient well-being (Albougami et al., 2020). It is important to retain nurses to ensure optimal patient safety and improve the quality of care.

It is seen that there are many studies on the factors that affect nurses' “*intention to leave*” (Bilben et al., 2025; Bingöl et al., 2025; Brady et al., 2025; Dönmez et al., 2024; Duran et al., 2024; Edwin et al., 2024; Maniscalco et al., 2024; Sarıkaya, 2024; Yalçın and Kalmuk, 2025). Unlike other studies, this study focuses on the factors that push nurses to stay at work (“*job embeddedness*”, “*quality of work life*”) rather than the factors that affect the intention to leave. In this direction, the aim of this study was to examine the relationships between the perception of “*job embeddedness*” and the “*quality of work life*” and “*intention to leave work*” in clinical nurses, while also determining the mediating effect of the “*quality of work life*” on the relationship between the perception of “*job embeddedness*” and “*intention to leave work*”.

The research consists of six sections. First, the introduction is made and the purpose and importance of the research is mentioned. In the second section, in line with the main purpose of the research, the intention to leave the job, the perception of job embeddedness and the quality of work life are explained in line with the studies in the literature and the conceptual framework related to the subject is given. In addition, in this section, the hypotheses of the study were developed in line with the previous studies and the research model was created. In the third section, the method of the research is explained with all its stages. In the fourth section, the hypotheses developed in line with the relevant literature are analyzed through statistical tests and the findings obtained are given. In the fifth section, the findings obtained are discussed in the light of the literature. Finally, the results of the research are given, the theoretical and practical contributions of the research are mentioned and suggestions are given.

2. LITERATURE REVIEW

Many factors can affect “*intention to leave work*”. Slater et al. (2021) state that dissatisfaction with the profession, and resources and organizational commitment are significantly associated with “*intention to leave work*”. Albougami et al. (2020) report that nurses' “*intention to leave work*” is affected by job satisfaction and quality of life. There are also current study results showing that job satisfaction affects “*intention to leave*” (Bingöl et al., 2025; Brady et al., 2025; Maniscalco et al., 2024). Saeed and Al-Shafei (2021) have shown that the type of hospital and the related workload are the most important determinants of nurses' “*intention to leave work*”. Eriksson et al. (2021) report that the poor organization of the work and working conditions affect “*intention to leave work*”. Phillips (2020) has stated that the perception of workload and burnout have an effect on intention to leave. Fasbender et al. (2019) have shown that stress is positively associated with “*intention to leave work*”. In addition, these studies, there are study results showing that family support level (Duran et al., 2024), work commitment (Sarıkaya, 2024), job stress (Bilben et al., 2025; Bingöl et al., 2025), talent management perception (Yalçın and Kalmuk, 2025) and psychological distress (Edwin et al., 2024) affect the “*intention to leave the job*”.

The perception of “*job embeddedness*” expresses employees' perception of the harmony between their values and the organizational goals, their relations with their teammates, and their organizational links through the number of opportunities they would sacrifice when they leave (Mitchell et al., 2001). This concept focuses on the reasons for employees to stay in the organization rather than the reasons for

leaving. Adapting to the values and principles of an institution with strong social links may reduce employees' willingness to leave work. The perception of healthcare service as valuable in society and having a moral aspect create emotional satisfaction and provide motivation in the nursing profession. Therefore, it is expected that the perception of "job embeddedness" will reduce nurses' "intention to leave work" (Vardaman et al., 2020). Choi and Kim (2015) report that nurses' perceptions of "job embeddedness" have an effect on their "intention to leave work". Dechawatanapaisal (2018) and Vardaman et al., (2020) state that nurses' perceptions of "job embeddedness" are negatively related to their "intention to leave work". Based on these findings, this study hypothesizes that nurses' perceptions of "job embeddedness" may negatively affect their "intention to leave work".

H₁: Nurses' perception of "job embeddedness" negatively affects their "intention to leave".

The "quality of work life" is an indicator of how satisfied employees are with their own needs and work conditions while working in accordance with the organizational goals (Elshahat et al., 2019; Salahat and Al-Hamdan, 2022). Having the optimal "quality of work life" ensures that nurses provide quality care services and improve the quality of care (Hamaideh et al., 2024; Javanmardnejad et al., 2021). Previous studies have shown that the "quality of work life" affects the care behaviors of clinical nurses (Inocian et al., 2021). Another study found that as the quality of work life improves, the productivity of nurses also increases (Nazari et al., 2019). Additionally, Borhani et al. (2016) showed that the quality of life is directly related to the productivity of nurses. It is stated in the literature that nurses are not satisfied with their "quality of work life" (Almalki et al., 2012; Devi and Hajamohideen, 2018). Lee et al. (2020) and Salahat and Al-Hamdan (2022) have shown that the "quality of work life" is negatively related to "intention to leave work". Therefore, the second hypothesis is that nurses' "quality of work life" may negatively affect their "intention to leave work".

H₂: Nurses' "quality of work life" negatively affects their "intention to leave".

Studies on the relationship between the perception of "job embeddedness" and the "quality of work life" are also available in the literature. Ibraheem and Kora (2015) have shown that the perception of "job embeddedness" of nurses and the "quality of work life" are related. Zhao et al. (2013) state that the "quality of work life" is positively related to "job embeddedness". Therefore, the third hypothesis is that the perception of "job embeddedness" can positively affect the "quality of work life". Through combining the three proposed hypotheses, the fourth hypothesis is also proposed that the "quality of work life" can mediate the relationship between the perception of "job embeddedness" and "intention to leave work".

H₃: The perception of "job embeddedness" positively affects "quality of work life".

H₄: "Quality of work life" mediates the relationship between the perception of "job embeddedness" and "intention to leave".

Professional nurses in developing countries who experience resource-related challenges are migrating to developed countries for better working conditions and career goals. This situation has become a serious issue, such as instability in the labor force in migratory countries. Further studies are required to determine the factors that will allow nurses to retain and the reasons that affect their "intention to leave work". The previous studies are largely related to nursing special branch groups (intensive care, infection, emergency nurses, primary care etc.), and few studies have focused on general clinical nurses. Current studies have examined the relationship between the perception of "job embeddedness", the "quality of work life" and "intention to leave work"; however, they have only examined the relationship between two of these variables, and there has not been a study examining the correlational relationship between these three variables among clinical nurses.

Table 1. Comparison of studies on the intention to leave, job embeddedness and quality of work life experienced by nurses

Author(s)	Intention to Leave Work	Job Embeddedness	Quality of Work Life
Zhang et al. (2019)	x	x	
Vardaman et al. (2020)	x	x	
Choi and Kim (2015)	x	x	
Dechawatanapaisal (2018)	x	x	
Lee et al. (2020)	x		x
Salahat and Al-Hamdan (2022)	x		x
Ibraheem and Kora (2015)		x	x
Zhao et al. (2013)		x	x

As seen in Table 1, when the studies on the subject were examined, no research was found that examined the relationships between nurses' "*intention to leave the work*", "*job embeddedness*" and "*quality of work life*" in a single study.

As a result of the literature review process conducted in the research, a research model was developed by considering the research variables in line with the determined hypotheses. This research model was shaped in accordance with the purpose to be achieved as a result of the research. The research model was developed in the context of the theoretical framework in the literature regarding the interaction between the three variables subject to the research. According to the model, the quality of work life plays a mediating role in the effect of "*job embeddedness*" perception on the "*intention to leave the work*". The model is schematized in Figure 1.

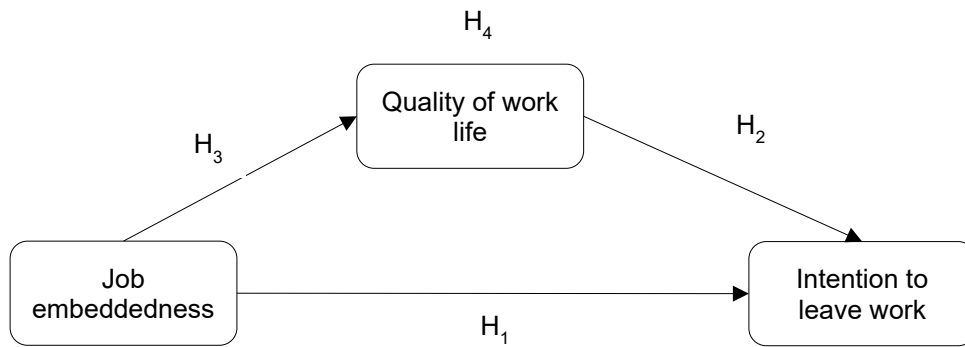


Figure 1. Research model

3. METHODOLOGY

3.1. Purpose

This study focused on clinical nurses and proposed four hypotheses based on previous studies. First hypothesis suggests that nurses' perception of "*job embeddedness*" can negatively affect their "*intention to leave work*". Second suggests that the increasing "*quality of work life*" of nurses may reduce their "*intention to leave work*". Thirdly, nurses' perception of "*job embeddedness*" can positively affect the "*quality of work life*". Fourth, the "*quality of work life*" plays a mediator role between the perception of "*job embeddedness*" and "*intention to leave work*". The aim of this study was to examine the relationships between the perception of "*job embeddedness*" and the "*quality of work life*" and "*intention to leave work*" in clinical nurses, while also determining the mediating effect of the "*quality of work life*" on the relationship between the perception of "*job embeddedness*" and "*intention to leave work*".

3.2. Research Design and Participants

The convenience sampling method was used to invite nurses working in a public hospital in Istanbul, Türkiye, to participate in this cross-sectional study. Registered nurses who were working in clinics and met the following criteria were included in the study: (1) to work in inpatient units for at least six months and (2) to volunteer for participation. Exclusion criteria were (1) being a clinical nurse who was not on duty during the research period for reasons such as annual leave, maternity leave, unpaid leave; (2) being a trainee nurse.

3.3. Procedure

This study was carried out in accordance with the Helsinki Declaration. Ethical compliance approval was received from Istanbul University-Cerrahpaşa Social Sciences and Humanities Research Ethics Committee with the decision dated 17.04.2024 and numbered 160. Prior to conduct of the research, the nurses responsible for the inpatient treatment units of the hospital were contacted, the purpose and importance of this research were explained, and their approval and cooperation were obtained. The purpose and significance of the research and security of the data were explained to nurses by the researchers. The questionnaires were distributed after receiving the signed informed consent forms. Clinic nurses were asked to fill out the forms in a calm environment. The forms took approximately 20 minutes to fill out. A total of 250 clinical nurses completed the survey between June and August 2024. Among those, 244 responses were considered valid and a response rate of 97.6% was achieved.

3.4. Measure

3.4.1. Sociodemographic information

The form prepared by the researchers consists of a total of nine questions questioning the individual (age, sex, marital status, educational status and professional characteristics of nurses (occupation, unit, professional experience, duration of experience in the institution, duration of experience in the unit).

3.4.2. The Intention to Leave Work Scale

The “*intention to leave work*” Scale (ILWS), which was developed by O'Reilly et al. (1991) to assess the intention to leave and Turkish translation study of which was conducted by Kıran (2017), was used. It consists of a total of four items in the five-point Likert type, ranging from “1-Strongly disagree” and “5-Strongly agree”. There is no subscale in the scale. The lowest score to be obtained from the scale is 4, and the highest score is 20, and higher scores indicate that the individual has a high “*intention to leave work*”. The scale is widely used in Türkiye. Cronbach's alpha value in the original study was found to be 0.88, while it was 0.90 in the Turkish translation study. In this study, Cronbach's alpha value was 0.90.

3.4.3. The Job Embeddedness Scale

The Job Embeddedness Scale (JES) was developed by Mitchell et al. (2001) and structured by Felps et al. (2009). The Turkish translation study was conducted by Kıran (2017). The JES consists of a total of 15 items and five subscales in the five-point Likert type, ranging from “1-Strongly disagree” and “5-Strongly agree”. The subscales of the scale include organizational fit (1, 2, 3, 4), dedication to the organization (5, 6), organizational links (7, 8, 9), environmental fit (10, 11, 12, 13), environmental links (14, 15). The lowest score to be obtained from the scale is 15, the highest score is 75, and higher scores indicate that the individual's perception of “*job embeddedness*” is high. In the original study, Cronbach's alpha value was 0.89 for the overall scale, while it ranged from 0.64 to 0.82 in the subscales. In the Turkish translation study, Cronbach's alpha value of the overall scale was found to be .88, while it ranged between .64 and .85. In this study, Cronbach's alpha value was .86 for the overall scale, while it ranged between 0.65 and 0.82 in the subscales.

3.4.4. The Quality of Work Life Scale

The Quality of Work Life Scale (QWLS) was developed by Van Laar et al. (2007) and its Turkish translation study was conducted by Akar and Üstüner (2017). The scale consists of a total of 23 items and six subscales in the five-point Likert type, ranging from “1-Strongly disagree” and “5-Strongly agree”, and the items 7, 9 and 19 are reverse scored. The subscales of the scale include job and career satisfaction (1, 3, 8, 11, 18, 20), general well-being (4, 9, 10, 15, 17, 21), control at work (2, 12, 23), working conditions (13, 16, 22), stress at work (7, 9, 19) and home-work interface (5, 6, 14) are ranked. The lowest score to be obtained from the scale is 23, the highest score is 115, and higher scores indicate that the individual's perception of the “*quality of work life*” is high. In the original study, Cronbach's alpha value was found to be .91 for the overall scale, while it ranged between 0.75 and 0.88 in the subscales, and in the Turkish translation study, it was 0.93 for the overall scale and ranged between 0.70 and 0.91 in the subscales. In this study, Cronbach's alpha value was found to be 0.90 for the overall scale, while it ranged between 0.63 and 0.84 in the subscales.

3.5. Statistical Analysis

SPSS package program (IBM Statistical Package for Social Science, version 28.0 New York, NY) was used for data entry and analysis. Continuous data were defined in mean, standard deviation and intervals. Categorical data were defined with frequencies and percentages. Hayes' PROCESS macro was used in SPSS for the model test. The mediator role of the “*quality of work life*” was tested using bootstrap method. A 95% confidence level (CI) including no zero indicates a significant mediating effect.

4. FINDINGS

4.1. Descriptive Statistics

Sociodemographic information of clinical nurses and descriptive statistics related to the main variables were shown in Table 2. The average age of the nurses participating in the study was 31.82 ± 8.28 years (range 19-60 years), average duration of professional experience was 8.99 ± 8.50 years (range 1-35 years), and the duration of experience in the institution was 5.41 ± 6.01 years (range 1-31 years). The majority of the clinical nurses were women (69.7%), single (52%), had a bachelor's degree (51.1%).

The mean scores of clinical nurses for “*job embeddedness*”, “*quality of work life*” and “*intention to leave work*” were 3.06 ± 0.59 , 2.62 ± 0.57 and 3.01 ± 1.16 , respectively. The mean scores of the subscales of the data collection tools were given in detail in Table 2.

Table 2 Descriptive statistics of sociodemographic information and main variables (N = 244)

Variable	n	%	Mean±SD	Range
Gender				
Women	170	69.7		
Men	74	30.3		
Age			31.82±8.28	19-60
Duration of Professional Experience			8.99±8.50	1-35
Duration of Experience in the Institution			5.41±6.01	1-31
Marital Status				
Married	117	48.0		
Single	127	52.0		
Educational Status				
High school	7	2.9		
Associate degree	29	11.9		
Bachelor's degree	125	51.1		
Master's degree	46	18.9		
Postgraduate	37	15.2		
JE			3.06±.59	1-5
Organizational fit			3.03±.81	1-5
Environmental fit			3.18±.86	1-5
Dedication to the organization			2.67±.86	1-5
Organizational links			3.48±.76	1-5
Environmental links			2.80±.97	1-5
QWL			2.62±.57	1-5
Job and career satisfaction			2.90±.66	1-5
General well-being			2.67±.63	1-5
Ability to manage the work			2.37±.63	1-5
Working conditions			2.29±.86	1-5
Home-work interface			2.34±.88	1-5
Stress at work			2.87±.82	1-5
ILW			3.01±1.16	1-5

Note: ILW=Intention to Leave Work, JE=Job Embeddedness, QWL=Quality of Work Life, SD=standard deviation.

4.2. Model Testing

The effects of independent variables on the dependent variable were given in Table 3. In this table, three different sub-models were created in accordance with the model. In Model 1, the effects of the perception of “*job embeddedness*” on the “*quality of work life*” were analyzed. Accordingly, the effect of the perception of “*job embeddedness*” on the “*quality of work life*” was found to be positive ($\beta = 0.669$, <0.01). H_3 hypothesis was accepted. In Model 2, the effects of the perception of “*job embeddedness*” on “*intention to leave work*” were analyzed. The perception of “*job embeddedness*” had a negative ($\beta = -0.898$, <0.01) effect on “*intention to leave work*”. H_1 hypothesis was accepted. The effect of the perception of “*job embeddedness*” and the “*quality of work life*” on “*intention to leave work*” was shown in the Model 3. The perception of “*job embeddedness*” was found to have a negative effect on “*intention to leave work*” ($\beta = -0.537$, <0.01), while “*quality of work life*” also had a negative ($\beta = -0.538$, <0.01) effect on “*intention to leave work*”. H_2 hypothesis was accepted.

Table 3. Main effect on the “quality of work life” on “intention to leave work”

Variable	Model 1: QWL			Model 2: ITL			Model 3: ITL		
	β	SE	p	β	SE	p	β	SE	p
(Constant)	0.574	0.139	<0.001**	5.770	0.348	<0.001**	6.079	0.352	<0.001**
JE	0.669	0.045	<0.001**	-0.898	0.111	<0.001**	-0.537	0.151	<0.001**
QWL							-0.538	0.157	0.001*
F		225.439			65.043			39.835	
p		<0.001**			<0.001**			<0.001	
R ²		0.482			0.212			0.248	

Note: ILW=Intention to Leave Work; JE=Job Embeddedness; QWL=Quality of Work Life; SE=standard error.

*p<0.05, **p<0.01

The Hayes process analysis was performed and shown in Table 4 in order to determine whether the “*quality of work life*” had a mediator role in the relationship between the perception of “*job embeddedness*” and “*intention to leave work*”. In order to reach the results of the mediation analysis in the study, direct regression analyses were primarily performed between the variables. According to Model 1, the effect of the perception of “*job embeddedness*” on the “*quality of work life*”, which was a mediator variable, and the effect of the “*quality of work life*” on “*intention to leave work*” was found to be significant. In addition, the effect of the perception of “*job embeddedness*” on “*intention to leave work*” was significant (Model 2). In Model 3, it was found that the effects of “*quality of work life*” on “*intention to leave work*” along with the perception of “*job embeddedness*”, which was an independent variable, were significant. Therefore, significant relationships necessary for the mediating effect were identified. Accordingly, as understood in Table 3 showing the mediation analysis, the mediating effect of “*quality of work life*” was found to be statistically significant. ($Y=-0.36$, $SE=0.115$, 95% (Boot CI [-0.577, -0.125])). In this context, the mediator role of “*quality of work life*” was found in the effect of the perception of job embedded on “*intention to leave work*”. H_4 hypothesis was accepted.

Table 4. Direct and indirect effects of the perception of “*job embeddedness*” on “*intention to leave work*”

Total effect of JE on ITL			Unstand.	SE	LLCI	ULCI
			-0.898	0.111	-1.117	-0.678
Direct effect of JE on ITL						
			-0.537	0.151	-0.836	-0.239
Indirect effect of JE on ITL mediated by QWL						
Independent	Mediator	Dependent	Unstand.	SE	LLCI	ULCI
JE	QWL	ITL	-0.360	0.115	-0.577	-0.125

Note: ILW=Intention to Leave Work; JE=Job Embeddedness; LLCI=lower limit confidence interval; QWL=Quality of Work Life; SD=standard error; ULCI=upper limit confidence interval

5. DISCUSSION

To the best of our knowledge, this study is the first study designed to reveal the effects of perception of “*job embeddedness*” and “*quality of work life*” on “*intention to leave work*” in clinical nurses. The findings showed that the “*quality of work life*” had a mediator role between the perception of “*job embeddedness*” and “*intention to leave work*”.

In this study, general clinical nurses were found to have a higher mean “*intention to leave work*” score compared to previous studies conducted with special branch nurses such as psychiatric nurses (Hamaideh et al., 2024) (2.76 ± 0.77) and intensive care nurses (Lee et al., 2020) (2.33 ± 1.34). The findings showed that general clinical nurses working in public hospitals experienced a moderate level of “*intention to leave work*”, which was higher than of special branch nurses. Special branch nurses may have tasks requiring higher autonomy compared to general clinical nurses due to their specific knowledge and skills in their field. It is also believed that the level of professionalization and job satisfaction specific to their fields are also high. Therefore, the level of “*intention to leave work*” of general clinical nurses may be higher compared to special branch nurses.

The analysis showed that the perception of “*job embeddedness*” may have negatively affected intention to leave, which was consistent with the first hypothesis of the current study and previous studies (Vardaman et al., 2020; Dechawatanapaisal, 2018). It was found that the higher the perception of “*job embeddedness*”, the lower “*intention to leave work*”. Given the high level of clinical nurses of intention to leave, the necessity to ensure the perception of “*job embeddedness*” becomes critically important. For this reason, measures should be applied to facilitate the perception of nurses of “*job embeddedness*”. For instance, networks that link nurses with their institution can be developed through involving nurses in the planning of changing processes, making applications that will promote a sense of team, taking steps to strengthen the sense of trust among nursing staff, providing a better work environment and valuable resources such as job support, information and salary etc. (Vardaman et al., 2020; Dechawatanapaisal, 2018). Therefore, the perception of “*job embeddedness*” can be increased.

The current analyses showed that the “*quality of work life*” of clinical nurses may have negatively affected their “*intention to leave work*”, which was consistent with previous studies (Salahat et al, 2022; Lee et al., 2013). This finding revealed that as the “*quality of work life*” of nurses was higher, their level of intention to leave was the lower. Many studies have stated that nurses are dissatisfied with their “*quality of work life*” (Javanmardnejad et al., 2021; Almalki et al., 2012; Devi and Hajamohideen, 2018). Considering the encouraging effect of the “*quality of work life*” on “*intention to leave work*”, nurse managers should take measures to at least achieve an optimal level of the “*quality of work life*”. These measures can include reducing the workload of clinical nurses, encouraging autonomy, managing work stress, supportive attitude

towards ensuring home-work interface, creating an effective communication environment with managers and teammates.

As for the relationship between the perception of “*job embeddedness*” and the “*quality of work life*”, analyses showed that the perception of “*job embeddedness*” can positively affect the “*quality of work life*” among clinical nurses, which is consistent with the study hypothesis and previous studies (Ibraheem and Kora, 2015, Zhao et al, 2013). The findings also showed that the higher the perception of clinical nurses of “*job embeddedness*”, the better their “*quality of work life*” was. Therefore, interventions that focus on increasing the perception of clinical nurses of “*job embeddedness*” are helpful in improving the “*quality of work life*”.

An innovative finding of the study was that the “*quality of work life*” mediated the relationship between the perception of “*job embeddedness*” and “*intention to leave work*”. This showed that clinical nurses having a strong perception of “*job embeddedness*” may have directly reduced “*intention to leave work*”, while also indirectly reducing intention to leave through improving the “*quality of work life*”. The mediating effect of “*quality of work life*” revealed a new perspective on reducing clinical nurses’ “*intention to leave work*”. These findings provided empirical support for the perception of “*job embeddedness*” and the reducing effect of “*quality of work life*”, which may have supported the development of practices aimed at reducing clinical nurses’ “*intention to leave work*”. In addition, this study also provided findings that would lead to further research. Given the current findings, nurse managers are required to take the initiative for measures, programs or evidence-based initiatives aimed at strengthening the perception of “*job embeddedness*” and improving the “*quality of work life*”.

This study was conducted under certain limitations. The fact that the study was conducted in a cross-sectional design limited the ability to detect correlational relationships between the perception of “*job embeddedness*”, the “*quality of work life*” and “*intention to leave work*”. Future studies to determine correlational relationships should be planned in longitudinal design. The participants were invited from a tertiary public hospital using the convenience sampling method, which may limit the generalizability of the results. Therefore, a randomized sampling method including the whole country should be adopted in future research.

6. CONCLUSION

Clinical nurses have reported a moderate level of “*intention to leave work*”. The perception of “*job embeddedness*” may negatively and directly affect the “*quality of work life*”, while positively and directly affecting “*intention to leave work*”. The “*quality of work life*” may negatively and directly affect “*intention to leave work*”. In addition, the perception of “*job embeddedness*” may indirectly affect “*intention to leave work*” mediated by the “*quality of work life*”. In other words, the “*quality of work life*” mediates the effect of the perception of “*job embeddedness*” on “*intention to leave work*”.

An employee’s intention to leave the job can be determined by different variables. Quality of work life is an important factor in the intention to leave the job. If the employee feels that the quality of work life is low, they can evaluate their current resources and opportunities and intend to leave the job, which can result in leaving the job. On the contrary, the more employees feel embedded in their job, the more they move away from the intention to leave the job. Quality of life can play a role as a mitigating factor in the intention to leave of an employee with a low perception of job embeddedness. As a result, high levels of job embeddedness and quality of work life increase the loyalty of nurses to the organization and therefore reduce their intention to leave the job.

The current findings provide a valuable perspective on the determinants of “*intention to leave work*” among clinical nurses. This study can contribute nurse managers to pay attention to intention of clinical nurses to leave work, as well as to create practices and programs aimed at improving the perception of “*job embeddedness*” and the “*quality of work life*”, and to indirectly reduce workforce turnover and “*intention to leave work*”. Nurse managers can support the quality of work life and job embeddedness perceptions and minimize thoughts of leaving by increasing nurses’ participation in decisions, providing an autonomous work environment, taking initiatives to increase work motivation, creating a safe work environment, giving importance to communication, providing an environment that will facilitate nurses’ self-expression, and planning in-service trainings that will support their professional development. Increasing the “*job embeddedness*” and “*job quality*” levels of nurses, who are an important source of labor for hospitals, and thus reducing the turnover of professional labor, will reduce the personnel shortage that causes serious disruptions in care services and will have significant effects on care costs and institutional performance. In this case, it will be easier to obtain positive patient outcomes, the efficiency of health care services will be increased, positive reflections will be obtained for many segments of society and positive contributions will be made to the country’s economy. In this study, the general quality of life, physical and mental health status of nurses can be used in future studies instead of the quality of work life used as a mediator variable.

Testing the model used in different samples, different sectors and using larger samples will be useful in terms of making more comprehensive interpretations.

Acknowledgement

We would like to thank all nurses who participated in the interviews.

Author Contributions

Fatma Demirkaya: Conceptualization, Literature Review, Methodology, Writing, Analysis, Writing-original draft, Modelling, Writing-review and editing *Ece Uysal Kasap*: Literature Review, Methodology, Data curation, Writing-original draft, Modelling *Hanife Tiryaki Şen*: Methodology, Writing-review and editing

Conflicts of Interest

The authors declare no conflicts of interest.

Funding

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

Compliance with Ethical Standards

For this study, the approval of the Istanbul University-Cerrahpaşa Social Sciences and Humanities Research Ethics Committee was obtained with the decision dated 17.04.2024 and numbered 160.

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

- Aiken, L.H., Clarke, S.P., Sloane, D.M., Sochalski, J.A., Busse, R., Clarke, H., Giovannetti, P., Hunt, J., Rafferty, A.M., Shamian, J. (2001). "Nurses' Reports on Hospital Care in Five Countries", *Health Affairs*, 20(3),43-53. <https://doi.org/10.1377/hlthaff.20.3.43>
- Albougami, A. S., Almazan, J.U., Cruz, J.P., Alquwez, N., Alamri, M.S., Adolfo, C.A., Roque, M.Y. (2020). "Factors Affecting Nurses' Intention to Leave Their Current Jobs in Saudi Arabia", *International Journal of Health Sciences*,14(3), 33, 32536847.
- Almalki, M.J., FitzGerald, G. and Clark, M. (2012). "The Relationship between Quality of Work Life and Turnover Intention of Primary Health Care Nurses in Saudi Arabia", *BMC Health Services Research*, 12(1), 1-11. <https://doi.org/10.1186/1472-6963-12-314>
- Başpınar, M.M., Zerafet, B., Demiray, S., Başar, H. and Adas, G.T. (2024). "A Hospital-Based Nursing Study on Intention to Leave and Nurse-Physician Collaboration", *Nursing Forum*, 503988. <https://doi.org/10.1155/2024/9503988>
- Bayer, N. and Gölbaşı, Z. (2021). "Nurses' Attitudes Towards Productivity and Affecting Factors", *Hacettepe University Faculty of Nursing Journal*, 8(1), 1-7. <https://doi.org/10.31125/hunhemsire.906603>
- Bilben, R. and Ekinçi Demirelli, A. (2025). "Investigating the Effects of Job Stress and Burnout on Turnover Intention in Healthcare Workers Using Structural Equation Modeling", *Journal of Management Sciences*, 23(55), 143-174. <https://doi.org/10.35408/comuybd.1479435>
- Bingöl, Ü., Bilgin, N., Çetinkaya, A. and Kutlu, A. (2025). "Variables Predicting Job Stress and Turnover Intention of Nurses During The COVID-19 Pandemic in Turkey", *Journal of Advanced Nursing*, 81, 878–886. <https://doi.org/10.1111/jan.16287>
- Borhani, F., Arbabisarjou, A., Kianian, T. and Saber, S. (2016). "Evaluation of Predictable Productivity of Nurses Working in Kerman Medical Sciences University Training Hospitals Based on Work Life Quality Dimensions", *Global Health Sciences Journal*, 8(10), 65–72. <https://doi.org/10.5539/gjhs.v8n10p65>
- Brady, N., O'Connell, S., Gilligan, D., Madden, C., Gannon, L., Howson, V., Ball, J.E., Murphy, A., Griffiths, P., Duffield, C., Scott, P.A., Mc Carthy, V.J.C. and Drennan, J. (2025). "Planned Changes to Nurse Leadership, Staffing and Skill-Mix: Impact on the Working Environment, Job Satisfaction and Intention to Leave", *Journal of Advanced Nursing*. <https://doi.org/10.1111/jan.16752>
- Choi, J.S. and Kim, K.M. (2015). "Job embeddedness Factors as a Predictor of Turnover Intention Among Infection Control Nurses in Korea", *American Journal of Infection Control*, 43(11), 1213-1217. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2015.06.017>
- Çam, O. and Yildirim, S. (2010). "Job Satisfaction in Nurses and Effective Factors: Review", *Türkiye Klinikleri Journal of Nursing Sciences*, 2(1), 64-70.
- Dechawatanapaisal, D. (2018). "Nurses' Turnover Intention: The Impact of Leader-Member Exchange, Organizational Identification and Job Embeddedness", *Journal of Advanced Nursing*, 74(6), 1380-1391. <https://doi.org/10.1111/jan.13552>
- Devi, B.R. and Hajamohideen, O.M. (2018). "A Study on Quality of Work Life Among Nurses Working in Private Hospitals A Thanjavur, Tamilnadu", *IOSR Journal of Business and Management*, 20(4), 61-63.
- Dönmez, B., Sariçoban, S. and Ulusoy, H. (2024). "Evaluation of the Relationships Between Covid- 19 Fear, Excessive Workload and Intention to Leave Among Healthcare Workers: A Descriptive Study", *Gümüşhane University Journal of Health Sciences*,13(1), 361-369. <http://dx.doi.org/10.37989/gumussagbil.1410496>
- Duran, S., Çelik, İ., Demirel, B. C. and Bektaş, M. (2024). "The Effect of Family Support Levels of Nurses on Their Intention to Leave the Job During the COVID-19 Pandemic: A Cross-Sectional Study", *Gümüşhane University Journal of Health Sciences*, 13(3), 1277-1285. <http://dx.doi.org/10.37989/gumussagbil.1370150>
- Edwin, H.S., Trinkoff, A.M., Mills, M.E. and Zhu, S. (2024). "Psychological Distress Symptoms in Nurses and Their Intention to Leave: A Cross-Sectional Secondary Data Analysis", *Journal of Advanced Nursing*, 1-14. <https://doi.org/10.1111/jan.16290>
- Elshahat, E., Mostafa Shazly, M. and Abd-Elazeem, H. (2019). "Relationship between Quality of Work Life and Turnover Intention Among Staff Nurses", *Egyptian Journal of Health Care*, 10(1), 178-193. <https://doi.org/10.21608/ejhc.2019.28793>
- Eriksson, A., Jutengren, G. and Dellve L. (2021). "Job Demands and Functional Resources Moderating Assistant and Registered Nurses' Intention to Leave", *Nursing Open*, 8(2), 870-881. <https://doi.org/10.1002/nop2.694>
- Fasbender, U., Van der Heijden, B. and Grimshaw, S. (2019). Job Satisfaction, Job Stress and Nurses' Turnover Intentions: The Moderating Roles of on-The-Job And Off-The- Job Embeddedness", *Journal of Advanced Nursing*, 75(2), 327-337. <https://doi.org/10.1111/jan.13842>

- Felps, W., Mitchell, T.R., Hekman, D.R., Lee, T., Holtom, B.C. and Harman, W.S. (2009). "Turnover Contagion: How Coworkers' Job Embeddedness and Job Search Behaviors Influence Quitting". *Academy of Management Journal*, 52(3), 545-561. <http://dx.doi.org/10.5465/AMJ.2009.41331075>
- Griffeth, R.W., Hom, P.W. and Gaertner, S. (2000). "A Meta-Analysis of Antecedents and Correlates of Employee Turnover: Update, Moderator Tests, and Research Implications for The Next Millennium", *Journal of Management*, 26(3), 463-488. [http://dx.doi.org/10.1016/S0149-2063\(00\)00043-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0149-2063(00)00043-X)
- Hamaideh, S., Khait, A.A., Al-Modallal, H., Masa'deh, R., Hamdan-Mansour, A., AlBashtawy, M. (2024). "Professional Quality of Life, Job Satisfaction, and Intention to Leave Among Psychiatric Nurses", *Nursing Reports*, 14(2), 719-732. <https://doi.org/10.3390/nursrep14020055>
- Ibraheem, S. and Kora, H. (2015). "The Contribution of "job embeddedness" on Work Life Quality and Organizational Citizenship Behavior on British University in Egypt". *Education and Training (JAMET)*, 1(1), 3-23.
- Inocian, E.P., Cruz, J.P., Saeed Alshehry, A., Alshamlani, Y., Ignacio, E.H. and Tumala, R.B. (2021). "Professional Quality of Life and Caring Behaviours Among Clinical Nurses During The COVID-19 Pandemic", *Journal of Clinical Nursing*, 6(10), <https://doi.org/10.1111/jocn.15937>
- Javanmardnejad, S., Bandari, R., Heravi-Karimooi, M., Rejeh, N., Nia, H.S. and Montazeri, A. (2021). Happiness, Quality of Working Life, and Job Satisfaction Among Nurses Working in Emergency Departments in Iran", *Health and Quality of Life Outcomes*, 19, 112. <https://doi.org/10.1186/s12955-021-01755-3>
- Khan, N., Jackson, D., Stayt, L. and Walthall H. (2019). "Factors Influencing Nurses' Intentions to Leave Adult Critical Care Settings", *Nursing in Critical Care*, 24(1). 24–32. <https://doi.org/10.1111/nicc.12348>
- Kıran, E. (2017). "Örgütsel Sinizm ve İşe Gömülü Olmanın Psikolojik Sermaye ile İşten Ayrılma Niyeti Arasındaki İlişkideki Aracılık Rolü: Kamu Çalışanları Üzerine Bir Araştırma", Master's Thesis, University of Mustafa Kemal, Hatay.
- Lee, M.A., Ju, Y.H. and Lim, S.H. (2020). "A Study on the Intent to Leave and Stay Among Hospital Nurses in Korea: A Cross-Sectional Survey", *Journal of Nursing Management*, 28(2), 332-341. <https://doi.org/10.1111/jonm.12929>
- Lee, Y.W., Dai, Y.T., Park, C. and McCreary, L.L. (2013). "Predicting Quality of Work Life" on Nurses' Intention to Leave", *Journal of Nursing Scholarship*, 45(2), 160-168. <https://doi.org/10.1111/jnu.12017>
- Maleki, R., Janatolmakan, M., Fallahi, M., Andayeshgar, B. and Khatony, A. (2023). "Intention to Leave the Profession and Related Factors in Nurses: A Cross-Sectional Study in Kermanshah, Iran", *Nursing Open*, 10, 4298–4304. <https://doi.org/10.1002/nop2.1670>
- Maniscalco, L., Enea, M., de Vries, N., Mazzucco, W., Boone, A., Lavreysen, O., Baranski, K., Miceli, S., Savatteri, A., Fruscione, S., Kowalska, M., de Winter, P., Szemik, S., Godderis, L. and Matranga, D. (2024). "Intention to Leave, Depersonalisation and Job Satisfaction in Physicians and Nurses: A Cross-Sectional Study in Europe", *Scientific Reports*, 14(1), 2312. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-52887-7>
- Mitchell, T.R., Holtom, B.C., Lee, T.W., Sablinski, C.J. and Erez, M. (2001). "Why People Stay: Using Job Embeddedness to Predict Voluntary Turnover", *Academy of Management Journal*, 44(6), 1102-1121.
- Nazari, A., Alimohammadzadeh, K. and Hosseini, S.M. (2019). "A Study of Relationship Quality of Working Life and Its Relation with The Productivity of Nurses in Hospitals in Qom", *Journal of Research Development in Nursing and Midwifery*, 16(1), 25-32. <http://dx.doi.org/10.29252/jqbfm.16.1.26>
- O'Reilly, C.A., Chatman, J. and Caldwell, D.F. (1991). "People and Organizational Culture: A Profile Comparison Approach to Assessing Person-Organization Fit", *Academy of Management Journal*, 34(3), 487-516.
- Oztürk, N.S. and Akbulut, Y. (2011). "Determination of Nurses' Attitudes Towards Organizational Factors Affecting Workforce Efficiency", *Ankara Health Services Journal*, 10(1), 19-30.
- Phillips, C. (2020). "Relationships Between Workload Perception, Burnout, and Intent to Leave Among Medical-Surgical Nurses", *International Journal of Evidence-Based Healthcare*, 18(2), 265-273. <https://doi.org/10.1097/XEB.0000000000000220>
- Salahat, M.F. and Al-Hamdan, Z.M. (2022). "Quality Of Nursing Work Life, Job Satisfaction, and Intent to Leave Among Jordanian Nurses: A Descriptive Study", *Heliyon*, 8(7), e09838. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09838>
- Sarıkaya, Ş. D. (2024). "Burnout, Work Commitment, and Intention to Leave among Nurses During the COVID-19 Pandemic: A Cross-Sectional Study in the Second Year of the Pandemic in Turkey", *Journal of Current Nursing Research*, 4(3), 87-99.
- Slater, P., Roos, M., Eskola, S., McCormack, B., Hahtela, N., Kurjenluoma, K. and Suominen, T. (2021). "Challenging and Redesigning A New Model to Explain Intention to Leave Nursing", *Scandinavian Journal of Caring Science*, 35(2), 626-635. <https://doi.org/10.1111/scs.12884>
- Van Laar, D., Edwards, J.A. and Easton, S. (2007). "The Work Related Quality of Life Scale For Healthcare Workers", *Journal of Advanced Nursing*, 60(3), 325-333.

- Vardaman, J.M., Rogers, B.L. and Marler, L.E. (2020). "Retaining Nurses in a Changing Health Care Environment: The Role of Job Embeddedness and Self-Efficacy", *Health Care Management Review*, 45(1), 52-59. <https://doi.org/10.1097/HMR.0000000000000202>
- Yalçın, A. and Kalmuk, G. (2025). "The Effect of Talent Management Perception on Job Satisfaction and Leave Intention in Generation Z", *Journal of Management Sciences*, 23(55), 1-32. <https://doi.org/10.35408/comuybd.1434046>
- Yıldız, E. and Intepeler, Ş. S. (2024). "The Effect of Teamwork Attitude on Job Satisfaction and Intention to Leave in Surgical Teams", *Journal of Effective Nursing*, 17(1), 134-147. <https://doi.org/10.46483/deuhfed.1127749>
- Zhang, L., Fan, C., Deng, Y., Lam, C. F., Hu, E. and Wang, L. (2019). "Exploring the Interpersonal Determinants of Job Embeddedness and Voluntary Turnover: A Conservation of Resources Perspective", *Human Resource Management Journal*, 29(3), 413-432. <http://dx.doi.org/10.1111/1748-8583.12235>
- Zhao, X., Sun, T., Cao, Q., Li, C., Duan, X., Fan, L. ve Liu, Y. (2013). "The Impact of "Quality of Work Life on Job Embeddedness and Affective Commitment and Their Co-Effect on Turnover Intention of Nurses", *Journal of Clinical Nursing*, 22(5-6), 780-788. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2702.2012.04198.x>

Floyd-Warshall ve Karınca Kolonisi Optimizasyonu Algoritmaları ile Depo Rota Planlaması

Furkan Ulu¹ , Gülveren Tabansız Göç² , Fatih Çavdur¹ 

ÖZET

Amaç: Bu çalışmada, depo rota planlama problemleri için tam ve bütünlük bir çözüm yaklaşımı önerilmektedir.

Yöntem: Önerilen çözüm yaklaşımına göre, öncelikle depoda ziyaret edilmesi gereken noktaların bazılarını temsil eden bir ağ gösterimi oluşturulmaktadır. Daha sonra, her turda bir gezgin satıcı problemi oluşturmak ve söz konusu ağ yapısının ilgili düğümler arasındaki en kısa yolların belirlenmesi için Floyd-Warshall algoritması kullanılmaktadır. Son olarak, aracın toplam seyahat mesafesini minimize ederek ilgili gezgin satıcı probleminin çözümünü sağlamak için karınca kolonisi optimizasyonu algoritması kullanılmaktadır.

Bulgular: Önerilen çözüm yaklaşımının performansını göstermek için çeşitli veri kümeleri ile hesaplamalı deneyler gerçekleştirilmiştir. Sonuçların oldukça tatmin edici olduğu ve önerilen çözüm metodolojisinin depo rota planlamasında önemli faydalar sağlayabileceği gözlemlenmiştir.

Özgünlük: Çalışmanın en önemli katkısını, depo rota planlama problemi için Floyd-Warshall algoritması ile karınca kolonisi optimizasyonu algoritmasını bir arada kullanan esnek bir çözüm yaklaşımı çerçevesi sunulması oluşturmaktadır.

Anahtar Kelimeler: En Kısa Yol Problemi, Gezgin Satıcı Problemi (GSP), Floyd-Warshall Algoritması, Karınca Kolonisi Optimizasyonu (KKO) Algoritması, Rota Planlama.

JEL Kodları: C61, R41, C63.

Warehouse Route Planning via Floyd-Warshall and Ant Colony Optimization Algorithms

ABSTRACT

Purpose: In this study, we propose a complete and integrated solution approach for warehouse route planning problems.

Methodology: According to the proposed solution approach, a graph representation of the warehouse is first constructed where some vertices correspond to points to be visited. The Floyd-Warshall algorithm is employed to calculate the shortest paths between the corresponding points of the graph to formulate a traveling salesman problem for each tour. Finally, the ant colony optimization algorithm is utilized to solve the corresponding traveling salesman problem by minimizing the total travel distance.

Findings: Computational experiments are conducted with different datasets to demonstrate the performance of the proposed solution approach. It is observed that the results are quite satisfactory and the proposed solution methodology might provide significant benefits in warehouse route planning.

Originality: The main important contribution of our study is the proposal of a flexible solution framework that combines the Floyd-Warshall algorithm and the ant colony optimization algorithm for the general route planning problem.

Keywords: Shortest Path Problem, Traveling Salesman Problem (TSP), Floyd-Warshall Algorithm, Ant Colony Optimization (ACO) Algorithm, Route Planning.

JEL Codes: C61, R41, C63.

¹ Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye

² Mudanya Üniversitesi, Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye

Corresponding Author: Gülveren Tabansız Göç, gulveren.tabansizgoc@mudanya.edu.tr

DOI: 10.51551/verimlilik.1539618

Research Article | Submitted: 27.08.2024 | Accepted: 10.02.2025

Atıf/Cite: Ulu, F. Tabansız Göç, G. ve Çavdur, F. (2025). "Floyd-Warshall ve Karınca Kolonisi Optimizasyonu Algoritmaları ile Depo Rota Planlaması", *Verimlilik Dergisi*, 59(2), 337-354.

EXTENDED ABSTRACT

Warehouses are fundamental components of a supply chain, and they must be effectively managed in line with changing market conditions and increasing demand. Warehouse management, which encompasses receiving, storage, internal transport, order picking, and shipping processes, aims to meet customer demands on time while minimizing costs. Order picking is a critical warehouse operation which might involve gathering, packaging, and delivering items considering customer demands. Since order picking constitutes a significant portion of total warehouse costs, it plays a vital role in reducing operational expenses and optimizing resource usage. A large part of the time spent by order pickers in the warehouse is dedicated to travel, which makes it important to consider the shortest distance-routes. However, traditional routing methods may fall short in providing optimal solutions in complex warehouse structures and may cause delays in order picking, leading to increased logistics costs and decreased operational efficiency. Therefore, warehouse routing processes need to be supported by more efficient algorithms. Advanced optimization techniques plan order picking routes by minimizing the total distance, and hence, saving time and reducing labor costs.

In this study, a complete and integrated solution approach for warehouse route planning problems is developed. The study assumes that there is only one vehicle in the warehouse, starting at a designated point (the depot), collecting items from storage locations, and returning to the starting point at end of its tour, which is modeled as the traveling salesman problem (TSP). According to the proposed solution approach, an initial network representation of the locations to be visited in a particular tour is constructed. We then determine the shortest paths for all nodes in the network using the Floyd-Warshall algorithm, and formulate the corresponding TSP. Finally, the ant colony optimization (ACO) algorithm is used to minimize the total travel distance and solve the TSP.

The main contribution of our study is the proposal of a flexible solution framework that combines the Floyd-Warshall algorithm and the ACO algorithm for rectangular-shaped warehouse route planning problems to provide an efficient and integrated solution adaptable to different scenarios. Additionally, various experiments are conducted with different data sets to demonstrate the performance of the proposed approach.

The solution performance is analyzed based on the changes in terms of the number of pickup points and some of the parameters of the ACO algorithm. It is observed that as the number of pickup points increased, both the route length and the solution time increase in general. An increase in the number of ants is associated with a longer solution time while an increase in the evaporation coefficient resulted in longer route lengths. When the pheromone intensity increases, the average route length slightly decreases, although no significant effect is observed on the solution time. The solution times, however, might be considered as reasonable.

There are some additional concepts to consider in future studies. One of these is about the assumption of having only one vehicle in the system at any given time, which might be restrictive in real-life warehouse environments. In such cases, the methodology would need to be updated to accommodate a multi-vehicle setup. Future research could also explore the use of alternative solution approaches instead of the Floyd-Warshall and ACO algorithms.

1. GİRİŞ

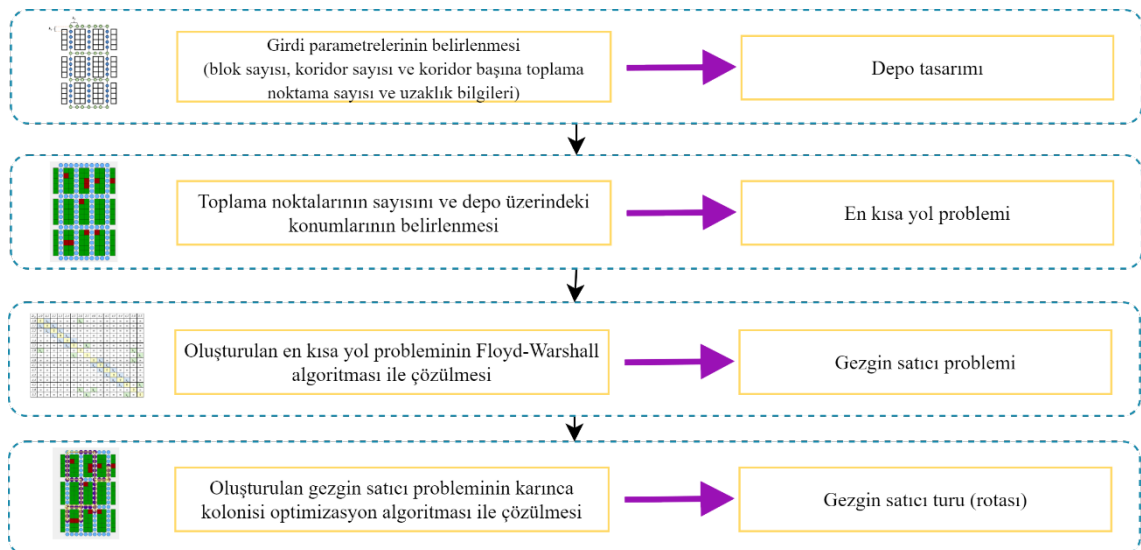
Sipariş toplama, depolardaki stokların müşteri taleplerine uygun şekilde toplanması, paketlenmesi ve doğru zamanda teslim edilmesini içeren kritik bir süreçtir. Bu operasyon, müşteri memnuniyeti için büyük önem taşımaktadır ve etkin yürütüldüğünde ürünlerin hızlı ve doğru bir şekilde teslim edilmesini sağlamaktadır. Sipariş toplama operasyonunda, personelin toplama noktalarını dikkate alarak optimize edilmiş bir rota oluşturması önemlidir. Rotalama, müşteri siparişlerine göre malzemelerin bulunduğu bölgelerin doğru bir planlama ile taranmasını sağlamaktadır. Optimize edilmiş bir rota ile depodaki malzemelerin daha az zaman ve emek harcanarak etkin bir şekilde toplanması hedeflenmektedir. Bu rota, malzemelerin düzenli stoklanması ve toplayıcıların doğru yönlendirilmesiyle belirlenmektedir. Doğru rotalama, sipariş toplama sürecini hızlandırarak depolama maliyetlerini düşürmektedir ve operasyonel verimliliği artırmaktadır.

Depo operasyonlarında, diğer depo operasyonlarına kıyasla en yüksek maliyetli operasyon sipariş toplama olarak kabul edilmektedir (Park, 2012: 3; Zhang ve diğerleri, 2019). Sipariş toplama işlemlerinin toplam depo işletme maliyetinin %55'ten fazlasını oluşturabileceği iddia edilmektedir (Bottani ve diğerleri, 2015: 645) ve bu nedenle lojistikte belirtilen yüksek düzeyde verimliliği elde etmek için bu işlemlere odaklanmak gerekmektedir. Sipariş toplama süreci, seçilen ürünlerin sevkiyatına kadar olan tüm işlemleri içermektedir ve bu nedenle seçilen ürünlerin bir sıralama/birleştirme süreci ile taşınması gibi işlemler de bu süreçte dahil edilmektedir (Rouwenhorst ve diğerleri, 2000). Ancak bu çalışmanın odak noktası, bir dizi öğenin seçilmesini ve seçilen öğelerin depolama yerlerinden alınması kısmını oluşturmaktadır. Problemde, depoda sadece tek bir araç olduğu varsayılmakta ve araç belirli bir başlangıç noktasından (depodan) başlayarak her turda bazı önceden belirlenmiş konumlardan ürünleri alıp aynı başlangıç noktasına geri dönmektedir.

Bu çalışmanın en önemli katkısı, Floyd-Warshall ve karınca kolonisi optimizasyonu (KKO) algoritmaları kullanılarak depo rota planlama problemi için bütünlük bir çözüm metodolojisi geliştirilmesidir. Ayrıca, geliştirilen metodolojinin çözüm performansını göstermek amacıyla çeşitli veri kümeleriyle hesaplamalı deneyler gerçekleştirilmiştir.

Çalışma kapsamında, önerilen çözüm yaklaşımının akış şeması Şekil 1'de gösterilmiştir. Şekil 1 incelendiğinde, öncelikle depo tasarımı belirlemek amacıyla gerekli girdi parametreleri (blok sayısı, koridor sayısı, her koridor başına toplama noktası sayısı ve uzaklık bilgileri) tanımlanır. İkinci adımda, toplama noktalarının sayısı ve depo içindeki konumları belirlenerek, en kısa yol problemi oluşturulur. Üçüncü adımda, bu en kısa yol problemi Floyd-Warshall algoritması ile çözülür ve her bir tur için gezgin satıcı problemi elde edilir. Son olarak, dördüncü adımda, gezgin satıcı problemi (GSP), KKO algoritması ile çözülerek, gezgin satıcının izlediği en verimli rota (gezgin satıcı turu) belirlenir.

Makalenin düzeni şu şekildedir. Bir sonraki bölümde, kısa bir literatür taraması sunulmaktadır. İzleyen bölüm, kullanılan çözüm yaklaşımının ayrıntılarını içermekte; ilgili alt bölümlerde Floyd-Warshall algoritmasıyla en kısa yol hesaplamaları ve KKO algoritmasıyla rotalama konuları bulunmaktadır. Daha sonra, önerilen yaklaşım için geliştirilen bir sayısal örnek ile metodolojinin gösterimi sunulmuş olup, sonraki bölümde çözüm performansı incelenmiştir. Son bölüm, çalışma hakkındaki genel yorumları içermektedir.



Şekil 1. Önerilen çözüm yaklaşımının çerçevesi

2. LİTERATÜR TARAMASI

Depolar, tedarik zincirlerinin temel unsurlarındandır ve piyasa dalgalanmaları, ürün çeşitliliği artışı ve hızlanan tedarik talepleri gibi faktörler, bu sistemlerin işlevlerini etkilemektedir (Rushton ve diğerleri, 2017: 255: 286). Depoların, tedarik zincirinin özel ihtiyaçlarına uygun şekilde planlanması ve yönetilmesi gerekmektedir. Depolar, tesisin kurulumu, işletilmesi, personel ve ekipman kullanımı gibi nedenlerle tedarik zincirinin maliyetli bileşenlerinden biridir ve bu yüzden depo tasarımı ve yönetimi, ürünlerin rekabet gücünü etkileyen kritik bir faktördür (Gu ve diğerleri, 2007).

Firmalar depo yönetiminde iki temel faktörü dikkate almaktadır: birincisi, müşteri taleplerini doğru ve zamanında karşılamak, ikincisi ise bu süreci en düşük maliyetle sağlamaktır. Depolarda teslim alma, depolama, iç taşıma, toplama ve sevkiyat gibi çeşitli operasyonlar yer almaktadır. Teslim alma operasyonu, depo süreçlerinin ilk aşamasıdır ve ürün tedarikçiden geldiğinde bu operasyonda indirme, tanımlama, kontrol ve kabul işlemleri yapılmaktadır. Daha sonrasında kabul edilen ürünler depoya yerleştirilmektedir ve ardından müşteri siparişlerine göre toplama, paketleme ve sevkiyat işlemleri gerçekleştirilmektedir.

Depo operasyonlarından sipariş toplama işlemi ise müşteri siparişlerine cevap olarak talep edilen öğelerin bir depodaki depolama yerlerinden alınması süreci olarak tanımlanabilir (Masae ve diğerleri, 2020). Sipariş toplama operasyonu, toplam depo operasyon maliyetlerinin %55'ten fazlasını oluşturabileceği için, bu operasyonlara odaklanmak lojistikte yüksek verimliliğe ulaşmak için önemli bir strateji olarak değerlendirilmektedir (Bottani ve diğerleri, 2015: 645; Park, 2012: 3; Zhang ve diğerleri, 2019). Ayrıca, sipariş toplayıcıların depoda seyahat etmek için harcadıkları süre, toplam toplama süresinin neredeyse yarısını oluşturmaktadır (Çelik ve Süral, 2019; Calzavara ve diğerleri, 2019). Bunlar dikkate alındığında dağıtım merkezlerinin performansı ve genel tedarik zinciri operasyonlarının verimliliği, sipariş toplama operasyonlarından doğrudan etkilenmektedir (Teck ve Dewil, 2022). Sipariş toplama işleminin önemli olması nedeniyle geçmiş çalışmalarda, sipariş toplama verimliliğinin iyileştirilmesi için, sipariş toplama sistemlerinin Van Gils ve diğerleri (2019b), toplama stratejilerinin Resmi ve diğerleri (2022) ve düzenlerinin Tutam ve White (2019) geliştirilmesi gibi çeşitli yöntemler önerilmiştir.

Sipariş toplama operasyonu, toplanan ürünlerin sevkiyat öncesindeki tüm işlemleri kapsamaktadır. Bu yüzden ilgili literatürde toplanan ürünlerin belirli bir düzene göre sıralanması veya gruplandırılması, bu sürecin bir parçası olarak dikkate alınmaktadır (Rouwenhorst ve diğerleri, 2000). Sipariş birleştirme işleminde, siparişlerin bölünmesi yaklaşımına dayalı olarak farklı sipariş toplama stratejileri (sipariş bölme ve sipariş gruplandırma) kullanılmaktadır. Sipariş bölme yönteminde, siparişteki her öğe ayrı bir toplama birimi olarak kabul edilir, sipariş gruplandırma yönteminde ise toplama personeli öncelikle öğeleri seçer ve ardından bunları organize edip sınıflandırır (Zhu ve diğerleri, 2021). Sipariş birleştirme problemleriyle ilgili olarak literatürde Resmi ve diğerleri (2022), Cergibozan ve Tasan (2022) ile Gil-Borras ve diğerleri (2021) tarafından yapılan çalışmalar incelenebilir. Ayrıca, literatürde, sipariş birleştirme ve sipariş toplama süreçlerinin birbirinden bağımsız olmadığına dair çalışmalar da bulunmaktadır (Aerts ve diğerleri, 2021; Kübler ve diğerleri, 2020; Ardjmand ve diğerleri, 2019; Van Gils ve diğerleri, 2019a). Bu çalışmalar, siparişlerin sınıflandırılmasının verimliliğini artırmaya yönelik, gruplama ve toplama kararlarını eşzamanlı olarak optimize eden yüksek kaliteli çözümler üretmeyi hedeflemektedir (Yousefi Nejad Attari ve diğerleri, 2021). Ancak bu çalışmada, sadece siparişlerin toplanması ve yönlendirilmesi problemi dikkate alınmıştır.

Depo operasyonlarının temel sorunlarından bir diğeri ise ürünlerin depolama yerlerinin belirlenmesiyle ilgilidir. De Santis ve diğerleri (2018), literatürdeki çalışmaların büyük bir kısmının, bu çalışmayla benzer şekilde ürünlerin rastgele bir şekilde depolandığını varsaydığını (rastgele atama politikası) ve sınıf tabanlı ya da özel depolama politikalarını analiz eden çalışmaların oldukça sınırlı olduğunu ifade etmektedir. Bu kapsamda, farklı depo atama politikalarını ele alan çalışmalara örnek olarak Petersen (1999), Dukic ve Oluic (2007) ile Rao ve Adil (2013) gösterilebilmektedir. Depo atama politikası, genel depo operasyonlarının başlıca zorluklarından biri olarak kabul edilmektedir. Bu konuda kapsamlı bir derleme sunan Gu ve diğerleri (2007), depo atama problemini üç farklı kategori altında sınıflandırarak incelemektedir.

Sipariş toplama operasyonunda, operasyonel verimliliği artırarak zaman ve maliyet tasarrufu sağlayan önemli problemlerden biri de rota planlamasıdır. Bazı durumlarda, rota planlaması, süreçler arasındaki senkronizasyonun önemli olduğu üretim programlarını içermektedir. Bu durumlarda, rota planlaması, genel üretim planlama sürecinin bir alt problemi haline gelmektedir. Bu tür durumlarda, aracın her turunda toplama noktaları belirlenmektedir ve araç ürünleri ilgili depolama yerlerinden almaktadır. Araç sayısı birden fazla olduğunda ise araç sayısının belirlenmesi, hizmet yerlerinin seçilmesi ve turların başlangıç zamanlarının belirlenmesi gibi unsurlar da dikkate alınmalıdır. Bu tür bir durumda, Emde ve Boysen (2012a) tarafından önerildiği gibi, iki hiyerarşik seviyeden oluşan bir karar verme süreci kullanılabilir. Ayrıca, rota planlamasının diğer malzeme taşıma operasyonlarıyla (örneğin, teslimat) birleştirildiği çalışmalar (de Souza ve diğerleri, 2008; Golz ve diğerleri, 2012; Alnahhal ve Noche, 2015; Vaidyanathan ve diğerleri, 1999) veya tesis düzeniyle birlikte ele alındığı çalışmalar (Emde ve Boysen, 2012b) da literatürde mevcuttur.

Depo toplama operasyonlarında yalnızca rota planlamasına odaklanıldığında, çeşitli yaklaşımların kullanıldığı gözlemlenmektedir. Literatürde, depo rota planlaması için S-şekli ve en büyük boşluk sezgiselleri gibi basit ve yaygın olarak bilinen sezgisel yöntemler bulunmaktadır. Bu sezgiseller, koridor başına düşen toplama noktalarının sayısına bağlı olarak daha kısa rotalar üretmektedir; ancak, optimal rotaların elde edilmesi, ilgili prosedürlerin bir karışımının kullanılmasıyla mümkün olabilmektedir. Bu tür prosedürler her zaman en iyi rotayı sağlayamasa da basitlikleri nedeniyle uygulamada cazip hale gelmektedir. Örneğin, Masae ve diğerleri (2021), yaprak düzenine sahip bir depoyu en büyük boşluk, S-şekli, geri dönüş ve orta nokta algoritmalarıyla çözmektedir. Silva ve diğerleri (2020) ise sipariş toplama ve depolama tahsis kararlarını optimal, geri dönüş, S-şekli, orta nokta ve en büyük boşluk stratejileriyle birleştirerek, değişken komşuluk araması için bir metasezgisel formülasyon sunmaktadır. Bu tür prosedürler hakkında daha detaylı bilgiler için Caron ve diğerleri (1998; 2000), Petersen (1997; 1999), Koster ve Poort (1998) ile Petersen ve Aase (2004) çalışmaları incelenebilir.

Öte yandan, dikdörtgen biçimli (paralel koridorlu) depolarda rota planlama problemleri bu çalışmada olduğu gibi GSP kurgusu altında ele alınabilmektedir ve bu tür problemler literatürde depo özel GSP olarak adlandırılmaktadır (Lu ve diğerleri, 2016; Scholz ve diğerleri, 2016). GSP, tüm gerçek hayat depo kısıtlamalarını tam olarak temsil etmese de aracın kapasite kısıtlamaları ve ziyaretleri için zaman pencereleri gibi unsurların eklenmesiyle problemin ele alınış şeklini daha gerçekçi hale getirebilmektedir. Ancak, NP-zor bir problem olan GSP'nin optimal çözümüne ulaşmak, hesaplama açısından oldukça zorlayıcı olabilmektedir.

De Santis ve diğerleri (2018), Ratliff ve Rosenthal (1983) ile Koster ve Poort (1998) gibi çalışmalar, depo rota planlama probleminin bazı varyantlarını optimal olarak çözmek için kesin algoritmalar geliştirmişlerdir. Ancak, bu algoritmalar yalnızca belirli ve basit depo konfigürasyonları için geçerli olmaktadır ve iki bloktan daha fazla bloğa sahip depolar için çözüm sağlayamamaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada da olduğu gibi bazı çalışmalarda da (örneğin, Roodbergen ve de Koster, 2001; Hall, 1993; Vaughan, 1999) depo rota planlama problemini çözmek için sezgisel yaklaşımlar tercih edilmiştir.

Sezgisel algoritmalar için nispeten daha güncel literatür incelendiğinde, son yıllarda depo verimliliğini artırmak amacıyla geliştirilen birçok farklı yaklaşım öne çıkmaktadır. Literatürde en çok kullanılan metasezgisel algoritmalarından biri de parçacık sürü optimizasyonu algoritmasıdır. Cheng ve diğerleri (2015), sipariş toplama ve rotalama problemini çözmek için parçacık sürüsü optimizasyonu ve KKO tabanlı hibrit bir yöntem önermiştir. Parçacık sürü optimizasyonu, seyahat mesafelerini minimize ederken, bu çalışma ile benzer şekilde KKO algoritması her parti için en uygun toplama rotasını belirlemektedir. Kübler (2020), dinamik depolama konumu ataması ve sipariş toplama rotalarının yönlendirilmesi sorununu çözmek için iteratif bir yaklaşım geliştirmiş ve parçacık sürü optimizasyonu yöntemini kullanarak sipariş toplama ve rotalama problemini çözmüştür. Cergibozan ve Taşan (2022), genetik algoritma ve parçacık sürü optimizasyonu yöntemlerini birleştirerek, mevcut yönteme kıyasla seyahat mesafelerinde %40 iyileşme sağladıklarını göstermiştir. Yousefi Nejad Attari ve diğerleri (2021), sipariş toplama ve rotalama problemini karışık tamsayılı programlama modeli olarak ele almış ve genetik algoritma, parçacık sürü optimizasyonu ve yapay arı kolonisi algoritmaları ile çözmüştür. Lin ve diğerleri (2024) ise parçacık sürü optimizasyonunu kullanarak sipariş gruplama ve rotalama problemini çözmüş ve seyahat mesafesinde %52'lik bir azalma sağlamıştır.

Literatürde en çok kullanılan metasezgisel algoritmalarından bir diğeri ise genetik algoritmadır. Ardjmand ve diğerleri (2019), benzetilmiş tavlama ve genetik algoritma yöntemlerini kullanarak toplama sırası ve rotalarını optimize etmiş, genetik algoritmanın büyük ölçekli problemlerde benzetilmiş tavlama göre daha verimli olduğunu göstermiştir. Cano ve diğerleri (2019) ise genetik algoritmayı, S-Şekil sezgisel algoritmasıyla karşılaştırıldığında %13,9 mesafe tasarrufu sağladıklarını belirtmiştir. Ayrıca, Ardjmand ve diğerleri (2020), manuel sipariş toplama operasyonları için genetik algoritma ve yapay sinir ağı kombinasyonunu sunmuş ve karışık tamsayılı programlama modelleriyle karşılaştırıldığında daha iyi sonuçlar elde etmiştir. Cano ve diğerleri (2024), genetik algoritmanın, çok bloklu yüksek seviyeli depolama sistemlerinde ortak sipariş toplama sorunları çözmek için KKO algoritmasından daha verimli performans gösterdiğini belirtmiştir.

Ayrıca literatürde farklı sezgisel algoritmalar da kullanılmıştır. Örneğin, Xie ve diğerleri (2023), otonom yönlendirilmiş araç destekli toplama sistemleri için değişken komşuluk arama algoritması kullanarak sipariş gruplama ve rota kararlarını entegre etmiştir. Guo ve diğerleri (2023), büyük ölçekli e-ticaret depoları için merkezi olmayan depolama ve bölgesel bant parti seçimini eş zamanlı olarak ele almış ve mal toplamının verimliliğini artırmaya yönelik bir koridor tabanlı yapılandırıcı gruplama algoritması geliştirmiştir. Wu ve diğerleri (2024), sipariş toplama ve rotalama problemi için bulanık tabanlı popülasyon kontrolüne sahip bir memetik algoritma sunarak mevcut yöntemlere kıyasla üstün çözüm kalitesi elde etmiştir. Zhao ve diğerleri (2024), küçük ölçekli problemler için karışık tamsayılı programlama modeli, büyük ölçekli problemler için ise uyarlanmış büyük komşuluk arama tabanlı tabu arama algoritması önermiş ve bu algoritmanın karışık

tamsayı programlama, uyarlanmış büyük komşuluk arama ve tabu arama yöntemlerinden daha üstün olduğunu göstermiştir. DHaen ve diğerleri (2024), dinamik sipariş girişleri ve kapasite kısıtlarını dikkate alan bir çevrimiçi bütünleşmiş gruplama, toplayıcı yönlendirme ve grup zamanlama algoritması geliştirmiş ve bu algoritmanın toplayıcı sayısını %12,5 oranında azalttığını belirtmiştir. Son olarak, Pugliese ve diğerleri (2024), bir perakende dağıtım şirketinin sipariş toplama sürecini optimize etmek için uyarlanmış büyük komşuluk arama algoritmasını kullanmış ve mevcut süreçten daha iyi bir sonuç aldıklarını göstermişlerdir. Bu çalışmada, rota planlama problemi için KKO algoritması kullanılmıştır.

KKO algoritması, olasılıklı bir yaklaşım ile ağlar üzerinde optimal yollar bulmayı hedefleyen bir hesaplama yöntemidir. Marco Dorigo'nun doktora tezinde sunulan ilk versiyonundan bu yana, karıncaların yiyecek kaynağı ile kolonileri arasında bir yol bulma davranışını temel alarak geliştirilmiştir. KKO metasezgiseli, temel olarak karınca çözümlerinin oluşturulması ve feromon güncelleme adımları ile iki ana prosedürden oluşmakta ve çeşitli problemleri çözmek için genel bir yöntem olarak uygulanmaktadır. KKO, farklı alanlardaki çeşitli problemleri çözmek için birçok varyant ile zenginleştirilmiştir. Bu çalışmada, GSP çözümü için KKO algoritması kullanılmakta ve ilgili prosedürler probleme uygun olarak uygulanmaktadır.

KKO algoritmasının detayları için Dorigo ve diğerleri (1999) çalışması incelenebilir. Daha kapsamlı bir inceleme için ise Dorigo ve Stutzle'nin (2004) çalışması referans alınabilir. Ayrıca, KKO uygulamaları hakkında daha fazla bilgiye Stutzle ve Hoos (2000), Dorigo ve diğerleri (2004), Dorigo ve Gambardella (1997), Dorigo ve diğerleri (1996) çalışmalarından ulaşılabilir.

KKO algoritmasının GSP'yi çözmek için uygun olduğu fikriyle uyumlu olarak, De Santis ve diğerleri (2018), satıcıların (araçların) seyahat mesafesini minimize etmek amacıyla Floyd-Warshall algoritmasıyla entegre bir KKO tabanlı yaklaşım önermektedir. Yazarlar, bu yaklaşımın farklı depo düzenlerine uyarlanabileceğini ve hesaplama zorlukları bulunan problemleri makul sürelerde çözmede esnek ve etkili olduğunu vurgulamaktadır. Ayrıca, KKO algoritmasını en kısa yol hesaplamalarıyla entegre etmek için Floyd-Warshall algoritmasını kullanmanın depo rota planlama problemini çözmede etkili bir yöntem olduğunu belirtmektedirler.

Dikdörtgen biçimli bir depodaki rota planlama problemi, bu çalışmada olduğu gibi GSP olarak ele alındığında belirli adımlar izlenmektedir. İlk adımda, depoyu temsil eden bir ağ yapısı oluşturulmaktadır. Bu ağda düğümler, depolama alanlarını; bağlantılar ise bu alanlar arasındaki mesafeleri ifade etmektedir. Ağdaki bazı düğümler, aracın her turda ziyaret etmesi gereken alım noktalarını temsil etmektedir. Başka bir deyişle, her araç turu (muhtemelen) yeni bir GSP çözümü gerektirebilmektedir. Bu süreçte, ağdaki ilgili düğümler arasındaki mesafelerin hesaplanması önem taşımaktadır. Bu hesaplama zorlukları, yalnızca turun oluşturulmasıyla (yani, GSP'nin çözülmesi) değil, aynı zamanda düğümler arasındaki en kısa yolların belirlenmesiyle de ilgilidir.

En kısa yol problemini çözmek için A*, Bellman-Ford, Dijkstra'nın, Floyd-Warshall ve Johnson'ın algoritmaları gibi çeşitli algoritmalar literatürde bulunmaktadır. Bu algoritmaların bazıları tek kaynaklı en kısa yol problemi çözerken (örneğin, Dijkstra (1959)), diğerleri ise tüm çiftlerin en kısa yol problemi çözmektedir (örneğin, Floyd (1962) ve Warshall (1962)). Ayrıca, mesafe ve zamanın birlikte olduğu iki hedefli en kısa yol problemi gibi çok amaçlı varyantları da bulunmaktadır. İki hedefli problem çözüm yaklaşımlarının karşılaştırması için Raith ve Ehrgott (2009) tarafından yapılan çalışma incelenebilir. Bu çalışma kapsamında, GSP için ağın ilgili düğümleri arasındaki en kısa yolları belirlemek için Floyd-Warshall algoritması kullanılmıştır.

Firmalarda genellikle depo yerleşim tasarımı için bilgisayar destekli tasarım kullanılmaktadır. Sadece depo tasarımcılarının küçük bir kısmı, özel bir depo tasarım yazılımı kullanmaktadır (Baker ve Canessa, 2009). Pek çok firma, depolarını deneyimlerine ve pratik kurallarına göre tasarlamaktadır ve daha sonra bilgisayar destekli tasarım yazılım paketlerini kullanarak yerleşim planlarını çizim haline getirmektedir. Literatürde sınırlı sayıda özel depo tasarımı yazılımı oluşturan çalışma bulunmaktadır. Bunlardan biri olan, Roodbergen ve diğerleri (2008) oluşturdukları yazılımlarında, paralel koridorlardan oluşan bir veya birden fazla blok içeren uygun bir yerleşim yapısı belirleyerek toplama alanındaki seyahat mesafelerini minimize eden bir model sunmuştur. Çalışmada, S-şekli, en büyük boşluk sezgisel yöntemleriyle optimal rota bulunmuştur. Depo tasarım yazılımı için bir diğer çalışmada Ozden ve diğerleri (2021) tarafından gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan yazılımda, depo tasarımı için göz önünde bulundurulacak parametreler arasında dikdörtgen deponun en-boy oranı, çapraz koridorların sayısı ve konumu, toplama koridorlarının sayısı ve konumu yer almaktadır. Geliştirilen arayüzün temel bileşenleri; toplama listesi verilerinin içe aktarılması, depo yerleşim planının bir ağ olarak oluşturulması, ürünlerin depo içindeki yerleşiminin belirlenmesi, toplayıcıların yönlendirilmesi ve metasezgisel bir algoritma kullanılarak tasarım optimizasyonun sağlanmasıdır. Çalışmada, Lin-Kernighan sezgiseli ile optimal rota bulunmuştur. Bu çalışmada oluşturulan yazılımda benzer şekilde dikdörtgen deponun en-boy bilgileri, dikey ve yatay koridor sayısı, dikey ve yatay koridorların arasındaki mesafe, toplama noktalarının sayısı yer almaktadır. Geliştirilen arayüzün temel bileşenleri; depo

yapısını oluşturmak için gerekli parametrelerin girilebildiği alanlar, oluşturulan depo yapısının kaydedilmesi ve daha önce kaydedilmiş depo tasarımlarının açılmasını sağlayan seçenekler ve depo krokisinin görüntülenmesi için ayrılmış bölümlerden oluşmaktadır. Ayrıca, çalışma kapsamında KKO algoritmasıyla rota oluşturulması için algoritma parametrelerinin girilebildiği alanlar ve rotanın görsel olarak sunulmasını sağlayan butonlar arayüzde bulunmaktadır.

Çalışmanın en önemli katkısını, depo rota planlama problemi için Floyd-Warshall algoritması ile karınca kolonisi optimizasyonu algoritmasını bir arada kullanan esnek bir çözüm yaklaşımı çerçevesi sunulması oluşturmaktadır. Bu çerçeve, farklı senaryolara uyum sağlayarak etkin ve bütünlük bir çözüm sunmayı amaçlamaktadır. Ayrıca, önerilen yaklaşımın performansını göstermek amacıyla çeşitli veri kümeleriyle deneyler gerçekleştirilmiştir.

3. METODOLOJİ

Bu bölüm önerilen çözüm yaklaşımının ayrıntılarını (en kısa yol hesaplamalarını ve KKO algoritmasını) içermektedir. Önerilen metodolojiyi detaylandırmadan önce, çalışmada yapılan varsayımlar aşağıda verilmiştir.

- Depo, paralel uzun koridorlara sahip dikdörtgen bir şekle sahiptir.
- Önerilen yaklaşım sadece depolamanın ilk seviyesinde çalışır.
- Sistemde belirli bir zamanda yalnızca tek bir araç bulunmaktadır.
- Araç, bir koridorda her iki yönde de seyahat edebilir.
- Araç, bir koridorda her iki taraftan da ürün alabilir.
- Araç, bir koridorda yön değiştirebilir.
- Araç tura depoda başlar ve depoda tamamlar.

3.1. En Kısa Yol Problemi ve Floyd-Warshall Algoritması

En kısa yol problemi, bir ağdaki iki düğüm arasındaki yolun toplam maliyetini (veya mesafesini) en az yapacak şekilde bulma problemidir. Ağ, bir dizi düğümden ve bu düğümleri birbirine bağlayan bağlantılardan oluşmaktadır. En kısa yol problemi genellikle her bir bağlantının bir maliyetinin veya uzunluğunun olduğu bir ağırlıklandırılmış ağ üzerinde ele alınmaktadır.

Ağda, düğüm kümesi V ve bağlantı kümesi A olarak tanımlanmaktadır. Her i ve j düğümleri arasındaki maliyet (mesafe) c_{ij} olarak ifade edilmektedir. En kısa yol problemi formülasyonunda değişken tanımlamaları i ve j arasındaki bağlantı, en kısa yol üzerinde ise $x_{ij} = 1$ ve aksi halde $x_{ij} = 0$ şeklinde yapılmaktadır ve ilgili problem aşağıdaki şekilde sunulmaktadır.

$$\min z = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

Amaç fonksiyonu (Eşitlik 1) aşağıdaki kısıtlar dikkate alınarak minimize edilmektedir. Burada i başlangıç ve varış noktası ise sırasıyla $b_i = 1$ ve $b_i = -1$ değerlerini almakta olup aksi halde 0 değerini almaktadır.

$$\sum_{j=1}^N x_{ij} - \sum_{j=1}^N x_{ji} = b_i, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad \forall i, j \quad (3)$$

Modelde amaç fonksiyonu (Eşitlik 1) yolun toplam mesafesinin minimizasyonunu amaçlarken Eşitlik 2 başlangıç ve varış noktasına giden yolun oluşturulmasını sağlamaktadır. Eşitlik 3 ise işaret tanımlarını göstermektedir.

Çalışma kapsamında en kısa yol problemini çözmek için kullanılan Floyd-Warshall algoritması, bir ağ yapısındaki tüm düğümler arasındaki minimum mesafeyi bulmayı amaçlamaktadır. Algoritma, n düğüm sayısı için $O(n^3)$ karmaşıklığa sahiptir. Algoritma adımları, öncelikle bir uzaklık matrisi oluşturularak başlamaktadır. Bu matrisin başlangıç değerleri öncelikle sonsuz olarak atanmaktadır, ardından her bağlantı için matris güncellenmektedir ve köşegen sıfıra ayarlanmaktadır. Her iki düğüm çifti için diğer düğümler kontrol edilmektedir ve daha kısa bir yolun varlığı döngülerle araştırılmaktadır. Buna göre güncellenen uzaklık ve öncelik matrisleri kullanılarak ağ üzerindeki en kısa yollar belirlenmektedir. Floyd Warshall algoritmasının sözde kodu Şekil 2'de gösterilmiştir.

```

dist matrisi  $|V| \times |V|$  boyutunda minimum uzaklıkları gösteren
başlangıçta tüm değerleri  $\infty$  olan bir matris olsun.

for each edge (u, v) do // her kenar için
    dist[u][v]  $\leftarrow$  w(u, v) // (u, v) kenarının ağırlığı

for each vertex v do // her düğüm için
    dist[v][v]  $\leftarrow$  0

for k from 1 to |V|
    for i from 1 to |V|
        for j from 1 to |V|
            if dist[i][j] > dist[i][k] + dist[k][j]
                dist[i][j]  $\leftarrow$  dist[i][k] + dist[k][j]
            end if

```

Şekil 2. Floyd-Warshall algoritması sözde kodu (Floyd, 1962)

3.2. GSP ve KKO Algoritması

Çalışma kapsamında depodaki aracın rotalaması bir GSP olarak kurgulanmıştır. Buna göre, önceki alt bölümdekine benzer şekilde tanımlanmış bir ağ üzerinde bir satıcı (araç), i . şehirden (depo noktası düğümünden) j . şehre (depo noktası düğümüne) giderse $x_{ij} = 1$ aksi durumda $x_{ij} = 0$ olarak tanımlanır, aşağıdaki amaç fonksiyonu (Eşitlik 4) turun toplam maliyetini diğer bir deyişle mesafeyi en aza indirmek için kullanılır. Burada c_{ij} , i ile j düğümleri arasındaki mesafeyi göstermektedir.

$$\min z = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N c_{ij} x_{ij} \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{ij} = 1, \quad j = 1, 2, \dots, N \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^N x_{ij} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (6)$$

$$u_i - u_j + N x_{ij} \leq N - 1, \quad \forall i, j \quad i \neq j \quad (7)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad \forall i, j \quad (8)$$

$$u_j \geq 0, \quad \forall j \quad (9)$$

Modelde, amaç fonksiyonu toplam mesafeyi en aza indirmekte olup Eşitlik 4 ile gösterilmiştir. Eşitlik 5 ve Eşitlik 6, satıcının turunu tamamlamak için her bir düğümü ziyaret etmesini, Eşitlik 7 ise alt tur oluşumunun engellenmesini sağlanmaktadır. Eşitlik 8 ve Eşitlik 9 işaret kısıtlarını göstermektedir.

Çalışma kapsamında GSP probleminin çözümü için bir karınca sistemi olarak da adlandırılan KKO algoritması kullanılmıştır. Karınca sistemi iki ana aşamaya ayrılmaktadır. Başlangıç feromon izleri, $\tau_{ij} = m/C^0$ ile belirlenerek elde edilmektedir. Burada m karınca sayısını ve C^0 ise uygun bir prosedürle oluşturulan bir turun uzunluğunu göstermektedir.

Karınca sisteminin çözüm oluşturma aşamasında, m karınca eş zamanlı olarak bir GSP turu oluşturmaktadır. Başlangıçta, her karınca rastgele seçilmiş bir düğümde bulunmaktadır ve her adımda, karınca k , bir sonraki ziyaret edeceği düğümü belirlemek için olasılıksal bir seçim kuralı uygulamaktadır. Burada p_{ij}^k , Eşitlik 10 ile hesaplanan k numaralı karıncanın i düğümünden j düğümüne gitme olasılığı olarak tanımlanmaktadır.

$$p_{ij}^k = \frac{(\tau_{ij})^\alpha (\eta_{ij})^\beta}{\sum_{l \in \mathcal{N}_i^k} (\tau_{il})^\alpha (\eta_{il})^\beta}, \quad j \in \mathcal{N}_i^k \quad (10)$$

Burada $\eta_{ij} = 1/d_{ij}$ olarak tanımlanmaktadır. $\mathcal{N}_{ik}$, karınca k , i düğümüne geldiğinde izin verilen komşuluk (yani, izin verilen düğüm kümesi) olarak tanımlanmaktadır. α ile β sırasıyla τ_{ij} ve η_{ij} değerlerinin göreceli etkisini belirleyen iki parametre olarak tanımlanmaktadır. İki sınır durumun etkilerini burada belirtmek mümkündür. $\alpha = 0$ ise, klasik bir stokastik aç gözlü algoritma ile benzer şekilde, en yakın şehirlerin seçilme olasılığı daha yüksektir. $\beta = 0$ seçildiği bir durumda ise sadece feromon genellikle kötü sonuçlara yol açacak şekilde kullanılmaktadır ve özellikle $\alpha > 1$ olduğunda, tüm karıncaların aynı yolu takip ettiği ve bu nedenle aynı alt-optimal turu oluşturduğu bir durum hızlı bir şekilde ortaya çıkmaktadır (Dorigo ve diğerleri, 1996). Doğru parametre değerlerinin seçimi için Dorigo ve Stutzle (2004) çalışması incelenebilir.

Tüm karıncalar turlarını oluşturduktan sonra, ikinci aşamasında feromon izleri güncellenmektedir. Feromon izleri güncellemesi, öncelikle tüm kollar üzerindeki feromon değerinin sabit bir faktörle azaltılması ile başlamakta ve ardından karıncaların turlarında geçtikleri kollara feromon eklenerek Eşitlik 11 tamamlanmaktadır.

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \rho)\tau_{ij} + \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k, \quad \forall(i, j) \in L \quad (11)$$

Burada $0 < \rho \leq 1$ olan ρ , feromon izlerinin sınırsız birikimini önlemek ve önceki kötü kararların etkisini ortadan kaldırmak için kullanılan feromon buharlaşma oranıdır. $\Delta\tau_{ij}^k$, k karıncasının ziyaret ettiği kollar üzerine bıraktığı feromon miktarını ifade etmekte ve Eşitlik 12 ile hesaplanmaktadır.

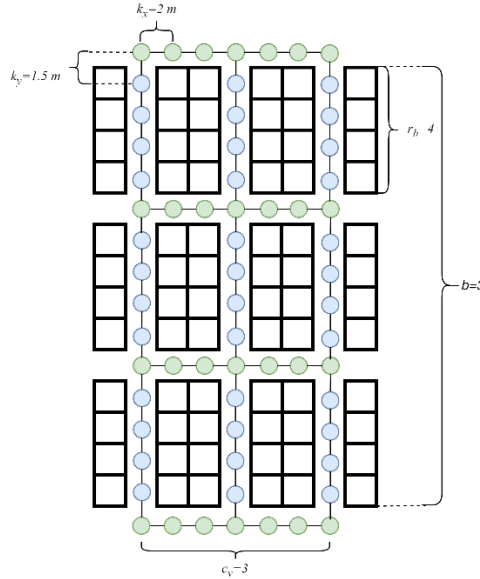
$$\Delta\tau_{ij}^k = \begin{cases} 1/C^k, & (i, j) \in T^k \\ 0 & \text{a. d.} \end{cases} \quad (12)$$

C_k , karınca k tarafından oluşturulan T_k turunun uzunluğunu göstermektedir. Kullanılan kollar arasında daha fazla karınca tarafından kullanılanlar ve daha kısa turların parçası olanlar, daha fazla feromon almaktadır. Bu nedenle gelecekteki iterasyonlarda karıncalar tarafından seçilme olasılığı daha yüksek olmaktadır.

KKO uygulaması için standart parametrelerin yanı sıra (α, β, ρ vb.), GSP olarak karşılık gelen rota planlama problemi bağlamında turun başlangıç noktası ve turu tamamlamak için ziyaret edilecek diğer düğümlerle ilgili verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bir depo yapısındaki başlangıç noktası genellikle aracın turuna başladığı nokta olmakla birlikte, önerilen yaklaşım deponun yanı sıra herhangi bir noktadan tura başlama olanağı sağlayan esnek bir uygulama sağlamayı amaçlamaktadır. Bu tür esneklik, aracın belirli bir zamanda depo dışında bir noktada bulunması ve ardından depo içinde bir noktaya yeniden yönlendirilmesi gerektiği veya tercih edildiği dinamik bir depo ortamında faydalı olabilmektedir. Bu çalışmada, başlangıç noktasını ağıın herhangi bir noktası olarak tanımlamaya izin veren esnek bir çerçeve sunulması amaçlanmıştır.

4. SAYISAL ÖRNEK

Oluşturulan sayısal örnekte, öncelikle dikdörtgen bir depoda, depolama alanlarına bağlı koridor düğümlerinin tanımlanması gerekmektedir. Şekil 3'te, dört bitişik depolama alanıyla ($r_b = 4$), iki yatay ($b = 3$) ve üç dikey ($c_v = 3$) koridora sahip basit bir dikdörtgen depo yapısı sunulmaktadır. Oluşturulan sayısal örnekte, yatay koridorlar arasındaki iki düğüm arası mesafe 2 m ($k_x = 2$ m) ve dikey koridor düğümleri arası mesafe 1,5 m ($k_y = 1,5$ m) olarak belirlenmiştir.



Şekil 3. Sayısal örnek için depo tasarımı

Python programlama dili kullanılarak geliştirilen bir arayüz aracılığıyla, öncelikle kullanıcıdan alınan depo parametreleri bilgilerine dayanarak dinamik bir depo modeli ve daha sonrasında, ilgili problem için bir uzaklık matrisi oluşturulmaktadır. Oluşturulan depo yapısı kullanıcıya görselleştirilerek sunulmakta ve GSP için KKO algoritması ile elde edilen minimum maliyetli rota çizimi simüle edilmektedir.

Depodaki mesafe hesaplamalarını daha sistemli hale getirmek için, Şekil 3'teki ağ gösterimine sahip olan depo, Şekil 4'te gösterildiği gibi iki boyutlu bir matrise dönüştürülmüştür. Bu matris, düğümler arasındaki

mesafelerin kolayca hesaplanmasını sağlamaktadır ve koridor düğümlerinin bağlantılı olduğu depolama yerlerini daha rahat bulmaya olanak tanımaktadır.

-	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0		K	K	K	K	K	K	K	
1	D	K	D	D	K	D	D	K	D
2	D	K	D	D	K	D	D	K	D
3	D	K	D	D	K	D	D	K	D
4	D	K	D	D	K	D	D	K	D
5		K	K	K	K	K	K	K	
6	D	K	D	D	K	D	D	K	D
7	D	K	D	D	K	D	D	K	D
8	D	K	D	D	K	D	D	K	D
9	D	K	D	D	K	D	D	K	D
10		K	K	K	K	K	K	K	
11	D	K	D	D	K	D	D	K	D
12	D	K	D	D	K	D	D	K	D
13	D	K	D	D	K	D	D	K	D
14	D	K	D	D	K	D	D	K	D
15		K	K	K	K	K	K	K	

(a)

-	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0		1;0	2;0	3;0	4;0	5;0	6;0	7;0	
1	0;1	1;1	2;1	3;1	4;1	5;1	6;1	7;1	8;1
2	0;2	1;2	2;2	3;2	4;2	5;2	6;2	7;2	8;2
3	0;3	1;3	2;3	3;3	4;3	5;3	6;3	7;3	8;3
4	0;4	1;4	2;4	3;4	4;4	5;4	6;4	7;4	8;4
5		1;5	2;5	3;5	4;5	5;5	6;5	7;5	
6	0;6	1;6	2;6	3;6	4;6	5;6	6;6	7;6	8;6
7	0;7	1;7	2;7	3;7	4;7	5;7	6;7	7;7	8;7
8	0;8	1;8	2;8	3;8	4;8	5;8	6;8	7;8	8;8
9	0;9	1;9	2;9	3;9	4;9	5;9	6;9	7;9	8;9
10		1;10	2;10	3;10	4;10	5;10	6;10	7;10	
11	0;11	1;11	2;11	3;11	4;11	5;11	6;11	7;11	8;11
12	0;12	1;12	2;12	3;12	4;12	5;12	6;12	7;12	8;12
13	0;13	1;13	2;13	3;13	4;13	5;13	6;13	7;13	8;13
14	0;14	1;14	2;14	3;14	4;14	5;14	6;14	7;14	8;14
15		1;15	2;15	3;15	4;15	5;15	6;15	7;15	

(b)

Şekil 4. Deponun matris gösterimi

Depoların tanımlanmasından sonra, en kısa yol hesaplamalarının yapılması için bir prosedür oluşturulması gerekmektedir. Bu prosedürde ilk adım öncelikle, düğümler arasındaki uzaklık (k_x , k_y) parametrelerinin tanımlanması ve başlangıç uzaklık matrisinin oluşturulmasıdır. Daha sonra, en kısa yol mesafelerinin belirlenebilmesi için Floyd-Warshall algoritması ile uzaklık matrisi oluşturulmaktadır. Koridor düğümleri arasındaki mesafelerin belirlenmesi için k_x , k_y parametreleri kullanılarak ve komşu koridor düğümleri arası uzaklıklar matrise aktararak D_0 uzaklık matrisi oluşturulmaktadır. Daha sonra, Floyd-Warshall algoritması uzaklık matrisine uygulanarak düğümler arasındaki en kısa mesafe belirlenmektedir. Sayısal örnek olarak verilen depodaki tüm koridor düğümleri için düğümler arası başlangıç uzaklık matrisi D_0 , Şekil 5'te verilmiştir. Floyd-Warshall algoritması iterasyonları D_0 başlangıç matrisi üzerinde uygulanır ve böylece tüm düğümler arasındaki mesafe matrisi oluşturulur.

D_0	1;0	1;1	1;2	1;3	1;4	1;5	2;0	2;5	4;0	4;1	4;2	4;3	4;4	4;5	3;0	3;5
1;0	0	k_y	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
1;1	k_y	0	k_y	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
1;2	∞	k_y	0	k_y	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
1;3	∞	∞	k_y	0	k_y	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
1;4	∞	∞	∞	k_y	0	k_y	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
1;5	∞	∞	∞	∞	k_y	0	∞	k_x	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
2;0	k_x	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	k_x	∞
2;5	∞	∞	∞	∞	∞	k_x	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	k_x
4;0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0	k_y	∞	∞	∞	∞	∞	∞	k_x	∞
4;1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	k_y	0	k_y	∞	∞	∞	∞	∞	∞
4;2	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	k_y	0	k_y	∞	∞	∞	∞	∞
4;3	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	k_y	0	k_y	∞	∞	∞	∞
4;4	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	k_y	0	k_y	∞	∞	∞
4;5	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	k_y	0	∞	k_x	∞
3;0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	k_x	∞	k_x	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞
3;5	∞	∞	∞	∞	∞	∞	k_x	∞	k_x	∞	∞	∞	∞	k_x	0	∞

Şekil 5. Floyd-Warshall başlangıç matrisi

Floyd-Warshall algoritmasının adımları D_0 matrisi için gerçekleştirildiğinde, Şekil 6-(a)'daki D matrisi elde edilmektedir. Düğümler arasındaki en kısa yol ve bu en kısa yolun rotası D matrisi kullanılarak bulunmaktadır.

Şekil 6-(a)'daki matrise ek olarak en kısa yolun hangi rota üzerinden ulaşılacağı bilgisinin tutulması gerekmektedir. Şekil 6-(b)'deki P matrisinde, her bir düğümden diğer düğümlere olan en kısa yollara, hangi düğüm üzerinden ulaşılacağı görülmektedir. Örneğin, "1;1" düğümü ve "4;4" düğümü için D matrisi incelendiğinde, en kısa yol 13,5 m olarak belirlenir ve P matrisi incelendiğinde ise 1;1, 1;0, 2;0, 3;0, 4;0, 4;1, 4;2, 4;3 ve 4;4 rotası izlenir.

D	1:0	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5	2:0	2:5	4:0	4:1	4:2	4:3	4:4	4:5	3:0	3:5
1:0	0,0	1,5	3,0	4,5	6,0	7,5	2,0	9,5	6,0	7,5	9,0	10,5	12,0	13,5	4,0	11,5
1:1	1,5	0,0	1,5	3,0	4,5	6,0	3,5	8,0	7,5	9,0	10,5	12,0	13,5	12,0	5,5	10,0
1:2	3,0	1,5	0,0	1,5	3,0	4,5	5,0	6,5	9,0	10,5	12,0	13,5	12,0	10,5	7,0	8,5
1:3	4,5	3,0	1,5	0,0	1,5	3,0	6,5	5,0	10,5	12,0	13,5	12,0	10,5	9,0	8,5	7,0
1:4	6,0	4,5	3,0	1,5	0,0	1,5	8,0	3,5	12,0	13,5	12,0	10,5	9,0	7,5	10,0	5,5
1:5	7,5	6,0	4,5	3,0	1,5	0,0	9,5	2,0	13,5	12,0	10,5	9,0	7,5	6,0	11,5	4,0
2:0	2,0	3,5	5,0	6,5	8,0	9,5	0,0	11,5	4,0	5,5	7,0	8,5	10,0	11,5	2,0	11,5
2:5	9,5	8,0	6,5	5,0	3,5	2,0	11,5	0,0	11,5	10,0	8,5	7,0	5,5	4,0	13,5	2,0
4:0	6,0	7,5	9,0	10,5	12,0	13,5	4,0	11,5	0,0	1,5	3,0	4,5	6,0	7,5	2,0	9,5
4:1	7,5	9,0	10,5	12,0	13,5	12,0	5,5	10,0	1,5	0,0	1,5	3,0	4,5	6,0	3,5	8,0
4:2	9,0	10,5	12,0	13,5	12,0	10,5	7,0	8,5	3,0	1,5	0,0	1,5	3,0	4,5	5,0	6,5
4:3	10,5	12,0	13,5	12,0	10,5	9,0	8,5	7,0	4,5	3,0	1,5	0,0	1,5	3,0	6,5	5,0
4:4	12,0	13,5	12,0	10,5	9,0	7,5	10,0	5,5	6,0	4,5	3,0	1,5	0,0	1,5	8,0	3,5
4:5	13,5	12,0	10,5	9,0	7,5	6,0	11,5	4,0	7,5	6,0	4,5	3,0	1,5	0,0	9,5	2,0
3:0	4,0	5,5	7,0	8,5	10,0	11,5	2,0	13,5	2,0	3,5	5,0	6,5	8,0	9,5	0,0	11,5
3:5	11,5	10,0	8,5	7,0	5,5	4,0	11,5	2,0	9,5	8,0	6,5	5,0	3,5	2,0	11,5	0,0

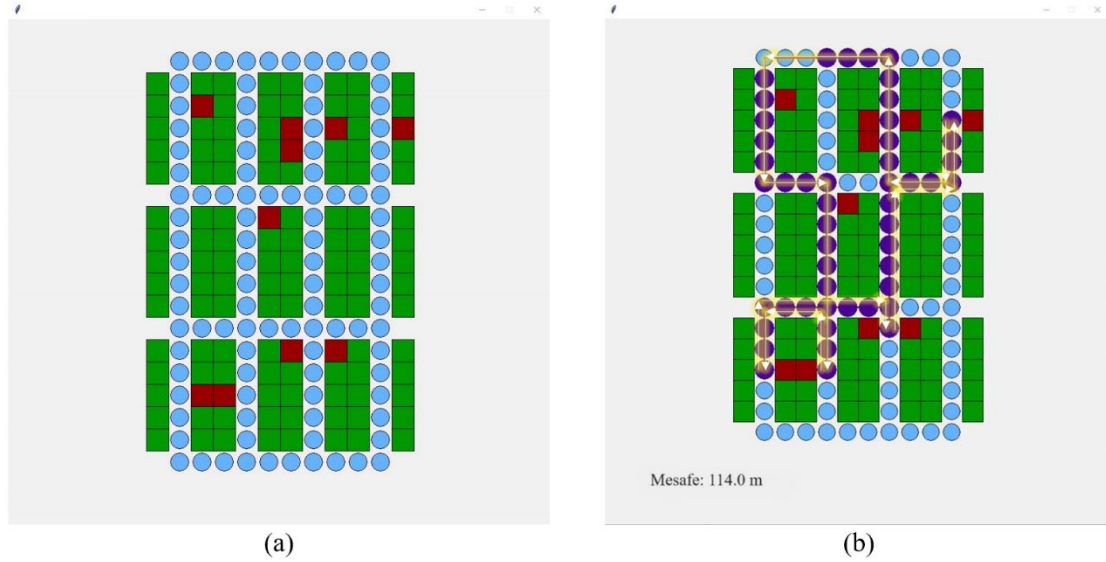
(a)

P	1:0	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5	2:0	2:5	4:0	4:1	4:2	4:3	4:4	4:5	3:0	3:5
1:0	-	1:0	1:1	1:2	1:3	1:4	1:0	1:5	3:0	4:0	4:1	4:2	4:3	4:4	2:0	2:5
1:1	1:1	-	1:1	1:2	1:3	1:4	1:0	1:5	3:0	4:0	4:1	4:2	4:3	3:5	2:0	2:5
1:2	1:1	1:2	-	1:2	1:3	1:4	1:0	1:5	3:0	4:0	4:1	4:4	4:5	3:5	2:0	2:5
1:3	1:1	1:2	1:3	-	1:3	1:4	1:0	1:5	3:0	4:0	4:1	4:4	4:5	3:5	2:0	2:5
1:4	1:1	1:2	1:3	1:4	-	1:4	1:0	1:5	3:0	4:2	4:3	4:4	4:5	3:5	2:0	2:5
1:5	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5	-	1:0	1:5	3:0	4:2	4:3	4:4	4:5	3:5	2:0	2:5
2:0	2:0	1:0	1:1	1:2	1:3	1:4	-	1:5	3:0	4:0	4:1	4:2	4:3	4:4	2:0	2:5
2:5	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5	2:5	1:0	-	4:1	4:2	4:3	4:4	4:5	3:5	2:0	4:5
4:0	2:0	1:0	1:1	1:2	1:3	1:4	3:0	3:5	-	4:0	4:1	4:2	4:3	4:4	4:0	4:5
4:1	2:0	1:0	1:1	1:2	1:3	2:5	3:0	3:5	4:1	-	4:1	4:2	4:3	4:4	4:0	4:5
4:2	2:0	1:0	1:1	1:2	1:5	2:5	3:0	3:5	4:1	4:2	-	4:2	4:3	4:4	4:0	4:5
4:3	2:0	1:0	1:1	1:4	1:5	2:5	3:0	3:5	4:1	4:2	4:3	-	4:3	4:4	4:0	4:5
4:4	2:0	1:0	1:3	1:4	1:5	2:5	3:0	3:5	4:1	4:2	4:3	4:4	-	4:4	4:0	4:5
4:5	2:0	3:5	1:3	1:4	1:5	2:5	3:0	3:5	4:1	4:2	4:3	4:4	4:5	-	4:0	4:5
3:0	2:0	1:0	1:1	1:2	1:3	1:4	3:0	3:5	3:0	4:0	4:1	4:2	4:3	4:4	-	4:5
3:5	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5	2:5	3:0	3:5	4:1	4:2	4:3	4:4	4:5	3:5	4:0	-

(b)

Şekil 6. Floyd-Warshall (a) uzaklık matrisi ve (b) öncelik matrisi

Sayısal örnek için görselleştirilen depo modeli, Şekil 7-(a)'da gösterilmektedir. Şekil 7-(a) incelendiğinde, mavi daireler koridor düğümlerini, yeşil kareler depolama yerlerini, aralarındaki kırmızı kareler ise rassal olarak oluşturulan depolama yerlerini temsil eder. Şekil 7-(b)'de, KKO algoritması kullanılarak tamamlanan rota gösterilmektedir.



Şekil 7. (a) Örnek deponun görselleştirilmesi ve (b) rotalaması

5. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu bölümde, depo boyutları ve toplama noktası miktarları değiştirilerek farklı uygulama problemlerinin çözümleri sağlanmaktadır. Hesaplamalar, Windows 10 işletim sistemine sahip, Intel Core i7-7700HQ 2.80GHz işlemci ve 16 GB RAM konfigürasyonuna sahip bir bilgisayarda Python programlama dili kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

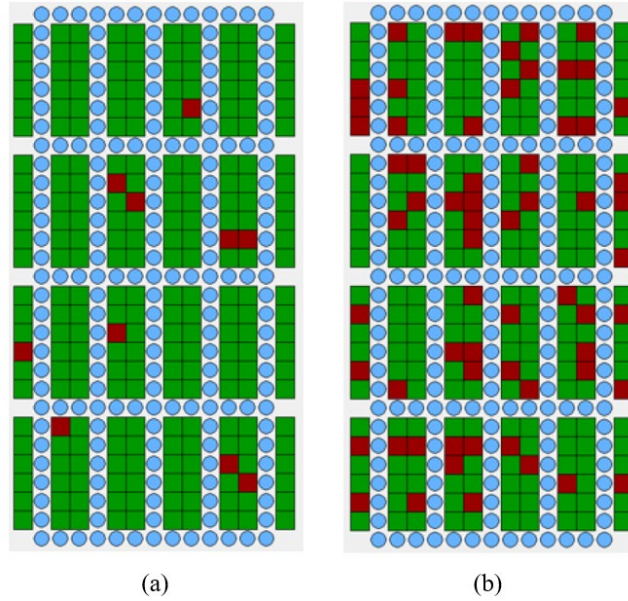
Çalışma kapsamında, çözüm performansı toplama yeri sayısındaki değişime ve KKO algoritması parametrelerinin değişimine göre incelenmiştir. Toplama yeri sayısının, 1 ile 80 arası değiştiği on farklı veri seti oluşturulmuş ve her bir veri setinde depolama yeri 240 olarak sabit tutulmuştur. Toplama yeri sayısındaki değişim ile birlikte rota uzunluğundaki ve çözüm süresindeki değişimler Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Toplama yeri sayısındaki değişimin rota uzunluğuna ve çözüm süresine etkisi

Veri Seti	VS-1	VS-2	VS-3	VS-4	VS-5	VS-6	VS-7	VS-8	VS-9	VS-10
Toplama Yeri Sayısı	1	5	10	20	30	40	50	60	70	80
Rota Uzunluğu (m)	24	117	189	195	258	297	351	375	360	414
Çözüm Süresi (s)	0,01	0,03	0,11	0,26	0,36	0,64	0,76	0,66	0,81	1,30

Tablo 1 incelendiğinde, veri setlerinde toplama yeri sayısının arttığı ve KKO algoritmasının parametrelerinin sabit olduğu durumda rota uzunluğunun genel olarak artış gösterdiği gözlemlenmektedir. Benzer şekilde,

çözüm süresi açısından incelendiğinde de toplama yeri sayısı arttıkça çözüm süresinin de genel olarak arttığı görülmektedir. Şekil 8-(a)'da örnek olarak VS-3 için depo tasarımı ve Şekil 8-(b)'de örnek olarak VS-9 için depo tasarımı gösterilmiştir.



Şekil 8. (a) VS-3 ve (b) VS-9 için depo tasarımı

Çalışma kapsamında ayrıca KKO algoritması parametrelerinin değiştirilmesinin etkisi de incelenmiştir. Oluşturulan veri setinde 240 depolama ve 20 toplama yeri (VS-4) kullanılarak KKO parametrelerinin değişimi analiz edilmiştir. KKO algoritmasının parametreleri belirlenirken, $Q = 0,1$, $\alpha = 0,8$, $\beta = 0,7$, $T = 100$ olarak sabit tutulmuş ve karınca sayısı (m), buharlaşma katsayısı (ρ) ve feromon yoğunluğunun (τ) değişimlerinin çözüm performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çözüm performansı olarak metre cinsinden rota uzunluğu (R.U.) ve saniye cinsinden çözüm süresi (Ç.S.) değerlendirilmiştir. Çözüm sonuçları Tablo 2'de gösterilmiştir. Tabloda R_i , algoritmanın çalıştırılması sırasını (i), S sabit tutulan parametreleri, D değiştirilen parametreyi göstermektedir. Çözüm sonuçları Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. KKO algoritmasının parametre değişimlerinin rota uzunluğuna ve çözüm süresine etkisi

S	D	Değer	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	R_8	R_9	R_{10}	Min.	Max.	Ort.
$\rho=0,25$ $\tau=0,25$	5	R.U.	249	213	240	252	228	231	213	234	219	252	213	252	233
		Ç.S.	0,16	0,32	0,18	0,28	0,18	0,33	0,32	0,20	0,19	0,22	0,16	0,33	0,24
	10	R.U.	219	198	204	207	192	219	204	204	216	201	192	219	206
		Ç.S.	0,34	0,65	0,66	0,47	0,33	0,35	0,31	0,39	0,30	0,30	0,30	0,66	0,41
	15	R.U.	219	201	195	210	228	198	219	216	225	222	195	228	213
		Ç.S.	0,41	0,52	0,48	0,43	0,47	0,45	0,43	0,41	0,49	0,46	0,41	0,52	0,46
$m=10$ $\tau=0,25$	0,25	R.U.	228	222	231	225	207	216	219	213	228	222	207	231	221
		Ç.S.	0,28	0,25	0,27	0,28	0,27	0,28	0,27	0,33	0,27	0,24	0,24	0,33	0,27
	0,50	R.U.	219	243	225	267	246	237	225	240	225	210	210	267	234
		Ç.S.	0,17	0,16	0,19	0,18	0,16	0,16	0,15	0,17	0,15	0,19	0,15	0,19	0,17
	0,75	R.U.	297	267	270	279	261	237	303	294	300	246	237	303	275
		Ç.S.	0,65	0,14	0,66	0,13	0,67	0,15	0,65	0,14	0,66	0,15	0,13	0,67	0,40
$m=10$ $\rho=0,25$	0,25	R.U.	219	225	204	234	222	237	240	237	243	216	204	243	228
		Ç.S.	0,64	0,38	0,64	0,37	0,33	0,33	0,38	0,35	0,46	0,40	0,33	0,64	0,43
	0,50	R.U.	231	225	225	234	228	219	225	222	243	210	210	243	226
		Ç.S.	0,71	0,64	0,28	0,31	0,34	0,32	0,66	0,29	0,34	0,37	0,28	0,71	0,43
	0,75	R.U.	234	234	210	222	228	213	207	201	234	210	201	234	219
		Ç.S.	0,27	0,30	0,35	0,33	0,26	0,30	0,39	0,66	0,66	0,33	0,26	0,66	0,39

Tablo 2'de ilk satırda, $\rho = 0,25$ ve $\tau = 0,25$ değerleri sabit tutularak karınca sayısındaki (m) değişiminin rota uzunluğu ve çözüm süresi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çözüm sonuçları değerlendirildiğinde, üç parametre arasındaki en iyi sonucun genel olarak 10 karınca sayısı ile elde edildiği gözlemlenmiştir. Ayrıca,

karınca sayısındaki artışın çözüm süresindeki artışla doğru orantılı olduğu gözlemlenmiştir. Tablo 2’de ikinci satırda, $m = 10$ ve $\tau = 0,25$ değerleri sabit tutularak buharlaşma katsayısı (ρ) değişiminin rota uzunluğuna ve çözüm süresine etkileri incelenmiştir. Çözüm sonuçları değerlendirildiğinde, buharlaşma katsayısının arttığında, rota uzunluklarının da genellikle arttığı gözlemlenmiştir. Son olarak, Tablo 2’de üçüncü satırda, $m = 10$ ve $\rho = 0,25$ değerleri sabit tutularak feromon yoğunluğu (τ) değişiminin etkisi incelenmiştir. İnceleme sonucunda, feromon yoğunluğu arttığında, ortalama rota uzunluğunun düzenli olarak olmasa da bir miktar azaldığı gözlemlenmiştir. Çözüm süresi açısından incelendiğinde ise buharlaşma katsayısı ve feromon yoğunluğundaki değişimin çözüm süresinde direk olarak etkili olmadığı gözlemlenmiştir.

6. SONUÇ

Tedarik zincirlerinde depolama ve malzeme taşıma operasyonları, lojistik faaliyetler arasında önemli bir yer tutmakta ve yüksek maliyet oluşturmaktadır. Özellikle iç lojistik faaliyetler kapsamında, sipariş toplama süreci, malzeme taşıma operasyonlarının kritik bir bileşeni olarak öne çıkmaktadır. Bu süreç, geleneksel depolardan süpermarket tipi depolara ve insansız depolara kadar farklı depo kurgularında karşılık bulabilmektedir. Geleneksel depolarda, taşıyıcı bir aracın belirli bir başlangıç noktasından hareket ederek talep edilen malzemeleri toplaması, ardından başlangıç noktasına geri dönerek bu malzemeleri boşaltması ile gerçekleşen bir rotalama süreci mevcuttur.

Sipariş toplamada optimum rotanın belirlenmesi, stoklanan malzemelerin en verimli şekilde taranmasını ve kaynakların etkin kullanımını sağlamayı hedeflemektedir. Optimum rota bulunarak zaman ve emek kayıplarının yanı sıra maliyetlerin de azaltılması amaçlanmaktadır. Bu süreçte, optimum ya da optimuma en yakın rotalar; sezgisel yöntemler, matematiksel modeller ve yapay zekâ teknikleri gibi çeşitli bilimsel yaklaşımlar kullanılarak elde edilebilmektedir.

Bu çalışmada, dikdörtgen şekilli depolardaki araç rota planlama problemi için esnek bir çözüm yaklaşımı sunulmuştur. Çalışmada, depoda sadece tek bir araç olduğu varsayılmaktadır ve araç belirli bir başlangıç noktasından, diğer bir deyişle depodan başlayarak, her turda önceden belirlenmiş konumlardan ürünleri alıp aynı başlangıç noktasına geri dönmektedir. Çalışma kapsamında ilgili problem bir gezgin satıcı problemi olarak modellenmiştir. Önerilen çözüm yaklaşımına göre, öncelikle depoda ziyaret edilmesi gereken noktaların bazılarını temsil eden bir ağ gösterimi oluşturulmaktadır. Daha sonra, her turda bir gezgin satıcı problemi oluşturmak için ve ağ yapısının ilgili düğümler arasındaki en kısa yolların belirlenmesi için Floyd-Warshall algoritması kullanılmaktadır. Son olarak, aracın toplam seyahat mesafesini minimize ederek ilgili gezgin satıcı probleminin çözümünü sağlamak için karınca kolonisi optimizasyonu algoritması kullanılmaktadır. Çalışmanın en önemli katkısı, depo rota planlama problemini çözmek için Floyd-Warshall algoritması ile karınca kolonisi optimizasyonu algoritmasını bir arada kullanan esnek bir çözüm yaklaşımı sunulmasıdır. Ayrıca, önerilen yaklaşımın performansını göstermek amacıyla çeşitli veri kümeleriyle deneyler gerçekleştirilmiştir.

Bütünleşik bir çözüm metodolojisi geliştirmemize rağmen, gelecekteki çalışmalarda dikkate alınabilecek olan bazı unsurlardan bahsedilebilir. Bunlardan biri, gerçek hayat depo ortamları için kısıtlayıcı olabilecek olan belirli bir zamanda sistemde yalnızca bir aracın olması varsayımının kaldırılması olabilir. Bu durumda, metodolojimizin, çoklu araç kurgusuna uyacak şekilde güncellenmesi gerekmektedir. Gelecekteki çalışmalarda, Floyd-Warshall ve KKO algoritmaları yerine alternatif çözüm yaklaşımları kullanılması da dikkate alınabilir.

Bilgilendirme /Acknowledgements

Bu çalışmada süresince, Gülveren Tabansız Göç’e sağlanan destekler için TÜBİTAK’a teşekkür ederiz. *We would like to thank TUBITAK for the supports provided to Gülveren Tabansız Göç during this study.*

Yazar Katkıları /Author Contributions

Furkan Ulu: Literatür taraması, Kavramsallaştırma, Metodoloji, Veri Derleme, Analiz Gülveren Tabansız Göç: Literatür taraması, Makale Yazımı-inceleme ve düzenleme Fatih Çavdur: Literatür taraması, Kavramsallaştırma, Metodoloji, Makale Yazımı-inceleme ve düzenleme
Furkan Ulu: Literature review, Conceptualization, Methodology, Data Curation, Analysis Gülveren Tabansız Göç: Literature review, Writing-review and editing Fatih Çavdur: Literature review, Conceptualization, 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

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

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

Etik Beyanı / Ethical Statement

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

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



Yazarlar, Verimlilik Dergisi'nde yayımlanan çalışmalarının telif hakkına sahiptirler ve 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

- Aerts, B., Cornelissens, T. ve Sörensen, K. (2021). "The Joint Order Batching and Picker Routing Problem: Modelled and Solved as a Clustered Vehicle Routing Problem", *Computers & Operations Research*, 129, 105168. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2020.105168>
- Alnahhal, M. ve Noche, B. (2015). "Dynamic Material Flow Control in Mixed Model Assembly Lines", *Computers & Industrial Engineering*, 85, 110-119. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2015.03.009>
- Ardjmand, E., Bajgiran, O.S. ve Youssef, E. (2019). "Using List-Based Simulated Annealing and Genetic Algorithm for Order Batching and Picker Routing in Put Wall Based Picking Systems", *Applied Soft Computing*, 75, 106-119. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2018.11.019>
- Ardjmand, E., Ghalekhondabi, I., Young II, W.A., Sadeghi, A., Weckman, G.R. ve Shakeri, H. (2020). "A Hybrid Artificial Neural Network, Genetic Algorithm and Column Generation Heuristic for Minimizing Makespan in Manual Order Picking Operations", *Expert Systems with Applications*, 159, 113566. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113566>
- Baker, P. ve Canessa, M. (2009). "Warehouse Design: A Structured Approach", *European Journal of Operational Research*, 193(2), 425-436. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.11.045>
- Bottani, E., Montanari, R., Rinaldi, M. ve Vignali, G. (2015). "Intelligent Algorithms for Warehouse Management", *Intelligent Techniques in Engineering Management, Intelligent Systems Reference Library*, 87, (Editör: C. Kahraman, S. Çevik Onar), Springer, Cham, 645-667. https://doi.org/10.1007/978-3-319-17906-3_25
- Calzavara, M., Sgarbossa, F. ve Persona, A. (2019). "Vertical Lift Modules for Small Items Order Picking: An Economic Evaluation", *International Journal of Production Economics*, 210, 199-210. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.012>
- Cano, J.A., Correa-Espinal, A.A., Gómez-Montoya, R.A. ve Cortes, P. (2019). "Genetic Algorithms for the Picker Routing Problem in Multi-Block Warehouses", *International Conference on Business Information Systems*, 313-322. https://doi.org/10.1007/978-3-030-20485-3_24
- Cano, J.A., Cortes, P., Munuzuri, J. ve Correa-Espinal, A. (2024). "Solving the Picker Routing Problem in Multi-Block High-Level Storage Systems Using Metaheuristics", *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 35(2), 376-415. <https://doi.org/10.1007/s10696-022-09445-y>
- Caron, F., Marchet, G. ve Perego, A. (1998). "Routing Policies and COI-Based Storage Policies in Picker-to-Part Systems", *International Journal of Production Research*, 36(3), 713-732. <https://doi.org/10.1080/002075498193651>
- Caron, F., Marchet, G. ve Perego, A. (2000). "Optimal Layout in Low-Level Picker-to-Part Systems", *International Journal of Production Research*, 38(1), 101-117. <https://doi.org/10.1080/002075400189608>
- Cergibozan, Ç. ve Tasan, A.S. (2022). "Genetic Algorithm Based Approaches to Solve the Order Batching Problem and A Case Study In A Distribution Center", *Journal of Intelligent Manufacturing*, 33(1), 137-149. <https://doi.org/10.1007/s10845-020-01653-3>
- Cheng, C.Y., Chen, Y.Y., Chen, T.L. ve Yoo, J.J.W. (2015). "Using A Hybrid Approach Based on the Particle Swarm Optimization and Ant Colony Optimization to Solve A Joint Order Batching and Picker Routing Problem", *International Journal of Production Economics*, 170, 805-814. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.03.021>
- Çelik, M. ve Süral, H. (2019). "Order Picking in Parallel-Aisle Warehouses with Multiple Blocks: Complexity and A Graph Theory-Based Heuristic", *International Journal of Production Research*, 57(3), 888-906. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1489154>
- De Santis, R., Montanari, R., Vignali, G. ve Bottani, E. (2018). "An Adapted Ant Colony Optimization Algorithm for the Minimization of the Travel Distance of Pickers in Manual Warehouses", *European Journal of Operational Research*, 267(1), 120-137. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.11.017>
- de Souza, M.C., de Carvalho, C.R. ve Brizon, W.B. (2008). "Packing Items to Feed Assembly Lines", *European Journal of Operational Research*, 184(2), 480-489. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.09.091>
- DHaen, R., Ramaekers, K., Moons, S. ve Braekers, K. (2024). "A Real-Life Study on the Value of Integrated Optimization in Order Picking Operations under Dynamic Order Arrivals", *Networks*, 84(3), 345-362. <https://doi.org/10.1002/net.22237>
- Dijkstra, E.W. (1959). "A Note on Two Problems in Connexion with Graphs", *Numerische Mathematik*, (1), 269-271. <https://doi.org/10.1007/BF01386390>
- Dorigo, M. ve Gambardella, L.M. (1997). "Ant Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem", *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 1(1), 53-66. <https://doi.org/10.1109/4235.585892>
- Dorigo, M. ve Stutzle, T. (2004). *Ant Colony Optimization*, Cambridge, MIT Press, MA. <https://doi.org/10.7551/mitpress/1290.001.0001>

- Dorigo, M., Di Caro, G. ve Gambardella L.M. (1999). "Ant Algorithms for Discrete Optimization", *Artificial Life*, 5(2), 137-72. <https://doi.org/10.1162/106454699568728>
- Dorigo, M., Maniezzo, V. ve Colomi, A. (1996). "Ant System: Optimization by A Colony of Cooperating Agents", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part B: Cybernetics*, 26(1), 29-41. <https://doi.org/10.1109/3477.484436>
- Dukic, G. ve Oluic, C. (2007). "Order-Picking Methods: Improving Order-Picking Efficiency", *International Journal of Logistics Systems and Management*, 3(4), 451-460. <https://doi.org/10.1504/IJLSM.2007.013214>
- Emde, S. ve Boysen, N. (2012a). "Optimally Locating In-House Logistics Areas to Facilitate JIT-Supply of Mixed-Model Assembly Lines", *International Journal of Production Economics*, 135(1), 393-402. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.07.022>
- Emde, S. ve Boysen, N. (2012b). "Optimally Routing and Scheduling Tow Trains for JIT-Supply of mixed-model Assembly Lines", *European Journal of Operational Research*, 217(2), 287-299. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.09.013>
- Floyd, R.W. (1962). "Algorithm 97: Shortest Path", *Communications of the ACM*, 5(6), 345. <https://doi.org/10.1145/367766.368168>
- Gil-Borras, S., Pardo, E.G., Alonso-Ayuso, A. ve Duarte, A. (2021) "A Heuristic Approach for the Online Order Batching Problem with Multiple Pickers", *Computers & Industrial Engineering*, 160, 107517. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107517>
- Golz, J., Gujjula, R., Gunther, H.O., Rinderer, S. ve Ziegler, M. (2012). "Part Feeding at High-Variant Mixed-Model Assembly Lines", *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 24(2), 119-141. <https://doi.org/10.1007/s10696-011-9116-1>
- Gu, J., Goetschalckx, M. ve McGinnis, L.F. (2007). "Research on Warehouse Operation: A Comprehensive Review", *European Journal of Operational Research*, 177(1), 1-21. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.02.025>
- Guo, S., Singh, M. ve Goodarzi, S. (2023). "Enhance Picking Viability in E-commerce Warehouses under Pandemic", *International Journal of Production Research*, 61(15), 5302-5321. <https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2101400>
- Hall, R.W. (1993). "Distance Approximation for Routing Manual Pickers in A Warehouse", *IIE Transactions*, 25(4), 76-87. <https://doi.org/10.1080/07408179308964306>
- Koster, R.D. ve Poort, E.V.D. (1998). "Routing Orderpickers in A Warehouse: A Comparison between Optimal and Heuristic Solutions", *IIE Transactions*, 30, 469-480. <https://doi.org/10.1023/A:1007599307171>
- Kübler, P., Glock, C.H. ve Bauernhansl, T. (2020). "A New Iterative Method for Solving the Joint Dynamic Storage Location Assignment, Order Batching and Picker Routing Problem in Manual Picker-To-Parts Warehouses", *Computers & Industrial Engineering*, 147, 106645. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106645>
- Lin, C.C., Peng, Y.C. ve Kang, J.R. (2024). "Joint Green Dynamic Order Batching and Picker Routing Problem Using PSO with Global Worst Experience", *Applied Soft Computing*, 154, 111336. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2024.111336>
- Lu, W., McFarlane, D., Giannikas, V. ve Zhang, Q. (2016). "An Algorithm for Dynamic Order-Picking in Warehouse Operations", *European Journal of Operational Research*, 248(1), 107-122. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.06.074>
- Masae, M., Glock, C.H. ve Vichitkunakorn, P. (2020). "Optimal Order Picker Routing in A Conventional Warehouse with Two Blocks and Arbitrary Starting and Ending Points of a Tour", *International Journal of Production Research*, 58(17), 5337-5358. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1724342>
- Masae, M., Glock, C.H. ve Vichitkunakorn, P. (2021). "A Method for Efficiently Routing Order Pickers in the Leaf Warehouse", *International Journal of Production Economics*, 234, 108069. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108069>
- Ozden, S.G., Smith, A.E. ve Gue, K.R. (2021). "A Computational Software System to Design Order Picking Warehouses", *Computers & Operations Research*, 132, 105311. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2021.105311>
- Park, B.C. (2012). "Order Picking: Issues, Systems and Models", *Warehousing in the Global Supply Chain*, Editör: Manzini, R. Springer, London, 1-30. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-2274-6_1
- Petersen, C. (1997). "An Evaluation of Order Picking Routing Policies", *International Journal of Operations & Production Management*, 17(11), 1098-1111. <https://doi.org/10.1108/01443579710177860>
- Petersen, C. (1999). "The Impact of Routing and Storage Policies on Warehouse Efficiency", *International Journal of Operations & Production Management*, 19(10), 1053-1064. <https://doi.org/10.1108/01443579910287073>
- Petersen, C. ve Aase, G. (2004). "A Comparison of Picking, Storage, and Routing Policies in Manual Order Picking", *International Journal of Production Economics*, 92(1), 11-19. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2003.09.006>

- Pugliese, L.D.P., Guerriero, F., Macrina, G., Matteucci, M. ve Mosca, V. (2024). "An Adaptive Large Neighborhood Search for the Order Picking Process: The Case of a Retail Distribution Company in Italy", *Procedia Computer Science*, 232, 2606-2615. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.02.079>
- Raith, A. ve Ehrgott, M. (2009). "A Comparison of Solution Strategies for Biobjective Shortest Path Problems", *Computers & Operations Research*, 36(4), 1299-1331. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2008.02.002>
- Rao, S.S. ve Adil, G.K. (2013). "Optimal class boundaries, number of aisles, and pick list size for low-level order picking systems", *IIE Transactions*, 45, 1309-1321. <https://doi.org/10.1080/0740817X.2013.772691>
- Rasmi, S.A.B., Wang, Y. ve Charkhgard, H. (2022). "Wave Order Picking under The Mixed-Shelves Storage Strategy: A Solution Method and Advantages", *Computers & Operations Research*, 137, 105556. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2021.105556>
- Ratliff, H. ve Rosenthal, A. (1983). "Order-Picking in A Rectangular Warehouse: A Solvable Case of the Traveling Salesman Problem", *Operations Research*, 31(3), 507-521. <https://doi.org/10.1287/opre.31.3.507>
- Roodbergen, K. ve de Koster, R. (2001). "Routing Methods for Warehouses with Multiple Cross Aisles", *International Journal of Production Research*, 39(9), 1865-1883. <https://doi.org/10.1080/00207540110028128>
- Roodbergen, K.J., Sharp, G.P. ve Vis, I.F. (2008). "Designing the Layout Structure of Manual Order Picking Areas in Warehouses", *IIE Transactions*, 40(11), 1032-1045. <https://doi.org/10.1080/07408170802167639>
- Rouwenhorst, B., Reuter, B., Stockrahm, V., van Houtum, G.J., Mantel, R.J. ve Zijm, W.H. (2000). "Warehouse Design and Control: Framework and Literature Review", *European Journal of Operational Research*, 122 (3), 515-533. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(99\)00020-X](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00020-X)
- Rushton A., Croucher P. ve Baker P. (2017). "The Handbook of Logistics and Distribution Management: Understanding the Supply Chain", London, UK, 255-265.
- Scholz, A., Henn, S., Stuhlmann, M., Wascher, G. (2016). "A New Mathematical Programming Formulation for the Single-Picker Routing Problem", *European Journal of Operational Research*, 253, 68-84, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.02.018>
- Silva, A., Coelho, L.C., Darvish, M. ve Renaud, J. (2020). "Integrating Storage Location and Order Picking Problems in Warehouse Planning", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 140, 102003. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.102003>
- Stutzle T. ve Hoos H.H. (2000). "Max-Min Ant System", *Future Generation Computer Systems*, 16(8), 889-914. [https://doi.org/10.1016/S0167-739X\(00\)00043-1](https://doi.org/10.1016/S0167-739X(00)00043-1)
- Teck, S. ve Dewil, R. (2022). "A Bi-Level Memetic Algorithm for the Integrated Order and Vehicle Scheduling in A RMFS", *Applied Soft Computing*, 121, 108770. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2022.108770>
- Tutam, M. ve White, J.A. (2019). "Multi-Dock Unit-Load Warehouse Designs with A Cross-Aisle", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 129, 247-262. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2019.07.011>
- Vaidyanathan, B.S., Matson, J.O., Miller, D.M. ve Matson, J.E. (1999). "A Capacitated Vehicle Routing Problem for Just-in-Time Delivery", *IIE Transactions*, 31(11), 1083-1092. <https://doi.org/10.1080/07408179908969909>
- Van Gils, T., Caris, A., Ramaekers, K. ve Braekers, K. (2019a). "Formulating and Solving the Integrated Batching, Routing, and Picker Scheduling Problem in A Real-Life Spare Parts Warehouse", *European Journal of Operational Research*, 277(3), 814-830. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2019.03.012>
- Van Gils, T., Caris, A., Ramaekers, K., Braekers, K. ve de Koster, R.B. (2019b). "Designing Efficient Order Picking Systems: The Effect of Real-Life Features on the Relationship among planning problems", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 125, 47-73, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2019.02.010>
- Vaughan, T. (1999). "The Effect of Warehouse Cross Aisles on Order Picking Efficiency", *International Journal of Production Research*, 37, 881-897. <https://doi.org/10.1080/002075499191580>
- Warshall, S. (1962). "A Theorem on Boolean Matrices", *Journal of the ACM (JACM)*, 9(1), 11-12. <https://doi.org/10.1145/321105.321107>
- Wu, R., He, J., Li, X. ve Chen, Z. (2024). "A Memetic Algorithm with Fuzzy-Based Population Control for the Joint Order Batching and Picker Routing Problem", *Information Sciences*, 656, 119913. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2023.119913>
- Xie, L., Li, H. ve Luttmann, L. (2023). "Formulating and solving integrated order batching and routing in multi-depot AGV-assisted mixed-shelves warehouses", *European Journal of Operational Research*, 307(2), 713-730. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022.08.047>
- Yousefi Nejad Attari, M., Ebadi Torkayesh, A., Malmir, B. ve Neyshabouri Jami, E. (2021). "Robust Possibilistic Programming for Joint Order Batching and Picker Routing Problem in Warehouse Management", *International Journal of Production Research*, 59(14), 4434-4452. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1766712>

- Zhang, J., Liu, F., Tang, J. ve Li, Y. (2019). "The Online Integrated Order Picking and Delivery Considering Pickers' Learning Effects for an O2O Community Supermarket", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 123, 180-199. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2019.01.013>
- Zhao, Z., Cheng, J., Liang, J., Liu, S., Zhou, M. ve Al-Turki, Y. (2024). "Order Picking Optimization in Smart Warehouses with Human-Robot Collaboration", *IEEE Internet of Things Journal*, 11, 16314-16324. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2024.3352658/mm1>
- Zhu, S., Hu, X., Huang, K. ve Yuan, Y. (2021). "Optimization of Product Category Allocation in Multiple Warehouses to Minimize Splitting of Online Supermarket Customer Orders", *European Journal of Operational Research*, 290(2), 556-571. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.08.024>

Toptan ve Perakende Sektöründe Yer Alan Lojistik Firmalarının Verimlilik Değerlerinin Borsa Performans Değerlerine Etkisi

Samuray Karaca¹ , Ahmet Karaca¹ 

ÖZET

Amaç: Bu çalışmanın amacı dağıtım lojistiği olarak BİST Toptan ve Perakende sektöründe yer alan işletmelerin ekonomik verimliliklerinin değerlendirilerek, piyasa performans değerlerine etkisinin belirlenmesidir.

Yöntem: Çalışmada işletmelerin verimlilikleri ile borsa performans değerleri arasındaki ilişki panel veri regresyon analizi ile araştırılmıştır. İşletmelerin ekonomik verimlilikleri mali tablolarında yer alan finansal veriler kullanılarak elde edilmiştir. İşletmelere ait piyasa değerleri ise işletmelerin sahip olduğu toplam hisse senetlerinin ilgili yılın hisse senedi kapanış fiyatı ile değerlendirilerek elde edilerek analize dahil edilmiştir. Bu amaçla araştırmaya dahil edilen işletmelerin finansal verilerinin yer aldığı mali tabloları 2012-2023 yılları arası Kamu Aydınlatma Platformu (KAP)'tan elde edilmiştir. Elde edilen verilerden işletmelerin verimlilikleri ve piyasa değeri hesaplanmıştır.

Bulgular: Analiz sonuçları değerlendirildiğinde modelin anlamlılık düzeyi de dikkate alınarak işletmelerin verimlilik oranındaki bir birimlik artışın borsa performans değerinde 0,5954 oranında bir artışa neden olacağı, ve bu değişimlerin istatistiksel açıdan anlamlı olduğu bulgusuna ulaşılmıştır. Sonuç olarak toptan ve perakende sektöründe yer alan lojistik işletmelerinin verimlilik değerlerinin borsa performans değerlerini pozitif yönde etkilediği, ayrıca işletmelerin lojistik verimliliklerinin 2019 yılında en düşük seviyede seyrederken, 2022 yılında en yüksek değere ulaştığı, işletmelerin borsa performans değerlerinin de 2018 yılında en düşük, 2022 yılında en yüksek değere ulaştığı tespit edilmiştir.

Özgünlük: Tedarik zincirinin bir parçası olan toptan ve perakende sektörüne ilişkin literatürde herhangi bir verimlilik analizi yer almamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ekonomik Verimlilik, Lojistik, Panel Data Regresyon, Borsa Değeri.

JEL Kodları: D24, C23, O47, G17.

The Effect of Efficiency Values of Logistics Companies in Wholesale and Retail Sectors on Stock Market Performance Values

ABSTRACT

Purpose: The present study aims to evaluate the economic efficiency of the businesses in the BIST (The Borsa Istanbul) Wholesale and Retail sector as distribution logistics and to determine its impact on market performance values.

Methodology: The relationship between the productivity of businesses and stock market performance value is investigated using panel data regression analysis. For this purpose, the financial statements containing the financial data of the businesses included in the study were obtained from the Public Disclosure Platform (PDP) between 2012 and 2023. The productivity and market value of the enterprises were calculated from the data obtained.

Findings: The analysis results revealed that a one-unit increase in the productivity ratio of the businesses would lead to an increase of 0.5954 in the stock market performance value, and these changes are statistically significant, taking into account the significance level of the model. In conclusion, it was determined that the logistics efficiency values of the businesses in the wholesale and retail sectors positively affect the stock market performance values. Furthermore, it was concluded that the logistics efficiency of the businesses was at the lowest level in 2019 and reached the highest value in 2022, while the stock market performance values of the businesses were the lowest in 2018 and reached the highest value in 2022.

Originality: There is no efficiency analysis in the literature regarding the wholesale and retail sector, which is a part of the supply chain.

Keywords: Economic Productivity, Logistics, Panel Data Regression, Market Value.

JEL Codes: D24, C23, O47, G17.

¹ Pamukkale Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Uluslararası Ticaret ve Lojistik Bölümü, Denizli, Türkiye

Corresponding Author: Samuray Karaca, skaraca@pau.edu.tr

DOI: 10.51551/verimlilik.1537967

Research Article | Submitted: 23.08.2024 | Accepted: 29.01.2025

Atıf/Cite: Karaca, S. ve Karaca, A. (2025). "Toptan ve Perakende Sektöründe Yer Alan Lojistik Firmalarının Verimlilik Değerlerinin Borsa Performans Değerlerine Etkisi", *Verimlilik Dergisi*, 59(2), 355-370.

EXTENDED ABSTRACT

Logistics activities, customer satisfaction, and business costs are critical. Each influences the owner's operations regarding disruptions; logistical activities can increase expenses, prompting customers to seek alternative sources. From an industrial marketing perspective, physical distribution serves business marketing purposes, supporting competitive advantages to strengthen your position. This study focuses on BIST Wholesale and Retail businesses in your industry. It periodically assesses their productivity based on performance metrics, determining the total exchange values to investigate, which reflect the enterprises' productivity. Their performance depends on how effectively they utilize their resources, establishing an explicit criterion for maximizing benefits from their operations. Efficiency generally refers to the production output relative to the input factors, expressed in definable ratios. The goods and services enterprises produce also involve specific factors contributing to productivity. The concept of productivity primarily concerns how input costs decrease, ultimately enhancing profitability significantly.

The necessity of conducting situational analyses and preparing accurate plans for businesses to develop strategies and achieve their profitability, growth, security, and autonomy goals drives researchers to explore these areas. The efficiency, productivity, profitability, and similar objectives achieved through resource use are crucial in demonstrating how well a business meets predetermined performance standards. The findings presented by researchers on these topics, in particular, will assist all stakeholders, especially managers and investors, in making effective decisions. It is essential for national economies that businesses utilize their scarce economic resources effectively and efficiently to achieve their objectives, sustain their operations, and grow amid challenging market conditions. Given the subject's significance, this study evaluates the economic efficiency of businesses in the BIST Wholesale and Retail sector as it relates to distribution logistics and seeks to determine its impact on market performance values.

This study, BIST Wholesale and Retail, in your industry, evaluates the economics and productivity of businesses and determines the effect of the stock exchange on their performance. For this purpose, businesses' productivity income is compared in the area of sales with the costs of sold finished products in proportion to each other. Businesses exchange their performance share bond numbers with year-end closing prices of share bonds by multiplication.

The analysis in the section regarding the variables of your relationship indicates that it is not healthy. One emerges here to conduct a long-term maturity spread financial data panel regression analysis with the hypothesis of the study being:

H_1 = Wholesale and retail businesses in the sector assess their productivity through total exchange values within relationships.

Research conducted by BIST Wholesale and Retail in the sector has yielded findings on the economic productivity rates of businesses relative to positive exchange values influenced by detection. The results indicate that a one-unit increase in business productivity results in a 5954% increase in exchange values. This discovery paves the way for further exploration.

The relationship-oriented analysis findings evaluate the exchange's performance, value, and productivity

<i>BD</i>	<i>Coefficient</i>	<i>Std. Deviation</i>	<i>z- Statistics</i>	<i>Possibility</i>
V	0.5954	0.2125	2.57*	0.0100
con	0.1818	0.0959	2.33**	0.0200
Wald chi2(1)	6.62*	Number of obs,	117	
Prob.	0.0100	Number of groups	11	
R-squared	0.054	Model	Cross-Sectional Time-Series FGLS Regression	

Note : * and ** indicate 1% and 5% significance levels, respectively.

In the literature on area studies, a lot of examination has been conducted regarding efficiency effects, productivity comparisons, and their rankings. This study is considered to be carried out alongside other research when evaluated in literature across different studies. One dimension is the earning potential indicated by the following studies, which shed light on new ideas in the literature. Studies, in general, identify factors affecting efficiency while concentrating on productivity. The results indicate insufficient productivity comparisons and factors influencing efficiency. An additional aspect of productivity is created through results related to business profitability, efficiency, return rates, market value, growth, and autonomy, which all impact research in size. This topic provides one idea within the field.

Based on different sectors, their productivity emerges from sectoral productivity comparisons. Applications can highlight businesses' productivity performance values such as profitability, efficiency, growth, market share, and bond prices. The values influence different fields of study, making it a recommendable area for researchers.

1. GİRİŞ

Lojistik fonksiyonu, iç ve dış tedarik süreçlerinden başlayan, üretim sistemleriyle devam eden ve dağıtım sistemleriyle son bulan birbirine bağlı faaliyetler zincirinin toplamından oluşmaktadır. Lojistik fonksiyonunun amacı işletme stratejilerine uygun olarak belirlenen üretim ve pazarlama hedeflerine optimum maliyetle etkin ve verimli bir şekilde ulaşmaktır. Bu amaca erişebilmek için, fiziksel dağıtım fonksiyonu ile malzeme yönetimi fonksiyonunun uyumlu hale getirilmesi ve doğru ürün ve hizmetlerin, doğru miktarda, doğru yerde, doğru zamanda ve doğru fiyatla tüketiciye ulaştırılmasının sağlanması gerekmektedir. Lojistik, işletmeler tarafından yaratılan değerın tüketicilere ulaştırılması açısından vazgeçilmez bir fonksiyondur (Acar, 2021: 48).

Lojistik faaliyetler müşteri memnuniyeti ve işletme maliyetleri üzerinde önemli bir etkiye sahip operasyonel bir süreci ifade etmektedir. Lojistik faaliyetlerle ilgili herhangi bir aksaklık, müşterilerin stok maliyetlerini arttıracak gibi, ikincil bir tedarik kaynağına yönelmelerine de sebep olabilir. Endüstriyel pazarlama bakış açısından fiziksel dağıtım, işletmenin pazarlama amaçlarını desteklemek ve rekabet avantajı sağlamak için bir güç konumuna gelmek zorundadır. Fiziksel dağıtım üretimi tüm tamamlanmış ürünlerin toptancılar ve perakendeciler aracılığıyla müşterilere iletimi için gerekli olan tüm faaliyetleri içermektedir. Öyle ki müşteriye iletilen ürün ve hizmetlerle ilgili her türlü bilginin geri bildirim faaliyetleri de fiziksel dağıtım kanalları tarafından sağlanmaktadır. Müşteriden geriye doğru sağlanan bilgiler, kanaldaki her bir dağıtım zinciri açısından stratejik önem taşımaktadır.

Fiziksel dağıtımın lojistik faaliyetler içerisindeki öneminden dolayı çalışmamızın konusunu dağıtım kanalında yer alan toptancı ve perakendeci işletmelerin verimliliği oluşturmaktadır. Çalışmalarda işletmelerin verimliliği muhasebe verilerine dayalı yöntemler olarak finansal analizde kullanılan faaliyet verimlilik oranlarından Alacak Devir Hızı, Stok Devir Hızı ve Aktif Devir Hızı oranları kullanılmaktadır. Ayrıca üretilen mal ve hizmetlerin ekonomik değerinin bu mal ve hizmetlerin üretimi için kullanılan girdilerin ekonomik değerine oranlanması şeklinde uygulanan verimlilik oranı, işletmelerin ekonomik verimliliklerinin hesaplanmasında kullanılmıştır. Verimlilik = Çıktı / Girdi eşitliğine dayanmaktadır. Bu eşitliği kullanarak, etkinliklerden başlayıp, çalışma grupları, bölümler, tüm işletme gibi çeşitli sistem düzeyleri için verimlilik göstergelerini hesaplamak mümkündür. Girdi malzeme, işçilik, enerji yada para gibi kontrolümüzde bulunan herhangi bir kaynak yada faktörü temsil etmektedir. Çıktı ise, girdilerin işlenmesi veya kullanımı yoluyla ortaya çıkan ve yine kontrol edilebilen herhangi bir ürün veya hizmeti ifade etmektedir (Keskin, 1994: 2). Bu çalışmanın amacı, BİST Toptan ve Perakende Sektöründe yer alan işletmelerin toplam verimliliklerinin toplam borsa değerlerine etkisinin incelenmesidir. Çalışmaya dahil edilen işletmelerin toplam borsa değerleri, işletmelerin hisse senedi sayısının hisse senedi yıllık kapanış fiyatları üzerinden değerlendirilmiştir. Bu amaçla araştırmaya dahil edilen işletmelerin finansal verilerinin yer aldığı mali tabloları 2012-2023 yılları arası Kamu Aydınlatma Platformu (KAP)'tan elde edilmiştir. İşletmelerin verimliliklerinin Toplam Borsa Değerlerine etkisi panel veri regresyon analiziyle incelenmiştir.

Bu çalışma, verimliliğin nedenlerinden ziyade işletme amaçlarına sağlamış olduğu katkıya odaklanması yönüyle literatürdeki diğer çalışmalardan ayrılmaktadır. Çalışmada, BİST Toptan ve Perakende Sektöründe yer alan işletmelerin ekonomik verimlilikleri değerlendirilerek, Borsa Performanslarına etkisi belirlenmiştir. Bu amaçla işletmelerin ekonomik verimlilikleri Gelir Tablosunda yer alan satışlar ile satılan mamul maliyetlerinin birbirine oranlanması ile elde edilmiştir. İşletmelerin Borsa Performansları hisse senedi sayısı ile yıl sonu hisse senedi kapanış fiyatlarının çarpılmasıyla elde edilmiştir. Araştırma sonucunda BİST Toptan ve Perakende sektöründe yer alan işletmelerin ekonomik verimlilik oranlarının borsa değerini pozitif yönde etkilediği tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre işletmelerin verimlilik oranlarındaki bir birimlik artışın, işletmelerin borsa değerlerinde %5954 oranında bir artışa yol açacağı bulgusuna ulaşılmıştır.

Çalışma lojistik kavramı ve lojistik verimliliği ile ilgili açıklamaların ardından verimlilik, lojistik süreçler, hissedar değeri ve verimliliğin lojistik süreçlere etkisine ilişkin geçmişte yürütülen literatür araştırmalarını içermektedir. Makalenin geri kalanı, bu araştırmanın araştırma yöntemlerini ve ampirik bulgularını açıklayarak düzenlenmiştir. Makale, temel katkıların, sınırlılıkların ve gelecekteki araştırma önerilerinin bir özetiyle son bulmaktadır.

2. LOJİSTİK VERİMLİLİĞİ

Lojistik genel olarak işletmelerin müşteri beklentilerini optimum düzeyde karşılayarak karlılıklarını istenen düzeyde sağlamak, doğru üretim ve hizmet sağlanmasında (etkinlik) ihtiyaç duyulan üretim girdileri ile elde edilecek ürün ve hizmetlerin maliyet analizinin, depolama faaliyetlerinin etkin ve verimli bir şekilde planlanması, organizasyonu, yönetilmesi, koordinasyonu ve denetimi sürecini içerir. Lojistik küresel ölçekte dünyanın her yerinde var olan üretim sistemlerinin ve ticaret merkezlerinin birbirleri ile tedarik ilişkisi içinde olmasını sağlayan bir sistemi ifade etmektedir (Altıntaş, 2022)

Tedarik Zinciri Yönetim Uzmanları Konseyi (CSCMP, Council of Supply Chain Management Professionals), lojistiği "Müşteri ihtiyaçlarını karşılamak için her türlü ürün, hizmet ya da bilgi akışının başlangıç noktasından tüketildiği son noktaya kadar olan tedarik zinciri içindeki çift yönlü akışının, en etkin şekilde planlanması, uygulanması ve kontrol edilmesi" (CSCMP, 2024) olarak tanımlarken; aynı kavram istenen ürünün, istenen yerde, istenen miktarda, doğru şekilde, doğru zamanda, optimum maliyetle müşteri için hazır olmasının yanı sıra bu kriterlerin eş zamanlı olarak sağlanması durumunda anlam taşıyacağına vurgu yapılmaktadır (Mutlu ve Ölmez, 2017).

Lojistik, nihai tedarikçiler, üreticiler ve nihai tüketiciler arasında üretim girdileri ile üretim çıktılarının akışını sağlayan sistemsel bir ağıdır. Bu sistemde yer alan toplam faaliyetlerin dünya çapındaki değeri yaklaşık 4,3 trilyon dolar olarak gerçekleşmektedir. Dolayısıyla lojistik faaliyetlerin kalitesinin yükseltilerek sistemin verimliliğinin sağlanması küresel ekonomi açısından önem kazanmaktadır. OECD tarafından 2005 yılında yapılan çalışmada lojistik maliyetlerinin toplam gelirlerin %2-%15 arasında seyrettiği belirtilmektedir. Lojistik maliyetlerin oransal farkı lojistik performansın uluslararası rekabette ne kadar önemli bir rol oynadığını ortaya koymaktadır (Görgün, 2020).

Lojistiğin verimliliği, ekonomik kalkınmada ve ülkenin rekabet avantajının artmasında oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Lojistik faaliyetleri, ulusal ve uluslararası rekabetçiliğin gelişmesinde en önemli faktörlerden birisi olmaktadır. Bu nedenle, ülkeler politik olarak ekonominin kilit sektörlerinden olan lojistiği geliştirmeyi amaçlamaktadır. Verimsiz lojistik hizmetler, maliyetlerin artmasıyla birlikte kâr marjının azalmasına ve küresel entegrasyon olasılığının zayıflamasına neden olabilmektedir. Bu, küresel düzeyde rekabet etmeye çalışan gelişmekte olan ülkeler üzerinde büyük bir yük oluşturmaktadır.

Lojistik faaliyetlerde verimlilik, sistemi meydana getiren unsurların hızı, güvenilirliği, kalitesi ve düşük maliyeti için kullanılmaktadır. Lojistik faaliyetlerin verimlilik ve etkinliğinin artırılması birim maliyetleri düşüreceğinden ürün ve hizmetlerin pazara sunumunun hız kazanmasına ve yaratılan faydanın da artmasına olanak sağlamaktadır. Lojistik faaliyetlerin etkin ve verimliliğine bağlı olarak, ülkede yer alan lojistik sistemlerin küresel sistemlerle bütünleşmeleri kolaylaşmakta ve işletmelerin rekabet avantajı artmaktadır (Bayraktutan ve Özbilgin, 2015).

Verimlilik ise, bir üretim sisteminin ortaya koyduğu çıktı ile bu çıktının yaratılmasında kullanılan girdi arasındaki oransal bir ilişkidir. Bu açıdan tanımlanacak olursa verimlilik, işletmelerin ortaya koyduğu mal ve hizmetler için gerekli olan bilgi, enerji, hammadde, yarı mamul, teknoloji, işgücü, sermaye gibi kaynakların etkin bir şekilde kullanımıdır (Korucuk, 2018: 31). Verimlilik, genel olarak çıktının onu üretmek için kullanılan girdiye oranı şeklinde tanımlanır. İşletmelerde çıktı mal veya hizmet olabilirken girdi ise işçilik, sermaye, ham madde, enerji, bilgi ve diğer kaynaklardan oluşmaktadır. Bir işletme insan ve makine kaynaklarını ne kadar etkin kullanırsa verimlilik o kadar fazla olabilmektedir. Verimlilik genel olarak aşağıdaki Eşitlik 1'de verilen oranla hesaplanır (Aydın, 2012: 47):

$$\text{Toplam Verimlilik} = \frac{(\text{Üretilen hizmet veya ürünün değeri})}{(\text{Üretim için kullanılan tüm girdinin değeri})} \quad (1)$$

Verimlilik, lojistiğin iç işleyişine atıfta bulunmaktadır ve genellikle girdilerin normal düzeyinin gerçek çıktı düzeyine oranıyla en iyi şekilde temsil edildiği düşünülmektedir. Özellikle, kullanılan kaynakların elde edilen sonuçlara oranı olarak ifade edilmektedir (Mentzer ve Konrad, 1991). Verimlilik, müşteri için kabul edilebilir bir maliyet düzeyinde istenen ürün/hizmet karışımını sağlama yeteneği olarak kabul görmektedir (Langley ve Holcomb, 1992). Daha geniş anlamda, lojistik işlevinin kaynakları akıllıca yönetme yeteneğinin bir ölçüsü olarak ifade edilmektedir (Fugate ve diğerleri, 2010).

Thorndike (1949) ilk olarak örgütsel araştırmacılar arasında verimliliği üretkenlik, net kar, bir misyonun başarılması veya örgütsel büyüme ve istikrar gibi bazı "nihai ölçütlerin" elde edilmesi açısından ölçmeye yönelik genel bir eğilim olduğunu belirtmiştir. Campbell (1973)'in çeşitli etkinlik ölçümlerine ilişkin daha yakın tarihli incelemesi, araştırma literatüründe kullanılan 19 farklı değişkeni tanımlamaktadır. Bu tek değişkenli ölçümlerin en yaygın kullanılanları şunlardır: (1) çalışan veya yönetici derecelendirmeleriyle ölçülen genel performans; (2) genellikle gerçek çıktı verileriyle ölçülen verimlilik; (3) geri bildirim anketleriyle ölçülen çalışan memnuniyeti; (4) muhasebe verilerine dayalı kar veya getiri oranı; (5) devir hızı ve devamsızlık verilerine dayalı oranlar (Steers, 1975).

3. LİTERATÜR

Yöneticiler, performans iyileştirmelerini sağlamaya çalışırken, genellikle birden fazla, görünüşte çelişkili hedeflerle mücadele ederler (Steers 1975). Lojistik yöneticileri geleneksel olarak ya verimlilik için çabalamak ya da etkinlik için çabalamak gibi zor bir seçimle karşı karşıya olduklarını varsaymışlardır. Son lojistik araştırmaları bu iki performans hedefinin birbirini dışladığını öne sürse de (Griffis ve diğerleri, 2004), bu ikilemin yersiz olması da mümkündür. Dahası, lojistik yöneticileri günümüzün aşırı rekabetçi pazarlarında rekabet edebilmek için müşterilere en iyi karşılaştırmalı (yani farklılaştırılmış) net değeri

sağladıklarından emin olmak için verimlilik ve etkinlikten daha fazlasına çabalamalıdır. Artan müşteri talepleri, ürünlerin ekonomik ömürlerinin kısalması, hızlı teknolojik değişimler, küreselleşme ve müşterilerin sürekli artan beklentilerini karşılama ihtiyacı (Singhal ve Hendricks 2002), aslında aynı anda son derece verimli, etkili ve farklılaştırılmış lojistik faaliyetleri geliştirmek için çığır açan bir düşünce gerektirmektedir (Fugate ve diğerleri, 2010).

Lojistik faaliyetler mikro açıdan ekonomik ve sosyal boyutlarıyla değerlendirilebilmektedir. Etkin ve verimli lojistik faaliyetler ekonomik açıdan değerlendirildiğinde istihdamın, refahın, satın alma gücünün artmasına, sosyal açıdan değerlendirildiğinde moral ve motivasyonun artmasına, yetişmiş insan kaynağının önemine ve gelişmesine, lojistik yerleşkelerin kurulmasına, adaletli politikaların uygulanmasına, stratejik ortaklıkların önemine, ortaklı modellerin çeşitlenmesine, uluslararası ticaretin gelişmesine, yatırımların, sermayelerin, dış kaynakların, rekabetin artmasına ve sosyal anlamda insani yardım faaliyetlerinin çoğalmasına neden olabilmektedir (Altıntaş, 2022).

Richardson ve Gordon (1980), firma yeteneklerinin ve zamanla demode olan ürünlerin değişen ihtiyaçlara uyum sağlaması gerektiğini savunurlar. Bu argüman, Fisher'ın verimli ve tepki veren sistemlere ilişkin örneklerinde görüldüğü gibi, üretilen ürünlerin doğasıyla senkronize sistemler tartışmasına paralel şekilde, Mentzer ve Konrad (1991), verimliliğin önemini vurgulamaktadır. Dolayısıyla, rekabetin bir temeli olarak tepki verme veya verimliliğin peşinde koşmak, çerçevenin ilk boyutunu temsil eder (Griffis, 2004).

Fisher (1997)'in popüler teorisi, tedarik zincirlerinin ya malların tesliminde fiziksel işleyişi vurgulayarak verimlilik için ya da bilgi iletimde piyasa aracılık işlevini öne sürerek yanıt vermek için tasarlanması gerektiğini ileri sürmektedir. Buna karşılık, son zamanlardaki deneysel araştırmalar (Selldin ve Olhager 2007), verimli ve hızlı yanıt veren tedarik zincirlerinden ürün seçen firmaların, rakiplerinden daha yüksek finansal performans elde ettiğini göstermektedir. Bu, firmaların performans boyutlarını (örneğin, verimlilik ve etkinlik) ters orantılı olarak değerlendirmek yerine her ikisini de eş zamanlı olarak takip edebilecekleri gerçeğine ışık tutmaktadır (Fugate ve diğerleri, 2010).

Singhal ve Hendricks (2002), tedarik zinciri aksaklıklarının hissedar değeri üzerindeki etkisini araştırmak için dört yıl harcamışlardır. Genel piyasa veya sektör dalgalanmaları gibi hissedar değerini etkileyebilecek diğer faktörleri kontrol etmek için bir olay çalışması metodolojisini kullanmışlardır. Bu metodolojiye tabi tutulan 1.100'den fazla tedarik zinciri aksaklığına dayalı bir örneğe dayanarak, şirketlerin bir aksaklık duyurduklarında hisse senedi fiyatlarında ortalama %7,5'lik bir düşüş yaşayacağını tahmin etmişlerdir. Ayrıca, hisse senedi fiyat performansı, aksaklık duyurusundan iki çeyrek dönem önce ve iki çeyrek dönem sonra ölçüldüğünde ortalama %18,5'lik bir düşüş tespit edilmiştir. Çalışma tedarik zinciri yönetimindeki yetersizliğin hissedar değeri üzerinde ne kadar düşüşe neden olabileceğini aynı zamanda etkili tedarik zinciri yönetiminin hissedar değerini ne ölçüde arttırabileceğini göstermektedir (Singhal ve Hendricks, 2002).

Korucuk (2018), yapmış olduğu çalışmada lojistik hizmet kalitesinin unsurları olan personel iletişim kalitesi, bilgi kalitesi, sipariş işleme kalitesi, fiziksel dağıtım kalitesi, imaj ile güven kalitesi, çeviklik, sosyal sorumluluk kalitesi ve teknoloji kalitesinin üretim işletmelerinde verimliliğe olan etkisi lojistik regresyon analizi ile incelenmiştir. Erzincan ilinde bulunan üretim işletmelerinde çalışan personele sağlanan lojistik hizmet kalitesinin işletme çalışanları tarafından nasıl algılandığı ve lojistik hizmet kalitesinin işletme verimliliği üzerinde nasıl bir etkiye sahip olduğu araştırılmıştır. Araştırma sonucunda lojistik hizmet kalitesinin işletme verimliliğine, personel iletişim, bilgi, sipariş işleme, fiziksel dağıtım ve teknoloji kalitesi konularında etkilerinin olmasına karşın sosyal sorumluluk, imaj ve güven kalitesi ile ilgili işletme verimliliği üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

Görçün (2019), yapmış olduğu çalışmada Karadeniz'e kıyısı olan konteyner limanlarının verimliliğini belirlemek için çok kriterli karar verme yöntemlerinden entropi ve EATWOS yöntemlerinin entegre edilmesi ile oluşturulan hibrid bir model kullanmıştır. Model üçü hazırlık, sekizi ise uygulama adımı olmak üzere toplam on bir adımdan oluşurken adımlarının ilk dördünde entropi yöntemi kullanılarak değerlendirmeye alınan faktörler için ağırlık değerleri, sonraki dört adımda EATWOS yönteminin adımları kullanılarak her bir karar noktası için verimlilik değerleri hesaplanmış ve değerlendirilen alternatifler verimlilik değerlerine göre sıralandırılmıştır. Araştırmada söz konusu limanların performans verimlilikleri sıralaması Costanza, Vatna, Novorossysk, Burgaz, Ilıcevs, Odessa, Samsun, Poti ve Trabzon olarak gerçekleşmiştir.

Abdioğlu ve Yamak, (2016) Türkiye imalat sanayi ve toplam 9 alt sektörü bazında Verdoorn yasasını 2005:01-2016:01 dönemi itibarıyla test etmeyi amaçlayan çalışmalarında hem statik hem de dinamik analiz kullanmışlardır. Çalışmada statik analiz çerçevesinde Pesaran, Shin ve Smith (2001)'in sınır testi yaklaşımı ile değişkenler arasında uzun dönem ilişki olup olmadığı araştırılmıştır. Sonuçlara göre toplam imalat sanayi için çıktı ve verimlilik arasında uzun dönem ilişkisi söz konusu değildir. Alt sektörler itibarıyla toplam 9 alt sektörden sadece bütün ürünlerinin imalatı için verimlilik ve çıktı arasında uzun dönem ilişki olduğu saptanmıştır.

Alkış ve diğerleri (2020) Endüstri 4.0 uygulamalarının lojistik sektöründe operasyonel verimliliğe etkisini incelemişlerdir. Çok yönlü olarak ele alınan operasyonel verimliliğin Endüstri 4.0 uygulamalarından olumlu yönde etkilendiği ve işletmelerden elde edilen bulgulara göre Endüstri 4.0 uygulamalarının lojistik depo yönetiminde kullanımının operasyonel verimliliği artırdığı bulgusuna ulaşılmıştır.

Yılmaz ve Kuvat (2021) yürütmüş oldukları çalışmada, lojistik faaliyetlerinde dijital teknolojilerden nesnelerin interneti teknolojisinin uygulanmasına bağlı olarak elde edilecek verimlilik kazanımları belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan araştırmanın sonuçlarına göre işletmelerin temel lojistik faaliyetlerinde nesnelerin interneti teknolojisini kullanmalarının fayda, maliyet ve verimlilik açısından büyük avantajlar sağlamasına karşın lojistik faaliyetlerine entegre olma konusunda yaşanan kaygıların, bu teknolojiye geçiş sürecini geciktirdiği ve hatta durma noktasına getirdiğine yönelik bulgulara da rastlanmıştır.

Altıntaş (2022) yürütmüş olduğu çalışmasında G7 ülkelerine göre Lojistik Performans Endeksi'ni belirleyen bileşenlerin önem derecelerini (katsayı ağırlıklarını) ve ülkelerin G7 ülkelerine göre lojistik performans verimliliğini ve üretkenliğini belirlemeyi amaçlamışlardır. Bu amaçla ülkelerin 2018 yılı için en son ve güncel Lojistik Performans Endeksi Entropy ile ülkelerin lojistik performans faaliyetleri Veri Zarflama Analizi ile ülkelerin lojistik performans verimliliği Entropy tabanlı EATWIOS (Girdi ve Çıktı Memnuniyeti ile Verimlilik Analiz Tekniği) yöntemi ile belirlenmiştir. Araştırma sonucuna göre ülkeler bazında lojistik performansını belirleyen en önemli bileşenin uluslararası sevkiyatlar olduğu görülmüştür. Yine bulgulara göre Almanya hariç tüm ülkeler lojistik performans verimliliğine ulaşabilmiştir. Ülkelerin lojistik verimlilik performans değerleri Japonya, ABD, Almanya, Fransa, İtalya, Kanada ve Birleşik Krallık olarak sıralanmıştır. Ayrıca ülkelerin lojistik performans, lojistik performans verimliliği ve lojistik performans üretkenlik sıralamalarının farklı olduğu ve birbirleriyle olan ilişki değerlerinin önemsiz olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Delibalta (2023) tarafından yapılan bir çalışmada, Türkiye madencilik sektörünün verimliliği ve ekonomik katkı düzeyi analiz edilmiştir. Teknolojik gelişmeler toplumların sosyo-ekonomik yaşamlarında köklü değişikliklere neden olduğundan dolayı madencilik sektörü de bu değişikliklerden büyük ölçüde etkilenmektedir. Türkiye'deki madencilik işletmelerinin verimlilik düzeyi, gelişmiş ülkelerle karşılaştırıldığında oldukça düşük kalmaktadır. ABD ve Avustralya, Türkiye'den yaklaşık sekiz kat daha verimli kömür üretmektedir. Benzer bir örüntü, AB ülkeleri ile Türkiye arasında işçi başına katma değer miktarında da görülmektedir.

Yaşar ve Yavuz (2024) çalışmalarında, BIST 100'de işlem gören imalat işletmelerinin toplam faktör verimliliğini Malmquist toplam faktör verimliliği (MTFP) endeksi ile ölçmüşlerdir. 2010-2017 yıllarını kapsayan çalışma döneminde otuz yedi işletmenin finansal oranlarının kullanıldığı çalışmanın sonuçları, imalat işletmelerinin ortalama toplam faktör verimliliği değerlerinin 2012-2013 ve 2016-2017 dönemlerinde azaldığını, diğer dönemlerde ise arttığını göstermiştir. İşletmeler için en verimli dönem 2013-2014 dönemi olmuştur. Malmquist toplam faktör verimliliği endeksine göre imalat işletmeleri 2010-2017 döneminde ortalama yıllık %26,9 verimlilik artışı göstermiştir.

Ulusam Seçkiner ve Sofuoğlu (2024) çalışmalarında, "sıfır kağıt" kriterine göre veri zarflama analizi tekniği ile sekiz farklı senaryo altında kırtasiye giderlerine dayalı toplam yirmi dijital hastanenin verimliliğini ölçmüş ve ardından bu verimlilik puanlarını istatistiksel olarak analiz etmişlerdir. Veri zarflama analizi ve istatistiksel analizler, tüm senaryolarda yedinci basamak hastanelerin ortalama verimliliğinin, altıncı basamak hastanelerin kırtasiye giderlerine dayalı ortalama verimliliğinden daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Ancak altıncı basamak hastanelerin de verimliliği yüksek olduğundan, altıncı ve yedinci basamak hastanelerin hastane bazlı verimlilik puanları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark elde edilememiştir.

4. VERİ VE YÖNTEM

Araştırmanın amacı Borsa İstanbul'da işlem gören Toptan ve Perakende sektöründe yer alan işletmelerin Lojistik Verimliliklerinin Borsa Performanslarına etkisinin araştırılarak hangi yönde etkilendiğinin belirlenmesidir. Çalışmada işletmelerin verimlilik oranları ile borsa performansları arasındaki ilişki panel veri analizi ile incelenmiştir.

İşletmelerin ekonomik verimliliklerinin hesaplanması ekonomik değerlerin birbirine oranlanması ile gerçekleştirilmektedir. Bu durum Eşitlik 2 ile gösterilmektedir (Şimşek ve Çelik, 2013: 133):

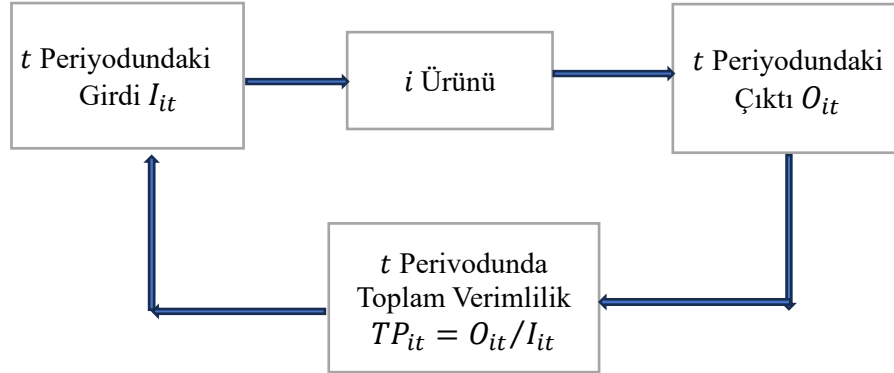
$$\text{Ekonomik Verimlilik} = \frac{\text{Üretimin Değeri}}{\text{Üretimin Maliyet Giderleri Toplamı}} \quad (2)$$

Firmanın t periyodundaki Toplam Verimlilik İndeksi (TPF) ise Eşitlik 3 ile hesaplanır.

$$(TPF)_t = \frac{TPF_t}{TPF_0} \quad (3)$$

Toplam çıktıyı tüm girdi kalemleri ile ilişkilendiren toplam verimlilik ölçümü Kendrick ve Creamer, 1965; Craig ve Harris, 1972-1973; tarafından önerilmektedir. İşletme açısından verimliliği kontrol etmenin en iyi

yöntemi, her bir girdi faktörüne göre kısmi verimlilik indekslerinin yanında toplam verimlilik eğilimlerine bakılmasıdır (Keskin, 1994: 45).



Şekil 1. Toplam verimlilik

Toplam çıktıyı tüm girdi kalemleri ile ilişkilendiren toplam verimlilik ölçümü Eşitlik 4 ve 5'te gösterilmektedir (Keskin, 1994: 45):

$$TP_{it} = \frac{O_{it}}{I_{it}} = \frac{O_{it}}{\sum_j I_{ijt}} = \frac{O_{it}}{I_i H_t + I_i M_t + I_i C_t + I_i E_t + I_i X_t} \quad (4)$$

Eşitlik 4'te H , İnsan girdisini; M , malzeme ve satın alınan parça girdisini; C , sermaye girdisini; E , enerji girdisi ni ve X , diğer harcamaları ifade etmektedir.

$$TPF = \text{Firmanın Toplam Verimliliği} = \frac{\text{Firmanın Toplam Çıktısı}}{\text{Firmanın Toplam Girdisi}} = \frac{OF_0}{IF_0} \quad (5)$$

Eşitlik 5' te ele alınan Toplam Verimlilik Modeli Davis' in çalışmasından geliştirilmiş bir üçüncü nesildir. Davis çalışmasında her bir endüstri yada firmanın birbirinden farklı problemlerle karşı karşıya kaldığını, bu yüzden spesifik şirket şartları için genel verimlilik ölçüm ilkelerinin adaptasyonunun gerekliliğine işaret etmiştir. Bu yüzden kullandığımız verimlilik modeli üzerinde çeşitli yenilikler yapılmıştır.

“Üretilen mal ve hizmetlerin satışa hazır duruma gelene kadar her türlü maliyete üretilen malın maliyeti denilmektedir. Satışa hazır bir malın maliyeti içinde bu mal ve hizmete ilişkin her türlü ücret, maaş ve primler, her türlü sigorta primleri, bina ve arazi vergi payları, taşıma giderleri payı, haberleşme giderleri payı, her türlü enerji giderleri payı, bakım ve onarım giderleri payı, yıpranma payları, her türlü hammadde, yardımcı madde ve malzeme giderleri payı, her türlü faiz payları, patent, lisans, marka gibi haklara ödenen ücretlerin payı bulunmaktadır” (Şimşek ve Çelik, 2023: 103). Çalışmada girdi olarak üretim maliyetlerinden malzeme, işçilik ve genel üretim giderlerini içine alan satışların maliyeti verisi kullanılmıştır. Çıktı olarak ise, üretilen ürünün birimi ile piyasa satış fiyatının çarpımından elde edilen satış değeri kullanılmıştır (Keskin, 1994: 47).

Çalışmaya dahil edilen işletmelerin 2012-2023 yıllarına ait finansal verileri kullanılarak 11 yıllık verimlilik oranları ve borsa değerleri hesaplanmıştır. İşletmelerin borsa değeri hisse senedi sayısı ile hisse senedi fiyatlarının çarpılmasıyla Eşitlik 6'da olduğu gibi elde edilmiştir (Lazol, 2004: 81).

$$\text{Toplam Borsa Değeri} = \text{Ödenmiş Sermaye} * \text{Hisse Senedi Fiyatı} \quad (6)$$

Çalışmada yer alan işletmelere ait veriler, BİST (Borsa İstanbul), TCMB (Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası)' ve KAP (Kamu Aydınlatma Platformu) veri dağıtım sisteminden sağlanmıştır. Verilerin analizi için Stata IC 15.0 paket programından yararlanılmıştır. Çalışmaya özellikle 2012-2023 yılları analiz dönemi verilerine sahip olan işletmeler dahil edilmiştir. İşletmelerin borsa performansları sahip oldukları hisse senedi sayısının ilgili yılın hisse senedi kapanış fiyatı üzerinden değerlemesiyle hesaplanmıştır (Aras ve diğerleri, 2017).

Araştırma modelinde yer alan değişkenlerden toplam verimlilik değişkeni ile toplam borsa değeri değişkenlerinin aralarındaki ilişkinin belirlenmesi amacıyla panel veri regresyon analizi kullanılmıştır. Panel veri regresyon modeli genel olarak Eşitlik 7'de olduğu gibi (Gujarati, 2003: 219):

$$Y_{it} = \alpha_{it} + \beta_{kit} X_{kit} + \mu_{it} \quad (7)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada, Y (bağımlı değişken), X_{kit} (bağımsız değişkenler), α_{it} sabit parametre, β_{kit} eğim parametreleri ve μ_{it} hata terimidir. Bununla birlikte, i alt indisi birimleri, t alt indisi zamanı ifade etmektedir (Altunışık ve diğerleri, 2010: 237; Tafri ve diğerleri, 2009).

Tablo 1. BİST toptan ve perakende sektöründe yer alan ve analize dahil edilen işletmeler

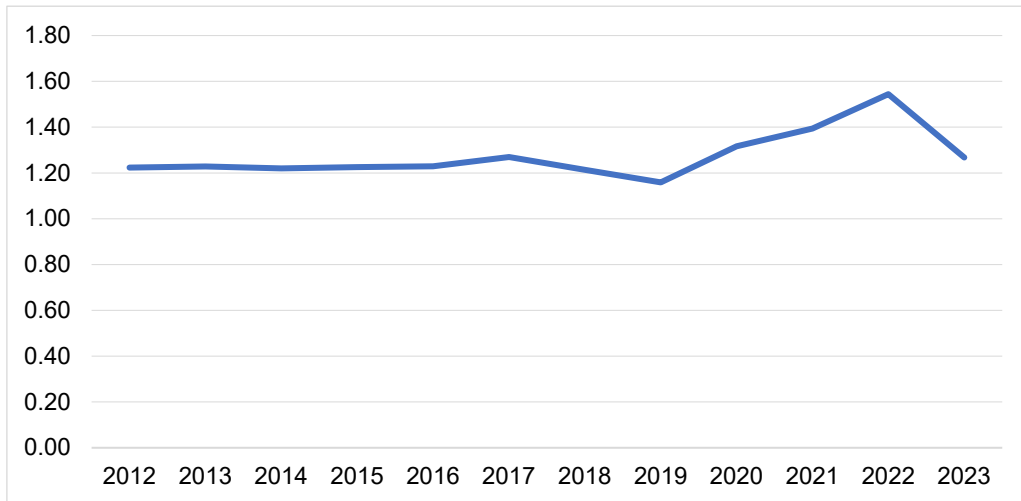
No	Kod	Şirket Adı
1	BIMAS	BİM Birleşik Mağazalar A.Ş.
2	BİZİM	Bizim Toptan Satış Mağazaları A.Ş.
3	CRFSA	Carrefoursa Carrefour Sabancı Ticaret Merkezi A.Ş.
4	DOAS	Doğuş Otomotiv Servis Ve Ticaret A.Ş.
5	INTEM	İntema İnşaat ve Tesisat Malzemeleri Yatırım ve Pazarlama A.Ş.
6	MEPET	Mepet Metro Petrol ve Tesisleri Sanayi Ticaret A.Ş.
7	MGROS	Migros Ticaret A.Ş.
8	MİPAZ	Milpa Ticari ve Sınai Ürünler Pazarlama Sanayi ve Ticaret A.Ş.
9	SANKO	Sanko Pazarlama İthalat İhracat A.Ş.
10	TKNSA	Teknosa İç ve Dış Ticaret A.Ş.
11	VAKKO	Vakko Tekstil ve Hazır Giyim Sanayi İşletmeleri A.Ş.

Analize dahil edilen işletmeler tablo 1'de gösterilmektedir. İşletmelerin seçiminde panel veri regresyon analizine uygun olması amacıyla en az 10 yıl ve üzeri finansal verilerine erişim olanağı göz önünde bulundurulmuştur.

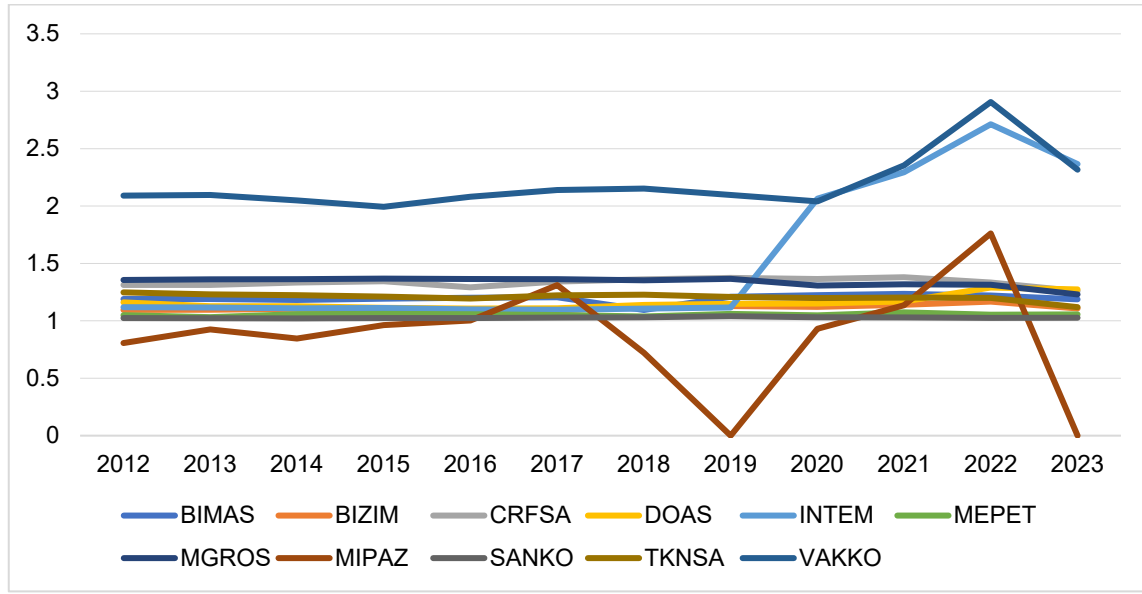
Tablo 2. BIST toptan ve perakende sektöründe yer alan işletmelerin verimlilik değerleri

Yıl	BIMAS	BİZİM	CRFSA	DOAS	INTEM	MEPET	MGROS	MİPAZ	SANKO	TKNSA	VAKKO
2012	1,19	1,09	1,31	1,16	1,12	1,05	1,36	0,81	1,02	1,25	2,09
2013	1,19	1,10	1,31	1,13	1,12	1,03	1,36	0,92	1,02	1,23	2,10
2014	1,18	1,10	1,33	1,13	1,11	1,06	1,36	0,85	1,02	1,22	2,05
2015	1,19	1,10	1,34	1,11	1,11	1,06	1,37	0,96	1,02	1,21	1,99
2016	1,20	1,09	1,29	1,11	1,10	1,06	1,36	1,00	1,02	1,19	2,08
2017	1,21	1,09	1,34	1,11	1,10	1,05	1,36	1,31	1,03	1,22	2,14
2018	1,09	1,12	1,36	1,14	1,11	1,04	1,35	0,72	1,03	1,23	2,15
2019	1,21	1,13	1,37	1,15	1,12	1,06	1,37	0,00	1,04	1,21	2,10
2020	1,22	1,12	1,36	1,15	2,06	1,05	1,31	0,93	1,03	1,20	2,04
2021	1,23	1,14	1,38	1,17	2,29	1,07	1,32	1,14	1,03	1,20	2,35
2022	1,22	1,17	1,33	1,29	2,71	1,05	1,31	1,76	1,03	1,20	2,91
2023	1,19	1,11	1,26	1,27	2,36	1,06	1,23	0,00	1,03	1,12	2,32
Ortalama	1,19	1,11	1,33	1,16	1,53	1,05	1,34	0,87	1,03	1,21	2,19
En Büyük	1,23	1,17	1,38	1,29	2,71	1,07	1,37	1,76	1,04	1,25	2,91
En Küçük	1,09	1,09	1,26	1,11	1,10	1,03	1,23	0,00	1,02	1,12	1,99

Tablo 2'de yer alan veriler incelendiğinde 2,19 verimlilik ortalamasıyla VAKKO 1. Sırada, 1,53 ortalamayla INTEM ve 1,34 ortalamayla MGROS verimlilik performansları en yüksek işletmeler olmuştur. Yıllık bazda değerlendirildiğinde işletmelerin verimlilik performanslarının en yüksek olduğu yıl 1,54 verimlilik ortalamasıyla 2022 ve 1,16 verimlilik performansı ortalamasıyla 2019 ortalama verimlilik performansı en düşük yıl olmuştur.

**Şekil 2. BIST toptan ve perakende sektöründe yer alan işletmelerin yıl bazında ortalama verimlilik trendi**

Şekil 2'de işletmelerin verimlilik performanslarının yıllık bazda genel ortalamalarının toplu gösterimi yer almaktadır.



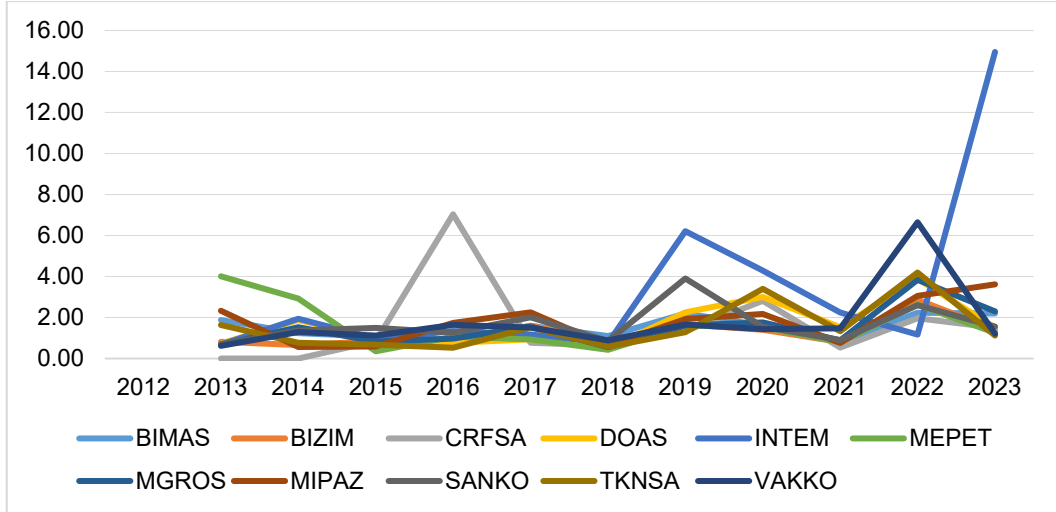
Şekil 3. BİST toptan ve perakende sektöründe yer alan işletmelerin verimlilik değerleri

Şekil 3'te işletmelerin verimlilik performanslarının işletme bazında toplu gösterimi yer almaktadır. Şekilden görüleceği üzere işletmelerin verimlilik değerleri 2019 yılında en düşük seviyeye ulaşırken en yüksek seviye 2022 yılında gerçekleşmiştir.

Tablo 3. BİST toptan ve perakende sektöründe yer alan işletmelerin borsa değeri artış oranı

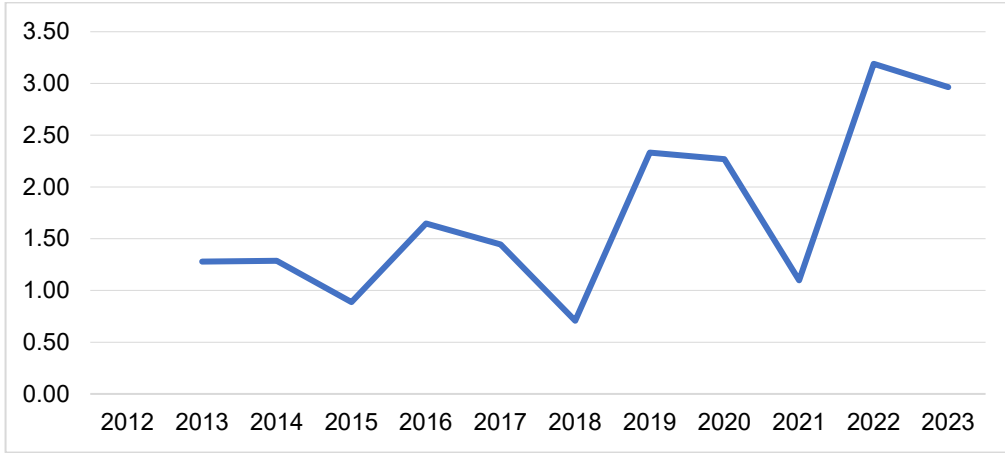
Yıl	BIMAS	BİZİM	CRFSA	DOAS	INTEM	MEPET	MGROS	MIPAZ	SANKO	TKNSA	VAKKO
2013	1,88	0,81	0,00	0,73	0,68	4,01	0,66	2,33	0,71	1,63	0,62
2014	1,23	0,66	0,00	1,88	1,94	2,92	1,53	0,56	1,36	0,77	1,29
2015	1,07	0,85	0,85	0,97	0,97	0,35	0,82	0,59	1,50	0,67	1,12
2016	0,92	0,84	7,04	0,76	1,34	1,07	0,97	1,74	1,26	0,53	1,65
2017	1,59	1,60	0,77	0,94	1,18	0,94	1,57	2,25	2,01	1,52	1,51
2018	1,09	0,86	0,63	0,52	0,77	0,43	0,56	0,62	0,86	0,57	0,89
2019	2,20	1,67	1,34	2,25	6,21	1,62	1,61	1,93	3,90	1,28	1,66
2020	1,61	1,40	2,81	3,00	4,29	1,53	1,76	2,17	1,55	3,40	1,44
2021	0,81	0,81	0,53	1,52	2,24	0,80	0,89	0,76	0,91	1,33	1,47
2022	2,23	2,87	1,96	3,89	1,17	2,62	3,84	3,06	2,61	4,19	6,65
2023	2,20	1,40	1,50	1,51	14,95	1,25	2,30	3,62	1,56	1,12	1,21
Ortalama	1,53	1,25	1,58	1,63	3,25	1,59	1,50	1,78	1,66	1,55	1,77
En Büyük	2,23	2,87	7,04	3,89	14,95	4,01	3,84	3,62	3,90	4,19	6,65
En Küçük	0,81	0,66	0,00	0,52	0,68	0,35	0,56	0,56	0,71	0,53	0,62

Tablo 3'te yer alan veriler incelendiğinde 3,25 borsa performans artış oranıyla INTEM 1. Sırada, 1,78 ortalama ile MIPAZ 2. sırada ve 1,77 ortalama ile VAKKO borsa performansları en yüksek işletmeler olmuştur. Yıllık bazda değerlendirildiğinde işletmelerin borsa performans artış oranının en yüksek olduğu yıl 3,19 ortalama ile 2022 ve 0,71 ortalama ile 2018 ortalama borsa performans artış oranı en düşük yıl olmuştur.



Şekil 4. BİST toptan ve perakende sektöründe yer alan işletmelerin borsa değeri artış oranı

Şekil 4'te işletmelerin borsa performanslarının işletme bazında borsa performanslarının toplu gösterimi yer almaktadır.



Şekil 5. BİST toptan ve perakende sektöründe yer alan işletmelerin yıllara göre ortalama borsa performans değeri artış oranı

Şekil 5'te işletmelerin borsa performanslarının yıllık bazda genel ortalamalarının toplu gösterimi yer almaktadır. İşletmelerin borsa performansları 2018 yılında en düşük seviyede seyrederken 2022 yılında en yüksek seviye görülmüştür.

5. PANEL VERİ ANALİZİ ve BULGULAR

Çalışmanın Analiz kısmında özellikle değişkenler arası ilişkinin olup olmadığının sağlıklı bir şekilde ortaya konması amacıyla uzun vadeye yayılmış finansal veriler kullanılmıştır. Uzun vadeye yayılmış verilerin analizinde panel veri analizinin kullanılmasının nedenlerinden biri zaman serisi ve yatay kesit verilerinin birleştirilmesiyle oluşması ve daha fazla gözlem sayısı ile örneklem rassallığına sahip olmasıdır. Panel veri analizinin kullanılmasının bir diğer nedeni ise modele dahil edilmeyen değişkenlerin etkisini kontrol altında tutarak, dinamik ilişkiyi ortaya çıkarması, ekonometrik analizlerde yatay kesit ve zaman serisi verilerine göre daha etkin sonuçlar elde edilmesine olanak sağlamasıdır (Aras ve diğerleri, 2017). Çalışmanın modeli Eşitlik 7 ile ifade edilmiştir.

$$BD = \beta_0 + \beta_{1V} + \mu_{it} \quad (7)$$

Bu eşitlikte BD , borsa değerini; β_{1V} , verimlilik düzeyini; β_0 , sabit katsayıyı ve μ_{it} , hata terimini ifade etmektedir. Araştırmanın hipotezi ise aşağıdaki gibidir:

H_1 = Toptan ve perakende sektöründe yer alan işletmelerin toplam verimlilikleri ile toplam borsa değeri arasında ilişki vardır.

Tablo 4'te modelde yer alan değişkenlere ait, istatistiksel değerleri detaylı bir şekilde yer almaktadır.

Tablo 4. Değişkenlere ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Değişkenler		Ortalama	Std. Sapma	Min	Max	Gözlem Sayısı
t	genel	2018	3,175426	2013	2023	N = 121
	gruplararası		0	2018	2018	n = 11
	grupiçi		3,175426	2013	2023	T = 11
id	genel	6	3,175426	1	11	N = 121
	gruplararası		3,316625	1	11	n = 11
	grupiçi		0	6	6	T = 11
BD	genel	1,736806	1,708453	0	1,495232	N = 121
	gruplararası		0,5216065	1,251396	3,249052	n = 11
	grupiçi		1,633834	-0,8318336	1,344008	T = 11
V	genel	1,278824	0,4242434	0	2,906096	N = 121
	gruplararası		0,3567165	0,8726905	2,202382	n = 11
	grupiçi		0,2516737	0,4061338	242801	T = 11
logBD	genel	0,3279359	0,6427175	-1,039955	2,704867	N = 119
	gruplararası		0,1410469	0,1254471	0,6714932	n = 11
	grupiçi		0,6281268	-0,9335894	2,361309	T-bar = 10,8182
_est_fe	genel	0,9834711	0,1280281	0	1	N = 121
	gruplararası		0,0548202	0,8181818	1	n = 11
	grupiçi		0,1167748	0,1652893	1,165289	T = 11
_est_re	genel	0,9834711	0,1280281	0	1	N = 121
	gruplararası		0,0548202	0,8181818	1	n = 11
	grupiçi		0,1167748	0,1652893	1,165289	T = 11
eps	genel	-1,00e-09	0,6338076	-1,313486	2,105977	N = 119
	gruplararası		0,1417064	-0,193177	0,2725033	n = 11
	grupiçi		0,6188752	-1,263078	1,833473	T-bar = 10,8182
logV	genel	0,2277705	0,2492868	-0,3269625	1,066811	N = 119
	gruplararası		0,2174881	0,0274151	0,7840256	n = 11
	grupiçi		0,1367066	-0,1311688	0,8498329	T = 10,8182

Tablo 5'te modele ait yatay kesit bağımlılık testi sonuçları yer almaktadır

Tablo 5. Yatay kesit bağımlılık testi

Metod	Test İstatistiği	Olasılık (p)
Pesaran CD Test İstatistiği	11,172*	0,0000
Friedman R	52,339*	0,0000
Frees Q	2,593*	0,0000
Frees' Q dağılımından elde edilen kritik değerler		
alpha = 0,10: 0,2828		
alpha = 0,05: 0,3826		
alpha = 0,01: 0,5811		

Not: *, %1 anlamlılık düzeyini göstermektedir. H₀: Kesitler arasında bağımlılık yoktur, H₁: Kesitler arasında bağımlılık vardır.

Tablo 5'te yer alan Pesaran CD testi sonuçları, araştırma modelinde yer alan serilerde 0.0000 < 0.05 olduğundan yatay kesit bağımlılığı sorununun olduğunu göstermektedir. Yatay kesit bağımlılığı söz konusu olduğunda bu sorun dirençli tahminciler veren Driscoll-Kraay (1998) tahmincisi ile giderilmeye çalışılmaktadır (Arık ve diğerleri, 2014). Tablo 6'da değişkenlere ait birim kök testi sonuçları yer almaktadır.

Tablo 6. Pesaran panel birim kök testi sonuçları

Değişkenler	Model	Pesaran CADF İstatistiği	Gecikme Uzunluğu	Kritik Tablo Değeri			Olasılık(p)
				10%	5%	1%	
logBD	Sabitli	-4,067*	0	-2,160	-2,280	-4,234	0,0000
	Sabitli-trendli	-2,273**	0	-2,970	-3,310	-2,628	0,0120
L.D2. logV	Sabitli	-2,200**	0	-2,350	-2,660	-1,995	0,0230
	Sabitli-trendli	-3,062**	0	-2,780	-2,970	-3,310	0,0400

Not: * ve ** sırasıyla %1 ve %5 anlamlılık düzeyini göstermektedir.

Tablo 6'da yer alan sonuçlar seriler arasında yatay kesit bağımlılığının olması nedeniyle değişkenler, Pesaran'ın 2007 yılında geliştirdiği CADF (Crosssectional Augmented Dickey Fuller) Birim Kök Testi ile durağan hale getirilmiştir (Pesaran, 2007). Pesaran panel birim kök testi sonuçları değişkenlerin durağan

hallerini göstermektedir. Tablo 7’de modele ait değişen varyans ve otokorelasyon testi sonuçları yer almaktadır.

Tablo 7. Değişen varyans ve otokorelasyon testi

Testler	Hipotez	Test İstatistiği	Olasılık
Levene Brown and Forsythe Test	$H_0: \sigma^2_i = \sigma^2$		
W0		1.43563528 df (10, 108)	0.1744
W50		0.96861064 df (10, 108)	0.4749
W10		1.35976496 df (10, 108)	0.2088
ALM(Lambda=0)	chi2(2)	0.11	0.7380
LM(Var(u)=0, Lambda=0)	chi2(1)	1.55	0.4604

Tablo 7’de yer alan Levene Brown ve Forsythe test sonucuna göre birimlerin varyansları eşittir şeklinde kurulan H_0 hipotezi kabul edilmektedir. Başka bir deyişle değişen varyans sorunu yoktur. Ayrıca, Langrange çarpanı (LM) ve Genişletilmiş Langrange Çarpanı (ALM) otokorelasyon testi sonucunda p değerinin 0.05’ten büyük olması otokorelasyonun olmadığı şeklinde kurulan H_0 hipotezinin kabul edilmesi gerektiğini göstermektedir. Bu durum modelde otokorelasyon probleminin olmadığını göstermektedir. Tablo 8’de model seçiminde kullanılan F Testi, LM Testi ve Hausman testi sonuçları yer almaktadır.

Tablo 8. Tahmin modelinin belirlenmesi, F, LM ve Hausman testleri

Testler	Test İstatistiği	Olasılık (P-Value)
F Test	0,63	0,7875
LM Test (Breusch-Pagan)	0,00	1,0000
Hausman Test Statistics	1,52	0,2182

Tablo 8’de yer alan F testi olasılık değerleri incelendiğinde, $0.7875 > 0.05$ olasılık değeri elde edilmiştir. Olasılık değeri 0.05’ ten büyük olduğu için, panel veri analizinde havuz modelinin ve bu modele ilişkin parametre tahmincilerinin, sabit etkiler modeline göre daha tutarlı sonuçlar ortaya koyacağını göstermektedir. Breusch-Pagan LM testi olasılık değerine bakıldığında ise, $1.0000 > 0.05$ model için olasılık değerinin 0.05’ ten büyük olması, model için panel veri analizinde havuz modeline ilişkin tahmincilerin, tesadüfi etkiler modeline göre daha tutarlı sonuçlar ortaya koyacağını göstermektedir. Hausman test istatistiği olasılık değeri incelendiğinde, $0.2182 > 0.05$ modele ait olasılık değeri 0.05’ten büyük olduğundan, analizde tesadüfi etkili modele ilişkin parametre tahmincilerinin sabit etkili modele ilişkin parametre tahmincilerinden daha tutarlı sonuçlar ortaya koyacağı görülmektedir (Karaca ve Çonkar 2022). Bu nedenle değişkenlere ilişkin katsayıların tahmininde Tesadüfi Etkili Model tahmincilerinden “Esnek ve Genelleştirilmiş En Küçük Kareler” tahmin tekniği kullanılmıştır. Tablo 9’da işletmelerin borsa performans değerleri ile toplam verimlilik değerleri arasındaki ilişkiye yönelik tahmin sonuçları yer almaktadır.

Tablo 9. Borsa performans değeri ve toplam verimlilik arasındaki ilişkiye yönelik analiz sonuçları

BD	Katsayı	Std. Sapma	z-İstatistiği	Olasılık
V	0,5954	0,2125	2,57*	0,0100
cons	0,1818	0,0959	2,33**	0,0200
Wald chi2(1)	6,62*	Number of obs,	117	
Prob.	0,0100	Number of groups	11	
R-squared	0,054	Model	Cross-Sectional Time-Series FGLS Regression	

Not: * ve ** sırasıyla %1 ve %5 anlamlılık düzeyini göstermektedir.

Tablo 9 incelendiğinde Wald ki-kare istatistiği olasılık değeri 0.0100 olması modelin anlamlı olduğunu göstermektedir. Modele ait R^2 değeri %054 olarak elde edilmiştir. Dolayısıyla R^2 değeri, modelde yer alan bağımsız değişkenin bağımlı değişkendeki değişimleri %054 oranında açıklayabildiğini göstermektedir. Değişkenlerin anlamlılık düzeylerine baktığımızda Verimlilik (V) değişkeni ve SABİT katsayısının aldığı değerlerin istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir. $BD = 0.1818 + 0.5954 \cdot \varepsilon_i$ her bir değişken için sonuçlar incelendiğinde, verimlilik oranındaki bir birimlik artışın borsa değerinde (BD) 0,5954 oranında bir artışa neden olacağı, ve bu değişimlerin istatistiksel açıdan anlamlı olduğu görülmektedir.

6. TARTIŞMA

Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde daha çok verimliliğe etki eden faktörler, verimlilik karşılaştırmaları ve verimlilik sıralamalarının yapıldığı görülmektedir. Görçün (2019), yapmış olduğu araştırmada her bir karar noktası için verimlilik değerleri hesaplanmış ve değerlendirilen alternatifler verimlilik değerlerine göre sıralandırılmıştır. Alkış ve diğerleri (2020) Endüstri 4.0 uygulamalarının lojistik sektöründe operasyonel verimliliğe etkisini incelemişlerdir. Yılmaz ve Kuvat (2021) yürütmüş oldukları

çalışmada, lojistik faaliyetlerinde dijital teknolojilerden nesnelerin interneti teknolojisinin uygulanmasına bağlı olarak elde edilecek verimlilik kazanımları belirlenmeye çalışılmıştır. Altıntaş (2022) yürütmüş olduğu çalışmada G7 ülkelerinin lojistik performans verimliliğini ve üretkenliğini belirleyerek ülkelerin lojistik verimlilik performans değerleri üzerinden sıralamasını yapmıştır.

Delibalta (2023) Türkiye'deki madencilik işletmelerinin verimlilik düzeylerini, gelişmiş ülkelerle karşılaştırmış ve ABD ile Avustralya'nın Türkiye'den yaklaşık sekiz kat daha verimli kömür üretmekte olduğu bulgusuna ulaşmıştır. Yaşar ve Yavuz (2023) çalışmalarında, BIST 100'de işlem gören imalat işletmelerinin toplam faktör verimliliği değerlerini hesaplayıp yıllara göre artış ve azalış trendlerinin değerlemesini yapmışlardır. Seçkiner ve Sofuoğlu (2024) çalışmalarında, "sıfır kağıt" kriterine göre yirmi dijital hastanenin verimliliğini ölçmüş ve karşılaştırmalarını yapmıştır.

Bu çalışma yürütülen diğer çalışmalarla değerlendirildiğinde literatüre farklı bir boyut kazandırarak sonraki çalışmalar açısından yeni fikirlere ışık tutmaktadır. Literatürdeki çalışmalar, genel anlamda verimliliği etkileyen faktörlere yoğunlaşırken verimliliğin neden olduğu sonuçlar açısından yetersiz kalmaktadır. Bu çalışma verimlilik karşılaştırmaları ve verimliliği etkileyen faktörlere ek olarak verimliliğin yarattığı sonuçlar açısından işletmelerin karlılık, etkinlik, getiri oranı, piyasa değeri, büyüme ve otonomilerine olan etkileri boyutuyla da araştırma konuları alanında bir fikir sağlamaktadır.

7. SONUÇ ve ÖNERİLER

Sonuç olarak veriler incelendiğinde verimlilik değerleri en yüksek ilk üç işletme sırasıyla 2,19 verimlilik ortalamasıyla VAKKO 1. Sırada, 1,53 ortalamayla INTEM 2. Sırada ve 1,34 ortalamayla MGROS 3. Sırada verimlilik performansları en yüksek işletmeler olmuştur. Yıllık bazda değerlendirildiğinde işletmelerin verimlilik performanslarının en yüksek olduğu yıl 1,54 verimlilik ortalamasıyla 2022 ve 1,16 verimlilik performansı ortalamasıyla 2019 ortalama verimlilik performansı en düşük yıl olmuştur.

İşletmelerin borsa performans verileri incelendiğinde borsa performans değeri en yüksek ilk üç işletme sırasıyla 3,25 borsa performans artış oranıyla INTEM 1. Sırada, 1,78 ortalamayla MİPAZ 2. sırada ve 1,77 ortalamayla VAKKO 3. sırada borsa performans değerleri en yüksek işletmeler olmuştur. Yıllık bazda değerlendirildiğinde işletmelerin borsa performans artış oranının en yüksek olduğu yıl 3,19 ortalamayla 2022 ve 0,71 ortalamayla 2018 ortalama borsa performans artış oranı en düşük yıl olmuştur.

İşletmelerin ekonomik verimlilik değerleri ile borsa performans değerleri arasındaki ilişkinin belirlenmesi amacıyla yapılan panel regresyon analizi sonuçları incelendiğinde Verimlilik (V) değişkeni katsayısı ve SABİT katsayısının aldığı değerlerin istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir.

$BD = 0,1818 + 0,5954 \cdot \epsilon_i$ her iki değişken için sonuçlar incelendiğinde, verimlilik oranındaki bir birimlik artışın, borsa değerinde (BD) 0,5954 oranında bir artışa neden olacağı ve bu değişmelerin istatistiksel açıdan anlamlı olduğu görülmektedir. Diğer bir ifadeyle sonuçlar, toptan ve perakende sektöründe yer alan lojistik firmalarının verimlilik değerlerinin borsa başarı performanslarını pozitif yönde etkilediğini ve işletmelerin verimliliklerini arttırmak adına yapacakları her bir yatırımın karşılıksız kalmayacağını göstermektedir.

Çalışma, sektörel bazda farklı sektörlerin verimliliklerinin ortaya konarak sektörel verimlilik karşılaştırmasına yönelik uygulamalara ışık tutabileceği gibi işletmelerin verimlilik performans değerlerinin karlılık, etkinlik, performans, büyüme, hisse senedi fiyatı ve piyasa değerlerine etkileri farklı çalışma alanları olarak araştırmacılara önerilebilir.

Yazar Katkıları /Author Contributions

Samuray Karaca: Literatür Taraması, Kavramsallaştırma, Metodoloji, Veri Derleme, Analiz, Makale Yazımı-
orijinal taslak *Ahmet Karaca:* Modelleme, Makale Yazımı-inceleme ve düzenleme

Samuray Karaca: Literature Review, Conceptualization, Methodology, Data Curation, Analysis, Writing-
original draft *Ahmet Karaca:* 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*

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

Etik Beyanı / *Ethical Statement*

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

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



Yazarlar, Verimlilik Dergisi'nde yayımlanan çalışmalarının telif hakkına sahiptirler ve 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, Z. ve Yamak, R. (2016). "Türk İmalat Sanayinde Sektörler Bazında Verimlilik Çıktı İlişkisi: Verdoorn Yasası", *Uluslararası Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 2(2), 81-91.
- Acar, A.Z. (2020). "Lojistik Yönetimine Giriş", *Lojistik Yönetimi*, 3-23, Anadolu Üniversitesi Yayınları, Eskişehir.
- Acar, A.Z. (2021). "Stratejik Lojistik Yönetimi", (1. Baskı). Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara.
- Alkış, G., Pirtini, S. ve Ertemel, A.V. (2020), "Lojistik Sektöründe Endüstri 4.0 Uygulamalarının Operasyonel Verimliliğe Etkisi", *BMIJ*, 8(1), 371-395. <http://dx.doi.org/10.15295/bmij.v8i1.1341>
- Altıntaş, F.F. (2022). "G7 Ülkelerinin Lojistik Etkinlik ve Verimlilik Performanslarının Değerlendirilmesi", *Verimlilik Dergisi*, 1, 78-93. <https://doi.org/10.51551/verimlilik.734258>
- Altunışık, R., Coşkun, R., Bayraktaroğlu, S. ve Yıldırım, E. (2010). "Research Methods in Social Sciences (with SPSS Application)", (6. Baskı), Sakarya Publication, Sakarya.
- Aras, G., Kutlu Furtuna, Ö. ve Mutlu Yıldırım, F. (2017). "Yatırım ve Finansman Kararlarının Piyasa Değerine Etkisi", *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 9(4), 120-138. <https://doi.org/10.20491/isarder.2017.324>
- Arık, Ş., Akay A.B. ve Zambak M. (2014). "Doğrudan Yabancı Yatırımları Belirleyen Faktörler: Yükselen Piyasalar Örneği", *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 14(2), 97-110. <https://doi.org/10.18037/ausbd.12322>
- Aydın, S. (2012). "Üretim Yönetimi, İşletmelerde Üretim Stratejisi ve Verimlilik", (Editör: C.H. Kanıcioğlu), 33-49, Anadolu Üniversitesi Yayınları, Eskişehir.
- Bayraktutan, Y. ve Özbilgin, M. (2015). "Lojistik Maliyetler ve Lojistik Performans Ölçütleri", *Maliye Araştırmaları Dergisi*, 1(2), 95-112.
- Campbell, John P. (1973) Research into the Nature of Organizational Effectiveness. An Endangered Species? Working Paper, University of Minnesota.
- Craig, C.E. ve Harris, C.R. (1972). "Productivity Concepts and Measurement- A Management Viewpoint, Unpublished Master's thesis, M.I.T., Cambridge, Massachusetts.
- Craig, C.E. ve Harris, C.R. (1973). "Total Productivity Measurement at the Firm Level," *Sloan Management Review*, 14(3), 13-29.
- CSCMP (2024). <https://cscmp.org>, (Erişim Tarihi: 20.08.2024).
- Delibalta, M.S. (2023). "Türkiye Madencilik Sektöründe Verimlilik ve Ekonomik Katkı Analizi", *Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi*, 1(35), 16-26. <https://doi.org/10.47118/somatbd.1198426>
- Driscoll, J.C. ve Kraay, A.C. (1998). "Consistent Covariance Matrix Estimation with Spatially Dependent Panel Data", *The Review of Economics and Statistics*, 80(4), 549-560. <http://www.jstor.org/stable/2646837>
- Fisher, M.L. (1997). "What is the Right Supply Chain for Your Product?", *Harvard Business Review*, 75, 2, 105-116.
- Fugate B.S., Mentzer, J.T. ve Stank, T.P. (2010). "Logistics Performance: Efficiency, Effectiveness, and Differentiation", *Journal of Business Logistics*, 31(1), 43-62.
- Görçün, Ö.F. (2019). "Entegre Entropi ve EATWOS Yöntemleri Kullanılarak Karadeniz Konteyner Limanlarının Verimlilik Analizi", *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 14(3), 811-830. <https://doi.org/10.17153/oquibf.511602>
- Görgün M.R. (2020). "Lojistik Performans Kriterlerinin Sağlanmasında Türk Lojistik Sektörünün Durumu", *Ekev Akademi Dergisi*, 81, 229-246.
- Griffis, S.E., Cooper, M., Goldsby, T.J. ve Closs, D.J. (2004), "Performance Measurement: Measure Selection Based upon Firm Goals and Information Reporting Needs," *Journal of Business Logistics*, 25(2), 95-118. <https://doi.org/10.1002/j.2158-1592.2004.tb00183.x>
- Gujarati, D. (2003). "Basic Econometrics", (Fourth Edition), McGraw Hill, ABD.
- Hausman, W.H., Lee, H.L. ve Subramanian, U. (2013). "The Impact of Logistics Performance on Trade", *Production and Operations Management*, 22(2), 236-252
- Karaca, S. ve Çonkar, K. (2022). "The Effect of Financial Risks of Companies Listed in the BIST Sustainability Index on Stock Prices", *Pamukkale Üniversitesi İşletme Araştırmaları Dergisi*, 9(1), 107-125. <https://doi.org/10.47097/piar.1114136>
- Kendrick, J.W. ve Creamer, D. (1965). "Measuring Company Productivity: Handbook with Case Studies", Studies in Business Economics, No. 89, National Industrial Conference Board, New York.
- Keskin, U. (1994). "Verimlilik Analizi ve Bir İşletmede Uygulaması", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Korucuk, S. (2018). "İmalat İşletmelerinde Lojistik Hizmet Kalitesinin İşletme Verimliliğine Etkisinin Lojistik Regresyon Analizi ile Belirlenmesi: Erzincan İli Örneği", *Erzincan Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 11(2), 30-43.
- Langley, C.J. ve Holcomb, M.C. (1992). "Creating Logistics Customer Value", *Journal of Business Logistics*, 13, 1-27.
- Lazol, İ. (2004). "Mali Analiz ve Enflasyon Muhasebesi Uygulamaları", Ekin Kitabevi, İstanbul.
- Mentzer, J.T. ve Konrad, B.P. (1991). "An Efficiency/Effectiveness Approach to Logistics Performance Analysis", *Journal of Business Logistics*, 12, 33-62.
- Mutlu, H.M. ve Ölmez, S. (2017). "Lojistik Performans ve İlişki Kalitesi Üzerine Alan Yazın İncelemesi", *Uluslararası Ticaret ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 1(2), 99-120. <https://doi.org/10.30711/utead.356743>
- Olhager, J. ve Selldin, E. (2007). "Strategic Choice of Manufacturing Planning and Control Approaches: Empirical Analysis of Drivers and Performance", *Advances in Production Management Systems. IFIP The International Federation for Information Processing*, (Editörler: J. Olhager, F. Persson), Vol. 246. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-0-387-74157-4_5
- Pesaran, H.M. (2007). "A Simple Panel Unit Root Test in The Presence of Cross Section Dependence", *Journal of Applied Econometrics*, 22(2), 265-312.
- Pesaran, M.H., Shin, Y. ve Smith, R.J. (2001). "Bounds Testing Approaches to the Analysis of Level Relationships", *Journal of Applied Econometrics*, 16, 289-326. <http://dx.doi.org/10.1002/jae.616>
- Şimşek, Ş. ve Çelik, A. (2013). "İşletme Bilimine Giriş", Eğitim Yayınevi, Konya.
- Şimşek, Ş. ve Çelik, A. (2023). "İşletme Bilimine Giriş", Eğitim Yayınevi, Konya.
- Singhal, V.R. ve Hendricks, K.B. (2002), "How Supply Chain Glitches Torpedo Shareholder Value," *Supply Chain Management Review*, 6(1), 18-24.
- Steers, R.M. (1975). "Problems in the Measurement of Organizational Effectiveness," *Administrative Science Quarterly*, 20(4), 546-558.
- Tafri, F.H., Hamid, Z., Meera, A.K. ve Omar, M.A. (2009). "The Impact of Financial Risks on Profitability of Malaysia Commercial Banks: 1996-2005", *International Journal of Social Human Science and Engineering*, 3(6), 268-282.
- Thorndike, R.L. (1949). "Personnel Selection: Test and Measurement Techniques", Wiley, New York.
- Ulusam Seçkiner, S., ve Sofuoğlu, A. (2024). "Dijital Hastanelerde Verimlilik Analizi", *Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi*, 27(1), 1-20. <https://doi.org/10.61859/hacettepesid.1320252>
- Yaşar, F. ve Yavuz, S. (2024). "Bist100 İmalat İşletmelerinin Malmquist Toplam Faktör Verimlilik Endeksi ile Analizi", *Erzurum Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 18, 112-127. <https://doi.org/10.29157/etusbed.1290902>
- Yılmaz, Ü. ve Kuvat, Ö. (2021). "Nesnelerin İnterneti Teknolojisinin Lojistik Faaliyetlerindeki Uygulama Alanları ve Verimliliğe Etkileri", *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 31, 746-754. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1004953>

From Carbon Footprints to Competitive Edges: Analyzing Environmental Efficiency in Aviation*

Oya Öztürk¹ , Zehra Vildan Serin² 

ABSTRACT

Purpose: This study conducts a comprehensive analysis of environmental efficiency in the aviation industry, focusing on 19 global airline companies employing diverse business models.

Methodology: Utilizing Data Envelopment Analysis for 2017 to 2022, the research quantifies efficiency levels based on input and output variables, including Fuel Consumption, Revenue Passenger Kilometers, Greenhouse Gas Emissions, and Total Income.

Findings: Noteworthy findings reveal that Alaska Airlines (VRS=1), Lufthansa (VRS=1), Spirit Airlines (VRS=1), and Delta Air Lines (VRS=1) consistently operated at the environmental efficiency frontier, showcasing a proportional relationship between input and output values.

Originality: The dynamic nature of the aviation industry, coupled with the economic implications of environmental initiatives, necessitates a nuanced understanding of airlines' sustainability efforts. Policymakers are urged to consider measures such as the effective introduction of Sustainable Aviation Fuels and large-scale strategies to reduce aviation-related greenhouse gas emissions.

Keywords: Aviation, Environment, Data Envelopment Analysis, Competition, Emissions.

JEL Codes: L53, L93, Q53, Q54.

Karbon Ayak İzinden Rekabet Avantajına: Havacılıkta Çevresel Etkinliğin Analizi

ÖZET

Amaç: Bu çalışma, farklı iş modelleri uygulayan 19 küresel havayolu şirketine odaklanarak, havacılık endüstrisinde çevresel etkinliğin kapsamlı bir analizini yapmayı amaçlamaktadır.

Yöntem: Araştırma, 2017'den 2022'ye kadar Veri Zarflama Analizi'ni kullanarak Yakıt Tüketimi, Ücretli yolcu Kilometresi, Sera Gazı Emisyonları ve Toplam Gelir gibi girdi ve çıktı değişkenlerine dayanarak etkinlik seviyelerini ölçmektedir.

Bulgular: Araştırma Bulguları, Alaska Airlines (VRS = 1), Lufthansa (VRS = 1), Spirit Airlines (VRS = 1) ve Delta Air Lines'in (VRS = 1) sürekli olarak çevresel etkinlik sınırında faaliyet gösterdiğini ve girdi ve çıktı değerleri arasında orantılı bir ilişki olduğunu ortaya koymaktadır.

Özgünlük: Havacılık endüstrisinin dinamik doğası ve çevresel girişimlerin ekonomik etkileri, havayollarının sürdürülebilirlik çabalarını anlamada daha derinlemesine bir yaklaşıma ihtiyaç duymaktadır. Politika yapıcılara, Sürdürülebilir Havacılık Yakıtlarının etkili bir şekilde tanıtılması ve havacılıkla ilgili sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik geniş ölçekli stratejiler gibi önlemleri göz önünde bulundurmaları önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Havacılık, Çevre, Veri Zarflama Analizi, Rekabet, Emisyonlar.

JEL Kodları: L53, L93, Q53, Q54.

* This study is derived from Oya Öztürk's Doctorate Thesis entitled 'Comparative Analysis of the Operational, Financial, and Environmental Performance of Major Airlines Worldwide', conducted under the supervision of Prof. Dr. Zehra Vildan Serin at Hasan Kalyoncu University Graduate School of Education.

¹ Hasan Kalyoncu University, Faculty of Economics, Administrative and Social Sciences, Department of International Trade and Logistics, Gaziantep, Türkiye

² Marmara University, Faculty of Financial Sciences, Department of Banking, İstanbul, Türkiye

Corresponding Author: Oya Öztürk, oya.ozturk@hku.edu.tr

DOI: 10.51551/verimlilik.1523742

Research Article | Submitted: 29.07.2024 | Accepted: 23.01.2025

Atıf/Cite: Öztürk, O. and Serin, Z.V. (2025). "From Carbon Footprints to Competitive Edges: Analyzing Environmental Efficiency in Aviation", *Verimlilik Dergisi*, 59(2), 371-384.

1. INTRODUCTION

As of 2022, aviation accounted for 2% of global energy-related carbon dioxide (CO₂) emissions, with its growth rate surpassing those of rail, road, and shipping in recent decades. Given this impact, the aviation sector recognizes the need for more robust environmental efforts to ensure long-term sustainability. Companies are adopting various measures to enhance environmental responsibility, such as improving energy efficiency, using eco-friendly alternative fuels like biofuels, and operating lower-emission aircraft. According to a study by the International Civil Aviation Organization (ICAO), total greenhouse gas (GHG) emissions from aviation are projected to increase by 400-600% by 2050 compared to 2010 levels (Li and Cui, 2021). This underscores the critical importance of adopting environmentally friendly practices to reduce emissions in the industry. To address this challenge, international organizations like ICAO have introduced regulations targeting GHG emissions from flights. In October 2013, ICAO set a climate goal called Carbon Neutral Growth (CNG2020), which aimed to cap aviation emissions at 2020 levels starting that year (The International Council on Clean Transportation, 2016). ICAO has also established two key objectives for the international aviation sector: achieving a 2% annual improvement in fuel efficiency until 2050 and implementing the CNG2020 initiative from 2020 onward (Cui and Li, 2021; 2017).

Different airlines have implemented various measures to control carbon emissions. The aviation industry can progress toward a more sustainable future by retiring older, less efficient aircraft and optimizing flight capacity utilization (Bravo et al., 2022). Newer aircraft are designed to meet stricter environmental regulations, emit fewer pollutants, and reduce environmental impacts. These advancements improve air quality while supporting sustainability. Additionally, modern fleets incorporate advanced technologies, such as more efficient engines, improved aerodynamics, and lightweight materials, contributing to significant fuel savings and emissions reductions (Isley, 2010:13). For example, China Southern Airlines has taken steps like optimizing its fleet, improving air routes, and installing winglets to enhance fuel efficiency and reduce carbon emissions (China Southern Airlines, 2023:9). Similarly, China Eastern Airlines focuses on fleet optimization, air route improvements, and adopting new technologies to manage carbon emissions (China Eastern Airlines, 2023:8). These initiatives underscore the industry's commitment to environmental sustainability through operational and technological advancements (Cui and Li, 2016). Consequently, environmental efficiency has become as important as operational and financial efficiencies for airlines.

Environmental and sustainability considerations have gained increasing prominence in the aviation industry. There is a growing demand for eco-friendly strategies to reduce pollution, lower emissions, and promote sustainable development (Azuazu et al., 2023). These factors significantly affect competition in the sector, shaping the strategies and decisions of airlines and aviation companies (Baumeister, 2015). Understanding the factors influencing airline performance has become even more critical due to the unexpected challenges posed by the COVID-19 pandemic (Kaya et al., 2023).

This study aims to analyze and compare the environmental efficiency of 19 airline companies operating under different business models. Efficiency levels were measured using the Data Envelopment Analysis (DEA) method from 2017 to 2022. The study also seeks to identify the determinants of environmental efficiency in the aviation sector. It focuses on the 19 airlines with the highest revenue passenger kilometers (RPK), as reported in the International Air Transport Association (IATA) 2021 World Air Transport Statistics (WATS). This approach provides a novel contribution by examining the environmental efficiency of leading global airlines regarding flight frequency and passenger volume. The primary research question is: *How do airline companies with different business models perform in terms of environmental efficiency, and what factors influence this efficiency, especially during the COVID-19 pandemic?*

This study contributes to the literature with several key features. It is one of the most up-to-date global analyses on the subject, covering a broad sample and the 2017-2022 period. Additionally, the study, in addition to some studies addressing the COVID-19 pandemic (Voltes-Dorta et al., 2024; Wu et al., 2024), spans the COVID-19 pandemic, offering insights into the resilience and adaptability of airlines during this unprecedented global crisis. By examining the pandemic's impact on airline efficiency, this research provides actionable insights for airlines, policymakers, and other stakeholders to enhance efficiency and reduce environmental impacts.

The study is structured into five main sections, each focusing on a distinct aspect of the research. The first section provides an introduction, outlining the background, objectives, and significance of the study. The second section presents a comprehensive literature review, discussing relevant theories, previous studies, and key concepts related to the research topic. The third section details the methodology, explaining the research design, data collection methods, and analytical approaches used in the study. The fourth section focuses on the results and discussion, presenting the findings and interpreting them in relation to existing literature. Finally, the fifth section concludes the study by summarizing key insights, highlighting contributions, and suggesting potential directions for future research.

2. LITERATURE REVIEW

The airline industry is increasingly investing in reducing carbon emissions and adopting more environmentally conscious approaches. These efforts require airlines to allocate resources toward solutions such as advanced technologies, biofuels, and more efficient flight methods. Airlines and governments worldwide are now expected to meet new environmental standards, which necessitates assessing the environmental impact of the aircraft in use. To support these efforts, Boeing has developed a tool that evaluates the effectiveness of four key strategies for reducing emissions: modernizing fleets with newer aircraft, improving operational efficiency, utilizing renewable energy, and incorporating future aircraft technologies (BOEING, 2023:14).

In the short and medium term, the widespread adoption of Sustainable Aviation Fuels (SAF), which have a lower carbon intensity than fossil jet fuels, is crucial (Becken et al., 2023). Implementing SAF on a large scale, along with measures to significantly reduce GHG emissions, is essential for achieving meaningful environmental improvements in aviation (Bullerdiek et al., 2021). Reducing traditional aviation fuel (CAF) consumption and transitioning to SAF can play a critical role in mitigating the sector's environmental impact (Capaz et al., 2020; Masum et al., 2023). Shifting from fossil fuels to a renewable energy-driven economy is a major driver for reducing CO₂ emissions and improving air quality (Nieuwenhuijsen, 2020).

Airlines must also develop strategies to minimize cost increases and reduce environmental expenses. These strategies can simultaneously enhance operational efficiency while lowering carbon emissions (Cui et al., 2020). However, the primary focus of businesses remains profit maximization, and emissions reduction initiatives may not always align with this goal. Companies often view environmental responsibilities as additional costs unless accompanied by direct economic benefits or mandated by regulations (Sun et al., 2020). Consequently, these initiatives may not be prioritized.

Customer demand for efficient and low-emission products adds another layer of complexity. The flying public could bear the financial burden of these initiatives, as airlines may pass on additional costs to passengers. Therefore, airlines must carefully analyze and balance the costs of environmental measures with customer pricing.

In response to the pressing issue of aviation carbon emissions, various international organizations and governments have implemented policies and mechanisms to control and reduce emissions (Cui et al., 2020). Airlines have also adopted numerous measures to address this challenge (Cui & Li, 2016). Research by Arter et al. (2022) highlights that emissions during aircraft landing and takeoff significantly impact air quality, further emphasizing the need for comprehensive solutions.

The literature review below summarizes studies that analyze environmental efficiency in the airline industry, highlighting their scope and the input-output variables used. These analyses, primarily using the Data Envelopment Analysis (DEA) method, aim to optimize performance by evaluating environmental, operational, and economic factors. The review outlines various research efforts and methodologies, offering insights into the environmental efficiency of airline companies.

Omrani et al. (2023) examined 16 Iranian airlines in 2019 using a combined DEA and Technique for Order of Preference by Similarity to the Ideal Solution (TOPSIS) method. Input variables included fleet size (FS), available seat kilometers (ASK), available tonne kilometers (ATK), and the number of employees, while outputs included passenger-kilometers performed, tonne-kilometers performed, and CO₂ emissions. Their three-step methodology identified 11 airlines as sustainably efficient, emphasizing the importance of integrating economic, social, and environmental criteria in performance evaluation. The study demonstrated how combining DEA and TOPSIS provides a robust framework for ranking decision-making units based on multiple criteria. Saini et al. (2023) analyzed U.S. and non-U.S. airlines from 2013 to 2015 using DEA. Inputs included total operating costs, abatement expenses, available seat miles (ASM), and CO₂ emissions, while outputs encompassed net income, operating revenues, ASM, revenue passenger miles (RPM), and CO₂ emissions. The study highlighted the significance of environmental abatement efforts in determining airline efficiency, showcasing DEA as a comprehensive evaluation tool compared to methods like regression analysis. Liu et al. (2020) applied a two-stage DEA model to analyze 15 global airlines from 2011 to 2017. Inputs included ASK, fleet size (FS), and transportation revenue, while outputs were revenue passenger kilometers (RPK) and greenhouse gas (GHG) emissions. The study demonstrated how managing load capacity efficiently could reduce carbon emissions, highlighting the relationship between operational load and environmental performance. Ali and See (2023) employed the Enhanced Hyperbolic Distance Function (EHDF) methodology to analyze 112 global airlines in 2017. Inputs were fuel, other operating inputs, and capital, while outputs included ATK and CO₂ emissions. Their findings indicated that airline alliances and higher weight load factors improve environmental efficiency. The EHDF model provided a nuanced assessment by simultaneously expanding desirable outputs and contracting

undesirable outputs and inputs. Pereira and Mello (2021) evaluated three Brazilian airlines during 2019-2020 using the Multiple Criteria-DEA (MCDEA) approach. Inputs included the number of takeoffs, ATK, and fuel consumption (FC), while the sole output was revenue tonne kilometers (RTK). The study found that newer aircraft fleets contributed to fuel savings and reduced emissions, improving environmental efficiency. The MCDEA approach enabled a detailed examination of efficiency, particularly in the context of external shocks like the COVID-19 pandemic. Kim and Son (2021) analyzed 31 global airlines from 2014 to 2018 using DEA. Inputs included FC, operating costs, number of employees, and FS, while outputs comprised total revenue, RPK, RTK, passenger load factor, cargo load factor, and CO₂ reduction. The study highlighted the role of EU environmental regulations, such as the European Emissions Trading Scheme, in driving improvements in environmental efficiency, especially among European and Russian airlines. Peoples et al. (2020) employed the DEA-Malmquist Productivity Index (MPI) to study 17 Asia-Pacific airlines between 2003 and 2011. Inputs included FS, FC, and employee numbers, with outputs being RPK and operating revenue. The study underscored the importance of fuel efficiency and collaboration between airlines to optimize routes, reduce fuel consumption, and enhance sustainability. Li et al. (2015) applied the Virtual Frontier Network Slacks-Based Measure (SBM) method to 22 international airlines from 2008 to 2012. Inputs included employee numbers, aviation kerosene, ATK, ASK, FS, RTK, RPK, and sales costs. Outputs comprised ATK, ASK, RTK, RPK, and total business income. The study offered a comprehensive evaluation of airline efficiency across operational, service, and sales stages. Gramani (2012) analyzed 34 Brazilian and American airlines from 1997 to 2006 using a two-phase DEA approach. Inputs included aircraft fuel, wages, benefits, and costs per ASM, while outputs were RPK, flight revenue, and flight income. The study emphasized the interplay between operational efficiency, financial performance, and resource optimization in improving environmental sustainability. Lu et al. (2012) examined 30 U.S. airlines in 2006 using a two-stage DEA approach. Inputs included employees, FC, total seats, and maintenance costs, while outputs encompassed ASM, ATM, RPM, and non-passenger revenue. The study revealed that low-cost carriers excelled in production efficiency, whereas full-service carriers outperformed in marketing efficiency. Chiou and Chen (2006) used DEA combined with Tobit regression to evaluate a Taiwanese airline in 2001. Inputs were fuel cost, personnel cost, aircraft cost, number of flights, and seat miles, while outputs included flights, seat miles, passenger miles, and embarkation passengers. The analysis emphasized the importance of cost efficiency, service effectiveness, and operational sustainability. Asker (2018) analyzed 16 traditional airlines using DEA. Inputs included ASK, seat capacity, employee numbers, and fuel costs, while outputs were RPK, load factor, and total passengers. The study highlighted differences in efficiency models, with the input-output-focused BCC model offering distinct insights compared to the CCR model. Tanriverdi et al. (2023) investigated the multi-dimensional impacts of COVID-19 on the sustainability performance of 56 airlines (2017–2021) using a MEREC–CoCoSo/Borda model. The study revealed that while decarbonization lost prominence in 2020, it regained importance during the "new normal" as the industry recovered.

The literature review highlights the urgent need for the airline industry to enhance its environmental efficiency, given the escalating carbon emissions associated with aviation. It underscores the importance of investing in innovative solutions, such as advanced technologies, biofuels, and optimized flight methods, to mitigate the environmental impact of air travel. However, the economic challenges posed by these initiatives necessitate strategic approaches to manage costs, enabling airlines to embrace environmental responsibility without compromising operational efficiency. Despite the inherently profit-driven nature of the industry, aligning environmental initiatives with economic benefits and regulatory compliance is essential to achieving industry-wide commitment. References to international policies and mechanisms regulating aviation emissions further emphasize the global acknowledgment of this critical issue. The reviewed studies, which explore emissions and their impact on air quality, provide a strong foundation for our research. The alignment between our study's input and output variables and those examined in the literature strengthens the relevance and importance of our investigation into environmental efficiency in aviation. This positions our research as a vital contribution to understanding how airlines can achieve competitive advantages while addressing the pressing challenge of carbon footprints.

Our study also introduces key distinctions. While many prior studies focused on regional airlines or specific time frames, we adopt a broader, global perspective by analyzing airlines with diverse business models over a six-year period. Our research encompasses the COVID-19 pandemic, offering insights into how this unprecedented crisis influenced airline efficiency. This approach enables us to evaluate the resilience and adaptability of airlines during and after the pandemic, which represents a significant departure from the pre-pandemic focus of most prior research. By addressing competitive advantages linked to environmental performance during this transformative period, our study provides a comprehensive understanding of the factors shaping environmental efficiency, setting it apart in both scope and depth.

3. METHODOLOGY

The method used in this study is the DEA model, as developed by Charnes et al. (Charnes et al., 1978). DEA is a non-parametric method used to evaluate the relative efficiency of Decision-Making Units (DMUs) by comparing their inputs and outputs (Scheraga, 2004). At the same time, the DEA method minimizes input usage while identifying the most efficient input and output combinations within a set of observations known as DMUs. The DEA model compares the efficiency of DMUs by constructing an efficiency frontier based on the best-performing units, known as the efficient frontier or production possibility set. Each DMU is assigned an efficiency score between 0 and 1, where 1 represents perfect efficiency. The efficient frontier represents the boundary of attainable efficiencies based on the best-performing DMUs (Førsund & Sarafoglou, 2002).

In the study, efficiency performance analysis was conducted using an input-oriented Banker, Charnes, and Cooper (BCC) model under the Variable Returns to Scale (VRS) assumption through DEA with input and output variables related to 19 airline companies. Banker, Charnes, and Cooper developed the BCC model to evaluate efficiency under the assumption of variable returns to scale by adding the constraint $\sum_{j=1}^m \lambda_j = 1$ to the Charnes, Cooper, and Rhodes (CCR) model (Cooper et al., 2011:51-55).

Based on identified inputs and outputs, the DEA models were analyzed using the DEA Solver 3.0 package program, an add-in for Microsoft Excel. Calculations for technical efficiency - VRS efficiency scores were performed using the DEA method in the study. Technical efficiency represents the firm's ability to maximize output with given inputs or produce the same output level while minimizing inputs (Cooper et al., 2007:83). In this regard, the study analyzed the data of 19 airlines with the highest RPK according to the IATA 2021 WATS report over 6 years (2017-2022) using the DEA method, obtaining environmental efficiency scores for the airlines.

The process of selecting inputs and outputs using the DEA technique significantly affects the reliability of the analysis. There is no consensus on selecting appropriate input and output variables for evaluating the performance of airline companies (Nissi and Rapposelli, 2008:271). In this regard, the input and output variables chosen to have been selected from among those most commonly used in the literature and that best reflect environmental performance from environmental perspectives.

Table 1. Environmental efficiency input and output variables and data sources

Type	Variables	Source
Inputs	FC	Collected individually from the annual reports of airlines
	RPK	Collected individually from the annual reports of airlines
Outputs	GHG Emission (GHG)	Collected individually from the annual reports of airlines
	Total Income (TI)	Collected individually from the annual reports of airlines

FC: Fuel consumption is a critical variable in assessing airline environmental efficiency. It directly correlates with the environmental impact of airline operations, as higher fuel consumption typically results in higher greenhouse gas emissions. Lower fuel consumption for a given level of output (measured in RPK) suggests higher efficiency. Conversely, high fuel consumption indicates inefficiencies in operations and potential areas for environmental performance improvement.

RPK: RPK is a standard industry measure that reflects the volume of passenger traffic. This metric is critical for understanding the scale of airline operations and their corresponding environmental impact. High RPK values with efficient fuel use and low emissions indicate high operational and environmental efficiency.

GHG Emissions: GHG emissions directly measure the environmental impact of an airline's operations. High emissions, even with high RPK values, suggest that the airline needs to improve its fuel efficiency and adopt greener technologies or practices.

TI: Total income is a financial performance indicator that reflects an airline's revenue-generating ability. If high income is associated with high GHG and FC, it suggests that the airline's revenue generation is not environmentally sustainable.

DEA is a mathematical model used to measure the efficiency of a set of DMUs with multiple inputs and outputs. In this study, the BCC model was used, aiming to minimize the input quantities while maintaining the current output level. Accordingly, assuming that the 19 homogeneous DMUs ($DMU_j, j = 1, \dots, 19$) produce two outputs y_{rj} ($r = 1, 2$) based on two inputs x_{ij} ($i = 1, 2$) and considering that the vectors $x_j = (x_{1j}, x_{2j})$ and $y_j = (y_{1j}, y_{2j})$ are positive and non-zero vectors, the mathematical model of the study is formulated to represent the relationship between inputs and outputs.

Accordingly, the model is expressed as follows:

Minimize = θ_k

Subject to:

$$\sum_{j=1}^{19} y_{rj} \lambda_j \geq Y_{r0} \quad r = 1, 2 \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^{19} x_{ij} \lambda_j \leq \theta_k x_{i0} \quad i = 1, 2 \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^{19} y_j \lambda_j = 1 \quad (3)$$

$$\lambda_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, 19 \quad (4)$$

where θ_k is the efficiency score of DMU k , x_{i0} and y_{r0} are the inputs and outputs of the DMU being evaluated (DMU0), λ_j are the weights assigned to each DMU in the reference set. In this model, x_1 , x_2 are the inputs (FC and RPK, respectively) and y_1 , y_2 are the outputs (GHG and TI, respectively). The aim is to minimize θ_k such that the DMU under evaluation operates efficiently relative to the others.

Undesirable outputs such as GHG are inevitably generated in the ordinary course of production processes. This divergence from the traditional DEA efficiency model's 'maximize outputs' hypothesis necessitates a specialized consideration of undesirable outputs for the extension of the conventional DEA efficiency model (Song et al., 2012). As a result, the undesirable output variable, GHG emissions, was inverted ($1/\text{GHG}$) for use in the DEA, recognizing its opposite nature within the analysis framework. Over six years, from 2017 to 2022, the descriptive statistics for environmental variables, as seen in Table 2, unveil noteworthy patterns in the aviation industry.

Table 2. Descriptive statistics of the environmental variables

Year	Variables	Max	Min	Mean	Std. Dev.
2017	<i>Environmental Inputs</i>				
	FC (000 lt)	11,250,372	459,472	5,238,945	2,904,453
	RPK(000)	364,268,577	39,598,733	196,470,721	98,694,161
	<i>Environmental Outputs</i>				
	GHG (tonne)	36,078,118	3,300,799	19,837,976	10,614,828
2018	TI (000\$)	42,622,000	2,643,552	19,180,888	12,891,567
	<i>Environmental Inputs</i>				
	FC (000 lt)	11,580,308	551,106	5,562,326	3,038,261
	RPK(000)	372,015,959	49,283,551	209,364,773	101,506,741
	<i>Environmental Outputs</i>				
2019	GHG (tonne)	37,301,128	3,959,088	20,818,983	10,791,786
	TI (000\$)	44,541,000	3,323,034	20,762,059	13,569,693
	<i>Environmental Inputs</i>				
	FC (000 lt)	10,879,616	629,554	5,639,049	3,085,231
	RPK(000)	388,257,458	56,721,787	218,656,920	104,212,423
2020	<i>Environmental Outputs</i>				
	GHG (tonne)	38,452,620	4,522,648	21,377,143	10,635,849
	TI (000\$)	47,007,000	3,830,536	21,075,545	13,751,190
	<i>Environmental Inputs</i>				
	FC (000 lt)	6,132,700	386,873	2,747,883	1,533,236
2021	RPK(000)	153,440,110	28,400,000	74,027,080	40,189,926
	<i>Environmental Outputs</i>				
	GHG (tonne)	19,831,000	2,779,254	10,371,490	5,592,603
	TI (000\$)	17,337,000	1,810,022	8,421,160	5,277,996
	<i>Environmental Inputs</i>				
2022	FC (000 lt)	6,053,100	581,743	3,533,501	1,729,074
	RPK(000)	259,970,211	30,700,000	111,656,940	61,029,190
	<i>Environmental Outputs</i>				
	GHG (tonne)	28,810,000	4,240,868	13,554,296	6,919,141
	TI (000\$)	29,899,000	3,230,775	12,791,591	8,292,359
	<i>Environmental Inputs</i>				
	FC (000 lt)	8,463,363	704,884	4,406,577	2,269,422
	RPK(000)	347,013,190	60,354,570	160,683,183	92,194,561
	<i>Environmental Outputs</i>				
	GHG (tonne)	34,629,000	5,934,669	16,272,958	9,072,672
	TI (000\$)	50,582,000	3,873,728	19,498,860	14,963,654

In terms of environmental inputs in Table 3, the maximum FC ranged from 6,132,700 thousand liters in 2020 to 11,580,308 thousand liters in 2018, reflecting fluctuations in fuel usage across these years. Similarly, RPK showed considerable variability, reaching its zenith in 2018 at 372,015,959 thousand kilometers and hitting its lowest point in 2020 at 153,440,110 thousand kilometers. These trends suggest dynamic shifts in operational aspects and passenger demand within the aviation sector.

Regarding environmental outcomes, GHG measured in tonnes increased steadily from 2017 to 2019, peaking in the second year at 38,452,620 tonnes. However, as also emphasized in Ang et al.'s (Ang et al., 2023) study, it was found to be at its lowest level in 2020 due to the impact of the COVID-19 Pandemic. Meanwhile, TI, expressed in thousands of dollars, displayed a fluctuating pattern, with the highest recorded value in 2022 at \$50,582,000. These variations in income suggest external factors influencing airlines' financial performance throughout the analyzed period.

4. RESULTS and DISCUSSION

Table 3 presents the return efficiencies of DMUs with respect to environmental scale, both annually and as 6-year averages.

Table 3 Environmental efficiency scores of the airlines between 2017-2022

DMU	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Average
Alaska Airlines	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Lufthansa	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Spirit Airlines	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Delta Air Lines	0.993	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
JetBlue	0.976	0.998	0.990	1.000	0.930	0.946	0.973
American Airlines	1.000	1.000	0.967	1.000	0.927	0.878	0.962
Southwest Airlines	0.978	0.984	0.935	0.831	0.909	0.853	0.915
United Airlines	0.923	0.922	1.000	0.888	0.866	0.849	0.908
British Airways	0.798	0.883	0.913	0.753	1.000	0.915	0.877
IndiGo	0.809	0.780	0.785	0.980	0.998	0.716	0.845
Air France + KLM	0.792	0.853	0.865	0.705	0.769	0.743	0.788
Emirates	0.590	0.638	0.675	1.000	0.794	0.781	0.746
LATAM	0.726	0.774	0.799	0.688	0.613	0.798	0.733
Ryanair	0.704	0.734	0.592	0.961	0.650	0.558	0.700
Turkish Airlines	0.647	0.719	0.768	0.675	0.610	0.753	0.696
Air China	0.646	0.703	0.685	0.476	0.576	1.000	0.681
China Eastern Airlines	0.616	0.670	0.656	0.436	0.516	1.000	0.649
China Southern Airlines	0.588	0.623	0.621	0.456	0.539	0.852	0.613
Aeroflot Russian Airlines	0.598	0.617	0.639	0.471	0.521	0.640	0.581

As seen in Table 3, Alaska Airlines, Lufthansa, Spirit Airlines, and Delta Air Lines consistently achieved high-efficiency scores, operating at the environmental efficiency frontier throughout the examined periods. Notably, three of these DMUs are American companies, while Lufthansa Airlines stands out as the sole European representative in the ranking. These efficiency scores can be attributed to rigorous cost management strategies, including fuel-saving initiatives, the use of fuel-efficient aircraft, and operational optimizations aimed at minimizing unnecessary fuel consumption and emissions. Spirit Airlines, in particular, demonstrated exceptional performance with the lowest FC input and GHG and TI output values across all periods. This analysis underscores the DEA principle of emphasizing proportional relationships between input and output values rather than their absolute quantities, positioning these DMUs as industry leaders in environmental performance and granting them a competitive advantage.

Following these top performers, JetBlue Airways and American Airlines emerged as two distinct American companies with closely matched overall efficiency averages. JetBlue achieved a full efficiency score (VRS=1) in 2020, supported by its investments in newer, fuel-efficient aircraft and its commitment to carbon neutrality for domestic flights. Although American Airlines recorded relatively lower efficiency scores in 2020, it ranked 6th overall. The company faced challenges with the highest GHG output among DMUs in 2020 and 2021, highlighting the necessity for policies aimed at reducing emissions. However, American Airlines' sustainability initiatives, such as investing in fuel-efficient planes and adopting SAF, have helped improve its environmental performance.

United Airlines reached the efficiency frontier only in 2019 but ranked 8th overall, with a VRS of 0.908. Its Eco-Skies program, which focuses on reducing fuel consumption, minimizing waste, and adopting sustainable practices, has contributed to its commendable efficiency scores. British Airways demonstrated significant improvement in environmental efficiency, achieving the efficiency frontier in 2021 and

maintaining an upward trend after recording its lowest score in 2020. The airline's long-term commitment to achieving net-zero carbon emissions by 2050 and adopting more efficient aircraft and SAF has played a pivotal role in this recovery, earning it a 9th-place ranking overall. Emirates, another notable performer, achieved efficiency frontier status only in 2020. Although it recorded lower efficiency scores in other years, the company improved its environmental performance in 2020 and 2021 by reducing FC. Emirates ranked 12th overall, with a VRS score of 0.746, reflecting its increased competitiveness in environmental efficiency.

In 2022, the efficiency scores of various airlines provided insights into their relative performance. Alaska Airlines, Lufthansa, Spirit Airlines, and Delta Air Lines all achieved total efficiency scores (VRS=1), indicating optimal input-output relationships. JetBlue Airways continued its trend of high efficiency with a score of 0.946, maintaining its competitive position. American Airlines demonstrated improvement with a score of 0.878, while Southwest Airlines (0.853) and United Airlines (0.849) also showcased efficient operations. British Airways sustained its efficiency frontier status from the previous year, recording a score of 0.915, further solidifying its competitive edge. Other airlines, such as Air France + KLM and IndiGo, achieved commendable efficiency scores through fleet renewal, improved operations, and waste reduction initiatives.

Despite these successes, some airlines faced challenges. Ryanair recorded a decrease in efficiency with a score of 0.558, signaling areas for potential improvement. Similarly, Aeroflot Russian Airlines faced challenges in optimizing its inputs and outputs, achieving a score of 0.640. These fluctuations underscore the dynamic nature of the aviation sector and the importance of ongoing strategic adjustments to enhance overall efficiency and maintain competitiveness.

The impact of the COVID-19 pandemic on the aviation industry is evident in the efficiency scores for 2020 and 2021, as illustrated in Figure 1. Many airlines experienced a decrease in efficiency during this period, reflecting the severe disruptions caused by the pandemic. However, a recovery trend emerged in 2022, highlighting the resilience and adaptability of the industry. This analysis demonstrates that efficiency improvements are not solely statistical outcomes but the result of deliberate and sustained efforts to enhance environmental performance. By adopting innovative practices and aligning operational objectives with sustainability goals, leading airlines have demonstrated their ability to achieve competitive advantages while addressing critical environmental challenges.

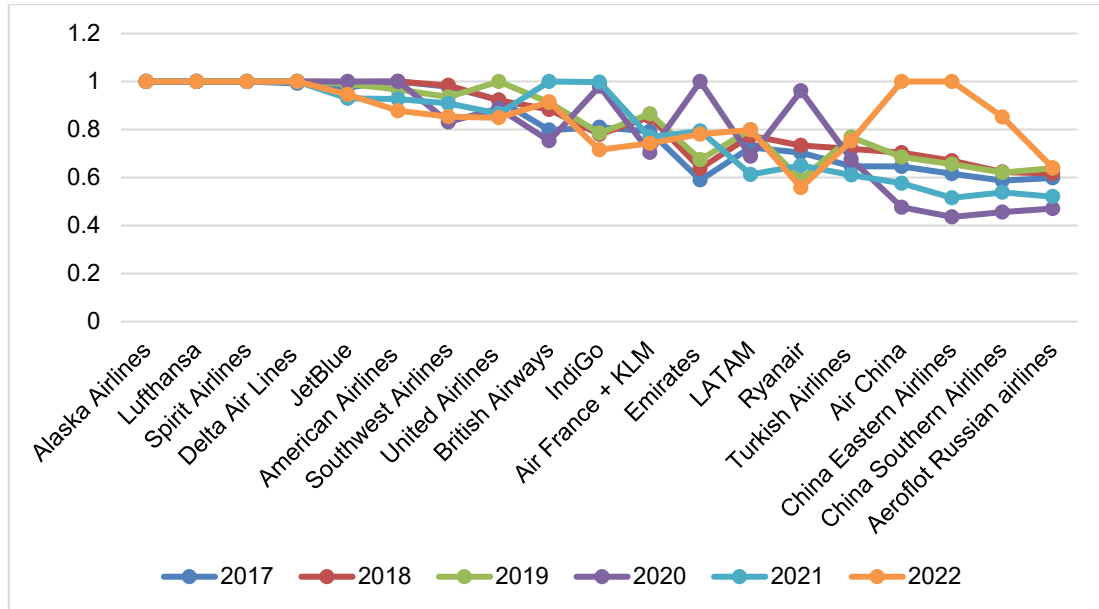


Figure 1. Environmental efficiency scores of the airlines between 2017-2022

JetBlue, American Airlines, Southwest Airlines, and United Airlines all showed a slight decline in efficiency from 2021 to 2022. This could be attributed to the lingering effects of the COVID-19 Pandemic, such as reduced travel demand and operational disruptions. Despite this, these airlines maintained relatively high-efficiency scores, indicating resilience and adaptability in the face of adversity. British Airways, IndiGo, Air France + KLM, Emirates, LATAM, Ryanair, Turkish Airlines, and Aeroflot Russian Airlines demonstrated varying degrees of improvement in efficiency from 2021 to 2022. This positive trend suggests that these airlines successfully adjusted their strategies and operations to navigate the challenges posed by the COVID-19 Pandemic, optimizing their performance. Notably, Air China, China Eastern Airlines, and China Southern Airlines, which had lower efficiency scores in 2021, experienced a significant improvement in

2022. This could be indicative of the recovery of the aviation industry in the Asia-Pacific region as travel restrictions eased and demand began to rebound. Overall, the comparison between 2021 and 2022 efficiency scores underscores the resilience and adaptability of airlines in the face of the COVID-19 Pandemic. While challenges persisted, many airlines demonstrated the ability to enhance their efficiency and operational effectiveness, paving the way for recovery in the post-pandemic era.

Table 4 provides potential improvements that airlines can implement based on underutilized capacities (UC) in their inputs, along with high-density DMUs that can serve as references for these enhancements for the year 2022.

Table 4. 2022 potential improvement for each airline

No	DMU	Score	Reference	FC		RPK	
				UC	Diff. (%)	UC	Diff. (%)
1	Delta Air Lines	1	-	0	0	0	0
2	China Eastern Airlines	1	-	0	0	0	0
3	Air China	1	-	0	0	0	0
4	Lufthansa	1	-	0	0	0	0
5	Spirit Airlines	1	-	0	0	0	0
6	Alaska Airlines	1	-	0	0	0	0
7	JetBlue	0.946	Lufthansa (0.79)	61,239	-5	4,601,343	-5
8	British Airways	0.915	Air China (1)	441,979	-8	8,863,625	-8
9	American Airlines	0.878	Alaska Airlines (0.954)	636,073	-12	42,326,164	-12
10	Southwest Airlines	0.853	China Eastern Airlines (0.395)	376,863	-15	36,407,676	-18
11	China Southern Airlines	0.852	Lufthansa (0.604)	670,093	-15	15,088,357	-15
12	United Airlines	0.849	Air China (0.781)	728,211	-15	50,246,209	-15
13	LATAM	0.798	Air China (0.422)	1,292,200	-23	18,670,919	-20
14	Emirates	0.781	Spirit Airlines (0.553)	1,855,225	-22	49,511,535	-22
15	Turkish Airlines	0.753	Lufthansa (1)	1,396,664	-25	40,188,980	-25
16	Air France + KLM	0.743	Spirit Airlines (0.618)	1,826,214	-26	52,902,352	-26
17	IndiGo	0.716	Alaska Airlines (0.868)	5,938,769	-78	26,714,472	-28
18	Aeroflot Russian Airlines	0.640	Spirit Airlines (1)	912,206	-36	35,429,677	-36
19	Ryanair	0.558	Alaska Airlines (1)	877,115	-44	120,255,508	-56

Table 4 presents an overview of FC and RPK for each airline, along with corresponding scores and references. Delta Air Lines, China Eastern Airlines, Air China, Lufthansa, Spirit Airlines, and Alaska Airlines show no suggested improvements, indicating optimal utilization. Noteworthy recommendations include JetBlue considering a 5% reduction in FC and a 5% decrease in the RPK concerning Lufthansa. British Airways, American Airlines, and Southwest Airlines are advised to explore enhancements with 8%, 12%, and 15% reductions, respectively, in both FC and RPKs, referencing Air China, Alaska Airlines, and China Eastern Airlines. United Airlines, China Southern Airlines, LATAM, Emirates, Turkish Airlines, Air France + KLM, IndiGo, Aeroflot Russian Airlines, and Ryanair are also encouraged to make substantial improvements, tailoring reductions in FC and RPK based on their respective reference airlines. IndiGo stands out with a notable 78% reduction in FC and a 28% decrease in the RPK, referencing Alaska Airlines. With the most significant potential for improvement, Ryanair is advised to explore a 44% reduction in FC and a substantial 56% decrease in the RPK, taking Alaska Airlines as a reference. These recommendations aim to guide airlines towards optimizing their operations and enhancing efficiency in the competitive aviation landscape.

The table highlights the areas where each airline can improve, emphasizing the differences in resource utilization. By addressing these UCs, airlines can optimize their operations and enhance overall efficiency, ultimately contributing to a more robust and competitive industry performance. Similarly to Liu et al. 2020's work, improving energy efficiency—whether through optimized operations or newer technologies—is a dominant factor in reducing emissions and enhancing sustainability.

5. CONCLUSION

Environmental issues, as in other sectors, form a significant agenda item for the aviation industry. Governments and international organizations closely monitor environmental outputs, applying stringent sanctions to ensure the sustainable use of resources. Consequently, analyzing and disclosing airline companies' environmental activities is crucial. This study employs FC and RPK as input variables for environmental efficiency analysis, while GHG and TI serve as output variables. Given the nature of DEA, which emphasizes minimizing inputs and maximizing outputs, high GHG levels are deemed undesirable. A low GHG output increases the efficiency of a DMU, and thus GHG is analyzed in an inverted manner.

Under the BCC model, created with the VRS assumption for scale variation between 2017-2022, airlines like Alaska Airlines, Lufthansa, and Spirit Airlines consistently operated at the efficiency frontier. Delta Air Lines, with a performance score of $VRS = 0.99$ in 2017 and $VRS = 1$ in subsequent years, also achieved full efficiency and can be considered among the top performers. JetBlue Airways, American Airlines, Southwest Airlines, United Airlines, IndiGo, and British Airways operated at the efficiency frontier in certain years while performing inefficiently in others. With overall scores above the average, these DMUs demonstrate a competitive edge in environmental efficiency.

In contrast, airlines such as Air France + KLM, Emirates, Ryanair, LATAM, Turkish Airlines, Air China, China Eastern Airlines, Aeroflot Russian Airlines, and China Southern Airlines displayed lower overall efficiency scores. Among these, Emirates reached the efficiency frontier only in 2020, while others failed to do so in any year. Despite being operationally effective, Ryanair and LATAM have low scores in the environmental category. Aeroflot, the only Russian DMU in the study, performed poorly, while Chinese-origin DMUs also recorded notably weak efficiency scores. This aligns with findings by Liu et al. (2020), which highlight the higher energy efficiency of European and American airlines compared to their Asian counterparts.

Chinese airlines face unique challenges, operating in a highly competitive domestic environment. Unlike airlines in the U.S. and Europe, Chinese carriers have limited influence in international markets, where international travel constitutes a smaller share of their operations (Wang et al., 2019). China's aviation industry, shaped by its historically protectionist structure and strict regulations, operated under military control until 1979 (Cao et al., 2015). Despite significant investments, rapid growth and heavy traffic pressures have hindered environmental efficiency in China's aviation sector (Fu et al., 2020). Greater market liberalization and deregulation could improve domestic companies' performance (Su et al., 2020).

The analysis also reveals operational distinctions between low-cost carriers (LCCs) and full-service carriers (FSCs). LCCs like Spirit Airlines, Southwest, and Ryanair benefit from streamlined operations that emphasize cost reduction and often yield better environmental efficiency. Conversely, FSCs such as American Airlines and British Airways, and state-owned carriers like those from China and Russia, face challenges in balancing complex service offerings with sustainability goals. Hybrid models, such as LATAM, often struggle to achieve efficiency, particularly when sustainability is not prioritized.

Policymakers should focus on measures to enhance environmental efficiency, including optimizing air traffic, revising flight routes, and investing in energy-saving technologies. Airlines must prioritize retiring older, less fuel-efficient aircraft and transitioning to SAF to reduce GHG emissions. Increasing the load factor is another critical strategy, as it maximizes flight efficiency and reduces emissions per passenger (Isley, 2010:16). Liu et al. (2020) emphasize that shifting from traditional fossil fuels to SAF is vital for lowering carbon footprints in the sector.

For future studies, a longer longitudinal analysis is recommended to assess factors like passenger load and fuel types on environmental efficiency. Incorporating airlines from diverse regions and engaging stakeholders—including policymakers, airline representatives, and passengers—will provide a more comprehensive perspective on challenges and opportunities. Additionally, exploring emerging technologies, conducting in-depth economic analyses, and evaluating current policies will contribute to a holistic understanding of sustainability practices in aviation.

Author Contributions

Oya Öztürk: Literature Review, Conceptualization, Methodology, Data Curation, Analysis, Writing-original draft
Zehra Vildan Serin: 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

- Ang, L., Hernández-Rodríguez, E., Cyriacque, V. and Yin, X. (2023). "COVID-19's Environmental Impacts: Challenges and Implications for the Future", *Science of the Total Environment*, 899, 165581. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165581>
- Arter, C.A., Buonocore, J.J., Moniruzzaman, C., Yang, D., Huang, J. and Arunachalam, S. (2022). "Air Quality and Health-Related Impacts of Traditional and Alternate Jet Fuels from Airport Aircraft Operations in the U.S.", *Environment International*, 158, 106958. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106958>
- Asker, V. (2018). "Veri Zarflama Analizi ile Finansal ve Operasyonel Etkinlik Ölçümü: Geleneksel Havayolu İşletmelerinde Bir Uygulama", *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 18(1), 153-172. <https://doi.org/10.18037/ausbd.550951>
- Azuazu, I.N., Sam, K., Campo, P. and Coulon, F. (2023). "Challenges and Opportunities for Low-Carbon Remediation in the Niger Delta: Towards Sustainable Environmental Management", *Science of the Total Environment*, 900, 165739. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165739>
- Baumeister, S. (2015). "Environmental Responsibility as a Factor in Gaining Competitive Advantage in the Aviation Industry", *Journal of Geotechnical and Transportation Engineering* 1(2). 43-48.
- Becken, S., Mackey, B. and Lee, D.S. (2023). "Implications of Preferential Access to Land and Clean Energy for Sustainable Aviation Fuels", *Science of the Total Environment*, 886, 163883. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163883>
- BOEING. (2023). "Boeing 2023 Sustainability Report", <https://www.boeing.com/content/dam/boeing/boeingdotcom/principles/sustainability/sustainability-report/2023/assets/2023-Boeing-Sustainability-Report.pdf>, (Accessed: 05.05.2023)
- Bravo, A., Vieira, D. and Ferrer, G. (2022). "Emissions of Future Conventional Aircrafts Adopting Evolutionary Technologies", *Journal of Cleaner Production*, 347, 131246. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131246>
- Bullerdiek, N., Neuling, U. and Kaltschmitt, M. (2021). "A GHG Reduction Obligation for Sustainable Aviation Fuels (SAF) in the EU and in Germany", *Journal of Air Transport Management*, 92, 102020. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2021.102020>
- Cao, Q., Lv, J., and Zhang, J. (2015). "Productivity Efficiency Analysis of the Airlines in China after Deregulation", *Journal of Air Transport Management*, 42, 135-140. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2014.09.009>
- Capaz, R.S., de Medeiros, E.M., Falco, D.G., Seabra, J.E.A., Osseweijer, P. and Posada, J.A. (2020). "Environmental Trade-offs of Renewable Jet Fuels in Brazil: Beyond the Carbon Footprint", *Science of the Total Environment*, 714, 136696. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136696>
- Charnes, A., Cooper, W. and Rhodes, E. (1978). "Measuring the Efficiency of Decision Making Units", *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429-444. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)
- China Eastern Airlines. (2023). "China Eastern Airlines Sustainability Report", https://www.ceair.com/global/en_static/AboutChinaEasternAirlines/intoEasternAirlines/InvestorRelations/socialResponsibility/202404/P020240426331536132989.pdf, (Accessed: 03.03.2023)
- China Southern Airlines. (2023). "Corporate Social Responsibility Report", <https://www.csair.com/en/about/investor/qitabaogao/2024/resource/2c7a500a697bff4055d4df242ddd9b7.pdf>, (Accessed: 08.03.2023)
- Chiou, Y.C. and Chen, Y.H. (2006). "Route-Based Performance Evaluation of Taiwanese Domestic Airlines Using Data Envelopment Analysis", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 42(2), 116-127. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2005.09.005>
- Cooper, W.W., Seiford, L.M. and Tone, K. (2007). "Data envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software", Springer.
- Cooper, W.W., Seiford, L.M. and Zhu, J. (2011). "Data Envelopment Analysis: History, Models, and Interpretations", *International Series in Operations Research and Management Science*, 164, 1-39, Springer New York LLC. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6151-8_1
- Cui, Q. and Li, X. (2021). "Which Airline Should Undertake A Large Emission Reduction Allocation Proportion under the "Carbon Neutral Growth from 2020" Strategy? An Empirical Study with 27 Global Airlines", *Journal of Cleaner Production*, 279, 123745. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123745>
- Cui, Q. and Li, Y. (2016). "Airline Energy Efficiency Measures Considering Carbon Abatement: A New Strategic Framework", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 49, 246-258. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.10.003>
- Cui, Q. and Li, Y. (2017). "Will Airline Efficiency Be Affected by "Carbon Neutral Growth from 2020" Strategy? Evidences from 29 International Airlines", *Journal of Cleaner Production*, 164, 1289-1300. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.059>

- Cui, Q., Lin, J.-I. and Jin, Z.-Y. (2020). "Evaluating Airline Efficiency under "Carbon Neutral Growth from 2020" Strategy through A Network Interval Slack-Based Measure", *Energy*, 193, 116734. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116734>
- Førsund, F.R. and Sarafoglou, N. (2002). "On the Origins of Data Envelopment Analysis", *Journal of Productivity Analysis*, 17(1-2), 23-40. <https://doi.org/10.1023/A:1013519902012>
- Fu, X., Lei, Z., Liu, S., Wang, K., and Yan, J. (2020). "On-Time Performance Policy in the Chinese Aviation Market- An Innovation or Disruption?", *Transport Policy*, 95, A14-A23. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2020.06.008>
- Gramani, M.C.N. (2012). "Efficiency Decomposition Approach: A Cross-Country Airline Analysis", *Expert Systems with Applications*, 39(5), 5815-5819. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.11.086>
- Isley, S. (2010). "A Comparison of Aircraft Retirement and Fuel Efficiency Policy Instruments: A Modified Fleet and Operations Module Approach", <https://stuff.mit.edu/afs/athena.mit.edu/dept/aeroastro/partner/reports/hartman/isley11.pdf>, (Accessed: 10.02.2023)
- Kaya, G., Aydın, U., Ülengin, B., Karadayı, M.A. and Ülengin, F. (2023). "How do Airlines Survive? An integrated Efficiency Analysis on the Survival of Airlines", *Journal of Air Transport Management*, 107, 102348. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2022.102348>
- Kim, H. and Son, J. (2021). "Analyzing the Environmental Efficiency of Global Airlines by Continent for Sustainability", *Sustainability*, 13(3), 1-16. <https://doi.org/10.3390/su13031571>
- Li, Y. and Cui, Q. (2021). "Analyzing the Role of Competition and Cooperation in Airline Environmental Efficiency through Two Dynamic Environmental Cross-Efficiency Models", *International Journal of Sustainable Transportation*, 15(11), 850-864. <https://doi.org/10.1080/15568318.2020.1821415>
- Li, Y., Wang, Y.-Z. and Cui, Q. (2015). "Evaluating Airline Efficiency: An Application of Virtual Frontier Network SBM", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 81, 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2015.06.006>
- Liu, X., Hang, Y., Wang, Q. and Zhou, D. (2020). "Drivers of Civil Aviation Carbon Emission Change: A Two-Stage Efficiency-Oriented Decomposition Approach", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 89, 102612. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102612>
- Lu, W.M., Wang, W.K., Hung, S.W. and Lu, E.T. (2012). "The Effects of Corporate Governance on Airline Performance: Production and Marketing Efficiency Perspectives", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48(2), 529-544. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2011.09.003>
- Masum, F.H., Coppola, E., Field, J.L., Geller, D., George, S., Miller, J.L., Mulvaney, M.J., Nana, S., Seepaul, R., Small, I.M., Wright, D. and Dwivedi, P. (2023). "Supply Chain Optimization of Sustainable Aviation Fuel from Carinata in the Southeastern United States", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 171, 113032. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.113032>
- Nieuwenhuijsen, M.J. (2020). "Urban and Transport Planning Pathways to Carbon Neutral, Liveable and Healthy Cities; A Review of the Current Evidence", *Environment International*, 140, 105661. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105661>
- Nissi, E. and Rapposelli, A. (2008). "A Data Envelopment Analysis Study of Airline Efficiency", *Research Methodology on Data Envelopment Analysis*, (Editor: J. K. Mantri), 269-280, Brown Walker Press.
- Omrani, H., Shamsi, M. and Emrouznejad, A. (2023). "Evaluating Sustainable Efficiency of Decision-Making Units Considering Undesirable Outputs: An Application to Airline Using Integrated Multi-Objective DEA-TOPSIS", *Environment, Development and Sustainability*, 25(7), 5899-5930. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02285-8>
- Peoples, J., Abdullah, M.A. and Satar, N.M. (2020). "COVID-19 and Airline Performance in the Asia Pacific Region", *Emerald Open Research*, 2, 62. <https://doi.org/10.35241/emeraldopenres.13914.1>
- Pereira, D. da S. and Soares de Mello, J.C.C.B. (2021). "Efficiency Evaluation of Brazilian Airlines Operations Considering the Covid-19 Outbreak", *Journal of Air Transport Management*, 91, 101976. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2020.101976>
- Saini, A., Truong, D. and Pan, J.Y. (2023). "Airline Efficiency and Environmental Impacts – Data Envelopment Analysis", *International Journal of Transportation Science and Technology*, 12(2), 335-353. <https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2022.02.005>
- Scheraga, C.A. (2004). "The Relationship between Operational Efficiency and Customer Service: A Global Study of Thirty-Eight Large International Airlines", *Transportation Journal*, 43(3), 48-58. <https://www.jstor.org/stable/20713574>
- Song, M., An, Q., Zhang, W., Wang, Z. and Wu, J. (2012). "Environmental Efficiency Evaluation Based on Data Envelopment Analysis: A Review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(7), 4465-4469. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.04.052>

- Su, M., Luan, W., Fu, X., Yang, Z. and Zhang, R. (2020). "The Competition Effects of Low-Cost Carriers and High-Speed Rail on the Chinese Aviation Market", *Transport Policy*, 95, 37-46. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2020.05.025>
- Sun, L., Cao, X., Alharthi, M., Zhang, J., Taghizadeh-Hesary, F. and Mohsin, M. (2020). "Carbon Emission Transfer Strategies in Supply Chain with Lag Time of Emission Reduction Technologies and low-Carbon Preference of Consumers", *Journal of Cleaner Production*, 264, 121664. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121664>
- Tanrıverdi, G., Merkert, R., Karamaşa, Ç. and Asker, V. (2023). "Using Multi-Criteria Performance Measurement Models to Evaluate the Financial, Operational and Environmental Sustainability of Airlines", *Journal of Air Transport Management*, 112, 102456. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2023.102456>
- The International Council on Clean Transportation. (2016). "Is Carbon Neutral Growth on The Horizon for Aviation? That Depends on Your Definition", <https://theicct.org/is-carbon-neutral-growth-on-the-horizon-for-aviation-that-depends-on-your-definition/>, (Accessed: 10.01.2023)
- Voltes-Dorta, A., Britto, R. and Wilson, B. (2024). "Efficiency of Global Airlines Incorporating Sustainability Objectives: A Malmquist-DEA Approach", *Journal of Air Transport Management*, 119, 102634. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2024.102634>
- Wang, J., Yang, H. and Wang, H. (2019). "The Evolution of China's International Aviation Markets from A Policy Perspective on Air Passenger Flows", *Sustainability* 11(13), 3566. <https://doi.org/10.3390/su11133566>
- Wu, S., Kremantzis, M. D., Tanveer, U., Ishaq, S., O'Dea, X. and Jin, H. (2024). "Performance Evaluation of the Global Airline Industry under the Impact of the COVID-19 Pandemic: A Dynamic Network Data Envelopment Analysis Approach", *Journal of Air Transport Management*, 118, 102597. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2024.102597>
- Yakath Ali, N. S., Yu, C., ve See, K. F. (2021). Four decades of airline productivity and efficiency studies: A review and bibliometric analysis. *Journal of Air Transport Management*, 96. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2021.102099>

OECD Ülkelerinde Ekonomik Karmaşıklık, Toplam Faktör Verimliliği ve İhracat Arasındaki Nedensellik İlişkisi

Elif Tuğçe Bozduman¹ 

ÖZET

Amaç: Ülkelerin toplam faktör verimliliğini artırması üretim kapasitesini olumlu etkilerken, ülkelerin ihracat yapısı ve çeşitlendirmesinde de önemli bir etkiye sahip olmaktadır. Elbette bu durum hem ihracat gelirlerini hem de milli geliri doğrudan etkilemektedir. Bir ülkede verimliliğin yüksek olması, dış ticaret rekabet gücünün artışı sağlamakta ekonomik karmaşıklıkla artırarak diğer ülkelere pozitif ayrıştırmaktadır. Bu nedenle, çalışmada 34 OECD ülkesinde ekonomik karmaşıklık, toplam faktör verimliliği ve ihracat arasındaki nedensellik ilişkisi araştırılmaktadır.

Yöntem: 2000 ile 2019 yılları arasını kapsayan bu çalışmada Dumitrescu-Hurlin panel nedensellik testi uygulanmıştır.

Bulgular: Elde edilen sonuçlara göre, toplam faktör verimliliği ile ekonomik karmaşıklık arasında çift yönlü, ekonomik karmaşıklık ile ihracat arasında çift yönlü, toplam faktör verimliliği ile ihracat arasında da yine çift yönlü nedensellik ilişkisi bulunmuştur.

Özgünlük: İhracat, ekonomik karmaşıklık ve toplam faktör verimliliği arasındaki etkileşim ülkeler açısından oldukça önem arz etmektedir. Bu üçlü ilişkinin incelendiği herhangi bir çalışmaya rastlanmaması çalışmanın özgünlüğünü ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ekonomik Karmaşıklık, Toplam Faktör Verimliliği, İhracat, Panel Nedensellik Testi.

JEL Kodları: D24, F10, F19.

The Causality Relationship between Economic Complexity, Total Factor Productivity and Exports in OECD Countries

ABSTRACT

Purpose: The increase in the total factor productivity of the countries positively affects the production capacity and has a significant impact on the export structure and diversification of the countries. Definitely this situation directly affects both export revenues and national income. High productivity in a country increases foreign trade competitiveness and increases economic complexity and distinguishes it positively from other countries. Hence, the study investigates the causality relationship between total factor productivity, economic complexity and exports in 34 OECD countries.

Methodology: The study which covers the years between 2000 and 2019, the Dumitrescu-Hurlin panel causality test was applied.

Findings: According to the results obtained, bidirectional causality relationship was found between total factor productivity and economic complexity, bidirectional relationship was found between economic complexity and exports and bidirectional causality relationship was found between total factor productivity and exports.

Originality: The interaction between exports, economic complexity and total factor productivity is very important for countries. The fact that there is no study examining this tripartite relationship reveals the originality of the study.

Keywords: Economic Complexity, Total Factor Productivity, Export, Panel Causality Test.

JEL Codes: D24, F10, F19.

¹ Manisa Celal Bayar Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, Manisa, Türkiye

Sorumlu Yazar-Corresponding Author: Elif Tuğçe Bozduman, tugce.bozduman@cbu.edu.tr

DOI: 10.51551/verimlilik.1585488

Araştırma Makalesi / Research Article | Geliş / Submitted: 14.11.2024 | Kabul / Accepted: 27.01.2025

Atıf/Cite: Bozduman, E.T. (2025). "OECD Ülkelerinde Ekonomik Karmaşıklık, Toplam Faktör Verimliliği ve İhracat Arasındaki Nedensellik İlişkisi", *Verimlilik Dergisi*, 59(2), 385-396.

EXTENDED ABSTRACT

Foreign trade is crucial for countries to achieve growth targets and increase productivity and economic complexity. The connection between exports, economic complexity, and total factor productivity has significant implications. This relationship forms a cycle where exports drive economic complexity and a complex economy enhances total factor productivity, facilitating economic growth and the adoption of advanced production technologies.

Economic complexity refers to the degree of diversification in a country's production structure, which impacts its ability to develop new products and penetrate foreign markets. Prioritizing high value-added products is recommended to leverage economic complexity. Greater complexity requires more knowledge and expertise, leading to higher total factor productivity. Increased productivity enhances the production process, reduces costs, and improves product quality, leading to higher exports. Moreover, productivity growth helps countries in sustainable development and competitive advantage in the global market.

A study conducted on OECD countries examines the relationship between economic complexity, total factor productivity and exports. It is found that higher total factor productivity leads to increased production efficiency and lower costs, which in turn improves product quality and boosts exports. The study focuses on OECD countries, which include both developed and developing nations, allowing for insights into the relationship between these variables in other country groups as well. To analyze this relationship, the study first tests the stationarity of the units using a unit root test and then investigates the causality relationship between total factor productivity, economic complexity, and exports. This research aims to provide a better understanding of how these factors influence each other and their implications for global markets.

The results find that there is a bidirectional causality relationship between total factor productivity and exports, total factor productivity and economic complexity, and economic complexity and exports in OECD countries. This means that these variables have a mutual impact on each other. The findings indicate that increasing total factor productivity in OECD countries will lead to higher economic complexity and exports. Similarly, increasing economic complexity will result in higher total factor productivity and exports, and increasing exports will contribute to greater economic complexity and total factor productivity. These outcomes are beneficial for countries' growth, development, and competitiveness in foreign trade. To boost total factor productivity, it is crucial to prioritize human capital and implement policies that effectively utilize technology in production across all sectors. Additionally, increasing economic complexity and expanding the export portfolio can be achieved by producing high value-added products.

1. GİRİŞ

Ülkelerin büyüme hedefini gerçekleştirmesinin en önemli yollarından biri dış ticarettir. Dış ticarete dayalı bir büyüme stratejisi benimseyen ülkeler, verimliliği ve ekonomik karmaşıklığı aynı anda artırma potansiyeline sahiptir. Çünkü artan ihracat, ekonomik karmaşıklık ve verimlilik artışını da beraberinde getirmekte, ülkelerin daha büyük pazarlara erişmesini sağlayarak dış ticarete çeşitlendirmeyi artırmaktadır. Bu da ülkelerin rekabet gücünü, ekonomik büyümesini ve kalkınmasını olumlu yönde etkilemektedir.

Ricardo (1817) tarafından ortaya atılan Karşılaştırmalı Üstünlükler Teorisi'nin temelini de verimlilik farklılıkları oluşturmaktadır. Bu teoriye göre bir ülke hangi alanda daha verimli üretim yapabiliyorsa o alanda uzmanlaşıp o ürünleri ihraç etmelidir. Böylece ülkeler verimlilik artışı sayesinde karşılaştırmalı üstün oldukları ürün ve sektörlerle odaklanabilmektedir. Ülkeler, üretimde daha verimli olduğu alanlarda uzmanlaşıp o ürünleri ihraç ederken, uzmanlaşamadıkları ürünleri ithal etmektedir. Bu durum aynı zamanda ülke kaynaklarının daha verimli bir şekilde kullanılmasına olanak tanıyarak kaynak optimizasyonunu da sağlamaktadır. Bu nedenle, ekonomik karmaşıklık, toplam faktör verimliliği ve ihracat arasındaki ilişki ülkeler için oldukça önemlidir. Bu etkileşim, ihracatın ekonomik karmaşıklığa katkıda bulunduğu ve karmaşık bir ekonominin toplam faktör verimliliğini artırdığı üçlü bir ilişki yaratmaktadır. Bu da ekonomilerin büyümesini ve ileri üretim teknolojilerinin benimsenmesini kolaylaştırmaktadır. Bu üçlü etkileşim aynı zamanda inovasyonun teşvik edilmesinde ve üretim süreçlerinin şekillendirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda, yüksek düzeyde karmaşıklığa sahip ülkeler, çeşitli ve gelişmiş sektörleri barındırması nedeniyle inovasyonu uygulamak için daha iyi bir konumda olacaktır. Bu durum da toplam faktör verimliliğin artmasına neden olacaktır.

Ekonomik karmaşıklık, bir ülkenin üretim yapısını ne derece çeşitlendirdiğini ve bu çeşitliliğin ne derinlikte olduğunu ifade etmektedir. Karmaşıklık olgusu sadece yüksek teknolojiyi değil aynı zamanda dış ticarete çeşitlendirmenin ne derece sürdürülebilir olduğunu da göstermektedir. Zira ekonomik karmaşıklık, bir ülkenin yeni ürünler geliştirme ve bunları dış pazarlara sunma becerisini doğrudan etkilemekte, katma değeri yüksek ürünlerin üretim alanlarına daha fazla odaklanmaktadır. Karmaşıklık arttıkça bilgi ve beceri ihtiyacı artmakta bu durum da toplam faktör verimliliğinin artmasına yol açmaktadır. Ekonomik karmaşıklık, bu ilişkinin önemini farkında olan sektörlerde uzmanlaşmayı mümkün kılmaktadır. Böylece yüksek karmaşıklık sergileyen ekonomiler kaynakları etkin bir şekilde kullanarak, verimsiz üretim tekniklerini verimli olanlarla değiştirebilmektedir. Katma değeri yüksek ürünlerin ihracatı sayesinde ülkeler daha karmaşık bir ekonomik yapı geliştirebilmekte, artan ihracat ve ekonomik karmaşıklık ise üretim etkinliğinin ve verimliliğin artmasına katkıda bulunmaktadır.

Toplam faktör verimliliği ne kadar yüksek olursa, üretim süreci o kadar verimli, maliyetler de bir o kadar düşük olmaktadır. Bu da ürün kalitesinin iyileşmesine ve ihracatın artmasına yol açmaktadır. Verimlilik artışı aynı zamanda ülkelerin yenilikçi ürünler üretmesini ve küresel pazarlarda rekabet gücünü artırmasını sağlamaktadır.

Bu nedenle çalışmada, OECD ülkelerinde ekonomik karmaşıklık, toplam faktör verimliliği ve ihracat arasındaki nedensellik ilişkisi incelenmektedir. OECD ülkeleri hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülke kategorisinde yer alan 38 ülkeyi bünyesinde barındırmaktadır. Bu nedenle OECD ülkelerindeki ekonomik karmaşıklık, toplam faktör verimliliği ve ihracat ilişkisini anlamak, diğer ülke gruplarındaki ekonomik karmaşıklık, toplam faktör verimliliği ve ihracat ilişkisini anlamaya da yardımcı olacaktır. Bu bağlamda çalışmada önce birimlerin durağanlıkları birim kök testi ile sınanmakta daha sonra bu değişkenler arasındaki nedensellik ilişkisi araştırılmaktadır.

Bu perspektifte, çalışmada önce literatür örnekleri incelenmiş, daha sonra ampirik analiz ile ilgili veri ve yöntem kısmı açıklanmıştır. Yöntem kısmı açıklandıktan sonra ampirik analizin bulgularına yer verilerek sonuç bölümünde değerlendirmeler yapılmış ve gerekli politika önerilerine değinilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatür incelendiğinde yapılan çalışmaların bir kısmının toplam faktör verimliliği ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi ele aldığı görülmektedir. Dar ve Amirhalkhali (2017), 27 OECD ülkesi için maliye politikası ve toplam faktör verimliliğinin ekonomik büyüme üzerine etkisini araştırmışlardır. Sonuçlar, kamu harcamalarındaki artışın toplam faktör verimliliği ve ekonomik büyüme üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Alakbarov ve diğerleri (2018), Türkiye'deki toplam faktör verimliliğinin belirleyicilerini Cobb-Douglas üretim fonksiyonu bağlamında analiz etmiştir. Sonuçlar, toplam faktör verimliliğinin büyümeyi artırdığını göstermektedir. Alancioğlu ve Şit (2019), BRICS ülkelerinde toplam faktör verimliliği ve büyüme arasındaki ilişkiyi analiz etmiştir. Sonuçlar, iki değişken arasında uzun dönemli bir ilişki olduğunu göstermektedir. Khan ve diğerleri (2020), Pakistan için toplam faktör verimliliği ve büyüme arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. Granger nedensellik testi ile yapılan analiz sonuçları Pakistan için toplam faktör verimliliği ve büyüme arasındaki nedensellik ilişkisini ortaya koymaktadır. Siddique (2022) da

çalışmasında tıpkı Khan ve diğerleri (2020) gibi Pakistan'da toplam faktör verimliliği ve büyüme arasındaki ilişkiyi incelemektedir. Sonuçlar, Pakistan'da toplam faktör verimliliğinin büyüme performansını olumlu etkilediğini göstermektedir. Pakistan'ın yüzde 8'in üzerinde büyüme gerçekleştirebilmesi için verimlilik artışını yüzde 3 veya üzerine çıkarması gerekmektedir.

Literatürdeki çalışmaların bazıları toplam faktör verimliliği ve ihracat ilişkisini ele almaktadır. Çeştepe ve diğerleri (2020), gelişmekte olan ülkelerde ihracat, toplam faktör verimliliği ve büyüme ilişkisini incelemiştir. Sonuçlar, gelişmekte olan ülkelerde, toplam faktör verimliliğinin büyüme ve ihracatın nedenlerinden biri olduğunu göstermektedir. Jakšić ve diğerleri (2020), Avrupa Birliği'ne (AB) yeni üye olan ülkelerde 2008 krizi sonrası ihracat ve toplam faktör verimliliği ilişkisini incelemiştir. Sonuçlar toplam faktör verimliliğinin kriz öncesi seviyeye dönmediği ülkelerde toplam faktör verimliliğinin ihracat rekabet gücünü olumsuz etkilediğini göstermektedir. Saeed ve Ullah (2021), seçilmiş gelişmekte olan Asya ülkeleri için toplam faktör verimliliği ve ihracat arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Sonuçlara göre toplam faktör verimliliği, seçilen yükselen Asya ekonomilerinin tarım ve imalat sektörlerinin ihracat performansını pozitif olarak etkilemektedir. Ünsal (2024), gelişmekte olan ülkeler arasında bulunan Brezilya, Türkiye, Hindistan ve Güney Afrika için ihracat, ithalat ve toplam faktör verimliliği arasındaki nedensellik ilişkisini araştırmıştır. Sonuçlar, bu dört ülkede ihracat, ithalat ve toplam faktör verimliliği arasında iki yönlü nedensellik olduğunu göstermektedir.

Literatürdeki çalışmaların bazıları ise doğrudan yabancı yatırım, dijital ekonomi, teknoloji ve toplam faktör verimliliği ilişkisini ele almaktadır. Tochukwu (2016), Nijerya'da toplam faktör verimliliği ve doğrudan yabancı yatırım ilişkisini incelemiştir. Sonuçlar, doğrudan yabancı yatırımın toplam faktör verimliliğini artırdığını göstermektedir. Akkoç ve diğerleri (2018), BRIC-T ülkelerinde toplam faktör verimliliği, doğrudan yabancı yatırım ve ithalat yoluyla gerçekleştirilen ar-ge harcamaları arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Sonuçlara göre, doğrudan yabancı yatırımlar, ar-ge faaliyetlerinin etkisinden daha düşük bir şekilde toplam faktör verimliliğini arttırmaktadır. Pan ve diğerleri (2022), Çin'de dijital ekonominin toplam faktör verimliliği üzerindeki incelemiştir. Sonuçlar, dijital ekonominin il bazında toplam faktör verimliliğini pozitif yönlü etkilediğini ortaya koymaktadır.

Toplam faktör verimliliğinin yanı sıra ekonomik karmaşıklığın ekonomik büyüme ile ilişkisini ele alan çalışmalar da mevcuttur. Stojkoski ve Kocarev (2017), Orta ve Güneydoğu Avrupa ülkelerinde ekonomik karmaşıklık ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Analiz sonuçları söz konusu ülkelerde ekonomik karmaşıklık ile büyüme arasında uzun dönemli bir ilişkiyi ortaya koymaktadır. Zhu ve Li (2017) 210 ülke için ekonomik karmaşıklık, beşerî sermaye ve büyüme ilişkisini incelemiştir. Analiz sonuçları ekonomik karmaşıklığın uzun vadede beşerî sermaye ve büyümeyi olumlu etkilediğini göstermektedir. Koch (2021), ekonomik karmaşıklık ve büyüme ilişkisini 40 ülkede katma değeri yüksek ürünlerin ihracatı ekseninde incelemiştir. Analiz sonuçları, iki değişken arasında yüksek derecede ilişki olduğunu göstermektedir. Bayar (2022), CIVETS ülkelerinde ekonomik karmaşıklık ve ekonomik büyüme ilişkisini incelemiştir. Sonuçlar ülke bazlı değişimle birlikte söz konusu ülkelerde ekonomik karmaşıklık ve büyüme arasında ilişki bulunmuştur. Karanfil ve Kılıç (2022), seçilmiş OECD ülkeleri için ekonomik karmaşıklık ve büyüme ilişkisini iki ayrı model çerçevesinde incelemiştir. Analiz sonuçları, birinci modelde çift yönlü, ikinci modelde ise tek yönlü nedensellik ilişkisini ortaya koymaktadır. Le ve diğerleri (2022), ASEAN ülkelerinde ekonomik karmaşıklık ve büyüme ilişkisini incelemiştir. Sonuçlara göre ekonomik karmaşıklık, ekonomik büyümeyi pozitif yönde etkilemektedir. Lazarov ve Petreski (2023), seçilmiş Orta ve Doğu Avrupa ülkelerinde ekonomik karmaşıklık ve büyüme ilişkisini GMM tahmin yöntemi ile analiz etmiştir. Sonuçlar, ekonomik karmaşıklığın büyüme üzerinde olumlu etkisi olduğunu göstermektedir. Çokgezer ve Sadiku (2023), OECD ülkelerinde ekonomik karmaşıklık ve büyüme ilişkisini panel VAR modeli ile analiz etmiştir. Sonuçlar, ekonomik karmaşıklık ile büyüme arasındaki ilişkinin tek yönlü olduğunu ortaya koymaktadır. Buna göre, ekonomik büyümeden ekonomik karmaşıklığa doğru bir nedensellik ilişkisi bulunmaktadır. Akar (2023), ekonomik karmaşıklık, büyüme ve ar-ge harcamaları arasındaki ilişkiyi rekabetçilik endeksi sıralamasındaki ilk 20 ülke üzerinde incelemiştir. Analiz sonuçları, büyüme, karmaşıklık ve ar-ge harcamaları arasında uzun dönemli bir ilişkinin varlığını ortaya koymaktadır.

Bununla beraber, ekonomik karmaşıklığın dış ticaret, ihracat rekabet gücü ve ihracat çeşitlendirmesi ile ilişkisini içeren çalışmalar da bulunmaktadır. Erkan ve Yıldırım (2015), Türkiye'de yüksek teknoloji ürünlerde ekonomik karmaşıklık ve ihracat rekabet gücü ilişkisini ele almıştır. Analiz sonuçlarına göre, Türkiye'nin nispi olarak düşük ekonomik karmaşıklık endeksine ve düşük ihracat rekabet gücüne sahip olduğu belirtilmiştir. Doyar ve Yaman (2020), Türkiye için ekonomik karmaşıklık, yüksek teknoloji ihracatı ve gelir arasındaki ilişkiyi VAR analizi ile incelemiştir. Analiz sonuçlarına göre, ekonomik karmaşıklık ve yüksek teknoloji ürünlerin ihracatı gelir tarafından açıklanmaktadır. Aynı zamanda gelir ile yüksek teknoloji ihracat arasında nedensellik ilişkisi mevcuttur. Williams ve Oshodi (2021), Afrika'nın en büyük 10 ihracatçı ülkesinde ekonomik karmaşıklığın ihracat hacmi üzerindeki etkisini incelemiştir. Analiz sonuçları ekonomik karmaşıklığın ihracat rekabet gücünün bir belirleyicisi olduğunu göstermektedir. Canh ve Thanh (2022), 70 ülke (32 yüksek gelirli ülke, 38 düşük ve orta gelirli ülke) için ekonomik karmaşıklık, ihracat çeşitlendirmesi ve ekonomik büyüme ilişkisini ele almıştır. Analiz sonuçları ekonomik karmaşıklık ile ihracat çeşitlendirmesi

arasında olumlu, ekonomik büyüme ile olumsuz bir etki olduğunu ortaya koymaktadır. Abdi ve diğerleri (2023), çalışmalarında Doğu ve Güney Afrika Ortak Pazarı (COMESA) ve Doğu Asya ülkelerinde ekonomik karmaşıklık ve dış ticaret ilişkisini araştırmışlardır. Analiz sonuçları ekonomik karmaşıklığın özellikle yüksek teknoloji ürünlerin ihracatını artırdığını göstermektedir.

Yapılan çalışmalarda ekonomik karmaşıklık ve toplam faktör verimliliğinin birçok konu ile ilişkisi ele alınmış ve bununla ilgili literatür örnekleri belirtilmiştir. Ancak, literatür incelendiğinde OECD ülkelerinde ekonomik karmaşıklık, toplam faktör verimliliği ve ihracat ilişkisini barındıran bir çalışmaya rastlanmamıştır. Böylece çalışmanın, özgünlüğü sayesinde literatüre önemli bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

3. YÖNTEM

Çalışmada OECD ülkelerinde ekonomik karmaşıklık, toplam faktör verimliliği ve ihracat arasındaki nedensellik ilişkisi ele alınmıştır. OECD ülkeleri içinde yer alan Estonya, İzlanda, Letonya ve Lüksemburg veri kısıtı nedeniyle analiz kapsamı dışında bırakılmıştır ve analiz 34 ülke baz alınarak yapılmıştır. Oluşturulan modeller şu şekildedir (Eşitlik 1-3):

$$ECI_{it} = \beta_0 + \beta_{i1}TFV_{it} + \beta_{i2}EXP_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

$$TFV_{it} = \beta_0 + \beta_{i1}ECI_{it} + \beta_{i2}EXP_{it} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

$$EXP_{it} = \beta_0 + \beta_{i1}ECI_{it} + \beta_{i2}TFV_{it} + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

TFV değişkeninin son verisi 2019 yılında olduğu için çalışma 2000-2019 yılları arasını kapsamaktadır. İlk olarak değişkenler arasında korelasyon olup olmadığı araştırılmış ve buna uygun olarak durağanlık analizi yapılmıştır. Daha sonra eğim parametrelerinin homojenlik durumuna göre nedensellik analizi yapılmış böylece ekonomik karmaşıklık, toplam faktör verimliliği ve ihracat arasında nedensellik ilişkisi olup olmadığı araştırılmıştır. Çalışmanın veri tanımları ve kaynakları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Veri tanımları

Veri	Tanımlar	Kaynak
TFV	Toplam faktör verimliliği	Our World in Database
ECI	Ekonomik karmaşıklık endeksi	The Observatory of Economic Complexity Database
EXP	Mal ve hizmet ihracatı (%GSYH)	The Worldbank Database

Birimler arasında korelasyon olup olmadığını ölçmek için yatay kesit bağımlılığı testi kullanılmaktadır. Genellikle birim boyutu zaman boyutundan büyük olduğunda ($N > T$) Pesaran'ın CD testinin kullanılması daha tutarlı sonuçlar vermektedir. CD testi Eşitlik 4'teki gibi formüle edilmektedir (Pesaran, 2004; 2021). Eşitlik 5 ve eşitlik 6'da belirtildiği gibi testin boş hipotezi birimler arası korelasyon olmadığı, alternatif hipotezi ise birimler arası korelasyon olduğu şeklindedir.

$$CD = \sqrt{\frac{2T}{N(N-1)}} \left(\sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \hat{\rho}_{ij} \right) \quad (4)$$

$$H0: \rho_{ij} = \text{cor}(u_{it}, u_{jt}) = 0 \quad i \neq j \quad (5)$$

$$H1: \rho_{ij} = \text{cor}(u_{it}, u_{jt}) \neq 0 \quad i \neq j \quad (6)$$

Yatay kesit bağımlılığı analizinden sonra yine Pesaran tarafından geliştirilen ve sıklıkla kullanılan yatay kesit genişletilmiş IPS (CIPS) birim kök testi uygulanmıştır. CIPS birim kök testi birimler arası korelasyonu dikkate alan ikinci nesil birim kök testlerinden biridir. CIPS test istatistiği yatay kesit genişletilmiş Dickey Fuller (CADF) olarak isimlendirilen test istatistiklerinin ortalamaları ile hesaplanmaktadır (Şak, 2018). CIPS testi Eşitlik 7'deki gibi formüle edilmektedir (Pesaran, 2007):

$$CIPS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i(N, T) \quad (7)$$

CIPS testinde serilerin durağan olabilmesi için CIPS test istatistiğinin mutlak değerinin, hesaplanan kritik değerlerin (%1, %5, %10) üzerinde olması gerekir. Eğer CIPS istatistik değeri kritik değerlerin üzerindeyse seriler durağandır, altındaysa seriler durağan değildir.

Birim kök testi ile serilerin durağanlık analizi yapıldıktan sonra serilerin homojenliğini ölçmek adına Delta testi uygulanmıştır. Delta testi $N > T$ olan panel verilerde daha tutarlı sonuç vermektedir. Delta testi Eşitlik 8 ve Eşitlik 9'daki gibi formüle edilmektedir (Pesaran ve Yamagata, 2008):

$$\hat{\Delta} = \sqrt{N} \left(\frac{N^{-1} \hat{S} - k}{\sqrt{2k}} \right) \quad (8)$$

$$\hat{\Delta}_{adj} = \sqrt{N} \left(\frac{N^{-1} \hat{S} - E(\hat{Z}iT)}{\sqrt{\text{Var}(\hat{Z}iT)}} \right) \quad (9)$$

Delta test istatistiğinin boş hipotezi eğim katsayıları homojendir, alternatif hipotezi ise eğim katsayıları heterojendir şeklinde oluşturulmaktadır. Nedensellik testleri, parametrelerin eğim katsayılarının homojenlik durumuna göre belirlenmektedir. Çalışmada homojenlik testi sonucunda eğim katsayılarının heterojen olduğu durumu ve birimler arasındaki yatay kesit bağımlılığını da dikkate alan (Güriş, 2018) Dumitrescu-Hurlin nedensellik testi uygulanmıştır. Dumitrescu-Hurlin testi Eşitlik 10'da gösterildiği gibi formüle edilmektedir (Dumitrescu and Hurlin, 2012).

$$Y_{it} = \alpha_i + \sum_{k=1}^K \gamma_i^{(k)} Y_{it-k} + \sum_{k=1}^K \beta_i^{(k)} X_{it-k} + \varepsilon_{it} \quad (10)$$

Eşitlik 10'da yer alan (k) gecikme uzunluğunu, $\gamma_i^{(k)}$ otoregresif parametreyi, $\beta_i^{(k)}$ eğimi ifade etmektedir ve bu modelde $\gamma_i^{(k)}$ ve $\beta_i^{(k)}$ birimlere göre değişmektedir. Eşitlik 11'de yer alan ve $\beta_i^{(k)} = 0$ şeklinde oluşturulan boş hipotez birimler için nedensellik ilişkisinin olmadığını ifade etmektedir.

$$H_0 : \beta_i^{(k)} = 0 \quad i = 1, 2, 3, \dots, N \quad (11)$$

$$H_1 : \beta_i^{(k)} \neq 0 \quad i = 1, 2, 3, \dots, N_1 \quad (12)$$

$$\beta_i^{(k)} \neq 0 \quad i = N_1 + 1, N_2 + 2, \dots, N \quad (13)$$

Eşitlik 12 ve Eşitlik 13'te gösterildiği gibi testin boş hipotezi eğim kat sayılarının birimlere göre değişmediği, yani homojen panel nedensellik bulunmadığı, alternatif hipotezi ise eğim katsayılarının birimlere göre değiştiği yani heterojen panel nedensellik bulunduğu şeklindedir. Temel hipotezi test etmek için serilerin durağan olması gerekmektedir. Böylece her birimde Wald testinin istatistik ortalaması kullanılabilir (Tatoğlu, 2018:155; Güriş, 2018: 409).

$$\bar{W}_{N,T} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N W_{it} \quad (14)$$

Eşitlik 14'te ifade edilen W_{it} homojenliği test etmek amacıyla kullanılan birimlere özgü Wald test istatistiğini ifade etmektedir.

4. BULGULAR

Değişkenler arasındaki korelasyonu belirlemek adına Pesaran CD testi yapılmıştır ve sonuçları Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Pesaran CD Testi Sonuçları

Değişkenler	CD test istatistiği	Olasılık değeri
TFV	25,34	0,000*
ECI	4,23	0,000*
EXP	31,26	0,000*

Not: *, %1 anlamlılık düzeyini göstermektedir.

Pesaran CD testi sonuçlarına göre (Tablo 2), her üç değişken için de yatay kesit bağımlılığı bulunmaktadır. Olasılık değerleri %1 seviyesinde anlamlıdır ve yatay kesit bağımlılığının olmadığını ifade eden boş hipotez reddedilmiştir.

Tablo 3. CIPS Birim Kök Testi Sonuçları (Düzey ve Fark değerleri)

	Değişkenler	Kritik Değerler	Test İstatistikleri
CIPS Testi (Düzey Değerleri)	TVF	Kritik Değerler	CIPS test istatistiği= 1.418
			0,1 0,05 0,01
			-2,03 -2,11 -2,25
	ECI	Kritik Değerler	CIPS test istatistiği= 1.763
			0,1 0,05 0,01
			-2,03 -2,11 -2,25
	EXP	Kritik Değerler	CIPS test istatistiği= 1.461
			0,1 0,05 0,01
			-2,03 -2,11 -2,25
CIPS Testi (Birinci Fark Değerleri)	TVF	Kritik Değerler	CIPS test istatistiği= -3.357
			0,1 0,05 0,01
			-2,03 -2,11 -2,25
	ECI	Kritik Değerler	CIPS test istatistiği= -3.542
			0,1 0,05 0,01
			-2,03 -2,11 -2,25
	EXP	Kritik Değerler	CIPS test istatistiği= -3.109
			0,1 0,05 0,01
			-2,03 -2,11 -2,25

CIPS birim kök testi sonuçlarına göre (Tablo 3), TFV, ECI ve EXP değişkenleri için hesaplanan CIPS test istatistiğinin mutlak değeri, belirtilen kritik değerlerin (%1, %5 ve %10) altında olduğu için değişkenler düzey değerlerinde durağan değildir. Bu nedenle değişkenlerin birinci fark değerleri alınmıştır. Birinci fark değerleri için hesaplanan CIPS test istatistiğinin mutlak değeri, belirtilen kritik değerlerin üzerinde olduğu için değişkenler birinci farkta durağandır.

Tablo 4. Delta Homojenlik Testi Sonuçları

Delta test	Olasılık değeri
22,643	0,000*
25,316	0,000*

Not: (*) %1 anlamlılık düzeyini göstermektedir.

Değişkenlerin eğim parametrelerinin homojenliği Delta testi ile ölçülmüştür. Delta testi sonuçlarına göre (Tablo 4) parametrelerin homojen olduğu boş hipotez %1 anlamlılık düzeyinde reddedilmiştir. Parametreler heterojen olduğu için heterojen panellere uygulanabilen Dumitrescu-Hurlin testi yapılmıştır. Testin sonuçları Tablo 5'te gösterilmektedir.

Tablo 5. Dumitrescu-Hurlin panel nedensellik testi sonuçları (TFV ile ECI arasında)

Değişkenler	Optimal Gecikme Uzunluğu (AIC)	W-bar	Z-bar
TFV → ECI	1	1,4299	1,7724 (0,0763***)
ECI → TFV	4	6,7965	5,7652 (0,0000*)

Not: *, ***, sırasıyla %1 ve %10 anlamlılık düzeyini göstermektedir.

TFV ile ECI arasındaki nedensellik ilişkisi Tablo 5'te gösterilmiştir. ECI'den TFV'ye ve TFV'den ECI'ye göre nedensellik ilişkisi belirlenmeye çalışılmıştır. ECI, TFV'nin nedeni değildir şeklindeki boş hipoteze göre hazırlanan bu modelde (TFV→ECI) olasılık değeri 0.0763 çıkmış ve %10 anlamlılık seviyesinde reddedilmiştir. Akaike bilgi kriterine (AIC) göre optimal gecikme uzunluğu 1 olarak belirlenmiştir. TFV, ECI'nin nedeni değildir şeklindeki boş hipoteze göre hazırlanan diğer modelde ise (ECI→TFV) olasılık değeri 0.0000 çıkmış ve %1 anlamlılık seviyesinde reddedilmiştir. AIC'ye göre optimal gecikme uzunluğu ise 4 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre TFV ile ECI arasında iki yönlü nedensellik ilişkisi bulunmaktadır.

Tablo 6. Dumitrescu-Hurlin Panel Nedensellik Testi Sonuçları (TFV ile EXP arasında)

Değişkenler	Optimal Gecikme Uzunluğu (AIC)	W-bar	Z-bar
TFV → EXP	4	7,8032	7,8406 (0,0000*)
EXP → TFV	1	2,6469	6,7904 (0,0000*)

Not: *, %1 anlamlılık düzeyini göstermektedir.

TFV ile EXP arasındaki nedensellik ilişkisi Tablo 6'da gösterilmiştir. EXP, TFV'nin nedeni değildir şeklindeki boş hipoteze göre hazırlanan bu modelde (TFV→EXP) olasılık değeri 0.0000 çıkmış ve %1 anlamlılık seviyesinde reddedilmiştir. AIC'ye göre optimal gecikme uzunluğu 4 olarak belirlenmiştir. TFV, EXP'nin nedeni değildir şeklindeki boş hipoteze göre hazırlanan diğer modelde ise (EXP→TFV) olasılık değeri 0.0000 çıkmış ve %1 anlamlılık seviyesinde reddedilmiştir. AIC'ye göre optimal gecikme uzunluğu ise 1 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre TFV ile EXP arasında iki yönlü nedensellik ilişkisi bulunmaktadır.

Tablo 7. Dumitrescu-Hurlin Panel Nedensellik Testi Sonuçları (ECI ile EXP arasında)

Değişkenler	Optimal Gecikme Uzunluğu (AIC)	W-bar	Z-bar
ECI → EXP	4	7,3096	6,8229 (0,0000*)
EXP → ECI	4	8,2685	8,7998 (0,0000*)

Not: *, %1 anlamlılık düzeyini göstermektedir.

ECI ile EXP arasındaki nedensellik ilişkisi Tablo 7'de gösterilmiştir. EXP, ECI'nin nedeni değildir şeklindeki boş hipoteze göre hazırlanan bu modelde (ECI→EXP) olasılık değeri 0.0000 çıkmış ve %1 anlamlılık seviyesinde reddedilmiştir. AIC'ye göre optimal gecikme uzunluğu 4 olarak belirlenmiştir. ECI, EXP'nin nedeni değildir şeklindeki boş hipoteze göre hazırlanan diğer modelde ise (EXP→ECI) olasılık değeri 0.0000 çıkmış ve %1 anlamlılık seviyesinde reddedilmiştir. AIC'ye göre optimal gecikme uzunluğu bu modelde de 4 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre ECI ile EXP arasında iki yönlü nedensellik ilişkisi bulunmaktadır.

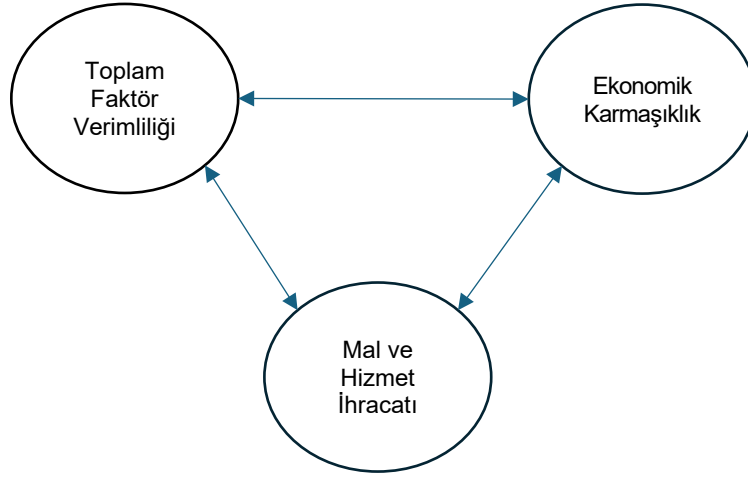
5. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Ülkelerin toplam faktör verimliliği; üretim kalitesi, ihracat yapısı ve küresel rekabet gücünün artırılması yönünden oldukça önemlidir. Zira toplam faktör verimliliğinin yüksek olması, üretimi hem nicelik olarak artırmakta hem de ürünlere katma değer sağlamaktadır. Bu durum ülkelerin dış ticaret rekabet gücünü de olumlu etkilemektedir. OECD ülkeleri hem gelişmiş hem de gelişmekte olan 38 ülkeyi bünyesinde

barındırması açısından bu gruplarda yer alan diğer ülkelerdeki toplam faktör verimliliği, ekonomik karmaşıklık ve ihracat ilişkisini anlamaya yardımcı olacaktır. Bu nedenle çalışmada, OECD ülkelerinde ekonomik karmaşıklık, toplam faktör verimliliği ve ihracat arasındaki nedensellik ilişkisi araştırılmaktadır.

Çalışmada ilk olarak değişkenlerin durağanlıkları korelasyon ekseninde sınanmıştır. Bunu sınamak amacıyla Pesaran'ın CD testi ve daha sonrasında durağanlık analizi için CIPS birim kök testi uygulanmıştır. Parametrelerin durağanlık analizinin ardından homojenliklerini belirlemek adına Delta testi yapılmış ve homojenlik durumuna göre ise nedensellik testi uygulanmıştır. Analizler; toplam faktör verimliliği ile ihracat, ekonomik karmaşıklık ile ihracat ve toplam faktör verimliliği ile ekonomik karmaşıklık arasındaki nedensellik ilişkisini içermektedir.

Elde edilen sonuçlar; OECD ülkelerinde toplam faktör verimliliği ile ihracat arasında iki yönlü, toplam faktör verimliliği ile ekonomik karmaşıklık arasında iki yönlü, ekonomik karmaşıklık ile ihracat arasında yine iki yönlü nedensellik ilişkisini göstermektedir. Özetle tüm değişkenlerin birbiri ile çift yönlü olan bir nedensellik ilişkisi mevcuttur.



Şekil 1. Değişkenler arasındaki çift yönlü nedensellik ilişkisi

Analiz sonuçları, ekonomik karmaşıklık, toplam faktör verimliliği ve ihracat arasında ne kadar güçlü bir bağ olduğunu göstermektedir. OECD ülkelerinin toplam faktör verimliliğini artırması hem ekonomik karmaşıklığı hem de ihracatı olumlu etkileyecektir. Keza aynı şekilde ekonomik karmaşıklığın artırması; toplam faktör verimliliği ve ihracatı, ihracatın artırması ise ekonomik karmaşıklık ve toplam faktör verimliliğini olumlu etkileyecektir. Bu da ülkelerin büyüme ve kalkınma hedeflerinin yanı sıra dış ticaret rekabet gücünü artırması açısından olumlu bir durumdur.

Elde edilen sonuçların, literatürde belirtilen birçok çalışma ile uyumlu olduğu söylenebilir. Özellikle Çeştepe (2020) ve Ünsal (2024), analiz sonucu olarak toplam faktör verimliliği ve ihracat arasında iki yönlü nedensellik ilişkisi bulmuştur. Çalışmada elde edilen bulgular da bu literatür örneklerini desteklemektedir. Ayrıca, Williams ve Oshodi (2021), Canh ve Thanh (2022), ve Abdi ve diğerleri (2023) tarafından gerçekleştirilen, ekonomik karmaşıklık ve ihracat arasındaki nedensellik ilişkisinin olduğu literatür örnekleri ile kıyaslandığında, çalışmada elde edilen sonuçlar bu örnekler ile benzerlik göstermektedir.

Verimlilik artışı, ekonomiye çok yönlü katkı sağlamaktadır. Verimlilik artışı ile üretim maliyetleri azalmakta, ürün kalitesi artmakta ve ülkeler uluslararası pazarlarda daha rekabetçi olmaktadır. Ayrıca verimlilik artışı, işletmelerin ölçek ekonomilerine ulaşmasına ve katma değeri yüksek ürünlerin üretilip ihraç edilmesine olanak sağlamaktadır. Katma değeri yüksek ürün gruplarının ihracatının artması ise ülkelerin ekonomik karmaşıklık ve milli gelir seviyesini yükseltmektedir.

Bu doğrultuda, faktör verimliliğinin artışı için, öncelikle beşerî sermayeye önem verilmeli ve teknolojiyi üretimin her alanında etkin kullanacak politikalar izlemelidir. Ülkeler araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) yatırımlarını artırmalı, yapay zekâ gibi yeni teknolojileri benimseyerek üretim süreçlerini dijitalleştirmelidir. Böylece üretimin her alanında verimlilik artışı sağlanacak, daha az girdi ile daha yüksek çıktı elde edilebilecektir. Bu bağlamda ülkeler, verimlilik artışı sayesinde hem ekonomik karmaşıklığını artırıp hem de ihracat portföylerini genişletebilecektir.

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(s) that the tools and methods used in the study do not require the permission of the Ethics Committee.

Etik Beyanı / Ethical Statement

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

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

KAYNAKÇA

- Abdi, A.H., Zaidi, M.A. ve Karim, Z.A. (2023). "Economic Complexity and Bilateral Trade Flows in Selected COMESA and East Asia Countries", *Technological and Economic Development of Economy*, 29(3), 846-873. <https://doi.org/10.3846/tede.2023.18682>
- Akar, T. (2023). "Ekonomik Karmaşıklık, Ar-Ge Harcamaları ve Ekonomik Büyüme İlişkisi", *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 55, 315-329. <https://doi.org/10.30794/pausbed.1117645>
- Akkoç, G.K., Akkoç, U. ve Yücel, Ö.F. (2018). "BRICS-T Ülkelerinde Toplam Faktör Verimliliği ve Teknoloji Transferi", *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 10(21), 101-118. <https://doi.org/10.18092/ulikidince.349292>
- Alakbarov, N., Gündüz, M. ve Erkan, B. (2018). "Türkiye'de Ekonomik Büyümenin Belirleyicisi Olarak Toplam Faktör Verimliliği", *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 57, 253-270.
- Alancioğlu, E. ve Şit, M. (2019). "BRICS Ekonomilerinde Toplam Faktör Verimliliği ile Ekonomik Büyüme İlişkisinin Panel Veri Analizi: 2000-2016 Dönemi", *Akademik Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi*, 11(20), 29-40. <https://doi.org/10.20990/kilisiibfakademik.457238>
- Bayar, İ. (2022). "Ekonomik Karmaşıklık İndeksi ve Ekonomik Büyüme: CIVETS Ülkelerinden Ampirik Kanıtlar", *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 36, 237-251. <https://doi.org/10.18092/ulikidince.1052678>
- Canh, N.P. ve Thanh, S.D. (2022). "The Dynamics of Export Diversification, Economic Complexity and Economic Growth Cycles: Global Evidence", *Foreign Trade Review*, 57(3), 234-260. <https://doi.org/10.1177/0015732520970441>
- Çeştepe, H., Arslan, E. ve Yazıcı, M. (2020). "Toplam Faktör Verimliliği, Ekonomik Büyüme ve İhracat İlişkisi: Gelişmekte Olan Ülkeler Örneği", *Yönetim ve Ekonomi*, 27(2), 495-510. <https://doi.org/10.18657/yonveek.770977>
- Çokgezer, A. ve Sadıku, L. (2023). "The Relationship Between Economic Complexity and Economic Growth: A Panel Var Approach for OECD Countries", *Trends in Economics, Finance, and Management Journal*, 5(1), 11-23.
- Dar, A. ve Amirkhalkhali, S. (2017). "Fiscal Policy, Total Factor Productivity and Economic Growth in Advanced Economies", *Applied Econometrics and International Development*, 17(2), 5-18.
- Doyar, B.V. ve Yaman, H. (2020). "Ekonomik Karmaşıklık Endeksi, Gelir ve Yüksek Teknoloji İhracatı Arasındaki Karşılıklı İlişkilerin Analizi: Türkiye Örneği", *Pearson Journal of Social Sciences & Humanities*, 5(8), 41-52.
- Dumitrescu, E.-I. ve Hurlin, C. (2012). "Testing for Granger Non-causality in Heterogeneous Panels", *Economic Modelling*, 29, 1450-1460.
- Erkan, B. ve Yıldırımçı, E. (2015). "Economic Complexity and Export Competitiveness: The Case of Turkey", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 195, 524-533. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.06.262>
- Güriş, B. (2018). "Panel Vektör Otoregresif Modeller ve Panel Nedensellik", *Uygulamalı Panel Veri Ekonometrisi*, (Editör: S. Güriş), Der Yayınları, İstanbul.
- Jakšić, S., Erjavec, N. ve Cota, B. (2020). "Export and Total Factor Productivity of EU New Member States", *Croatian Operational Research Review*, 11(2), 263-273.
- Karanfil, M. Kılıç, C. (2022). "Ekonomik Kompleksite ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Seçilmiş OECD Ülkeleri İçin Panel Veri Analizi", *Girişimcilik ve Kalkınma Dergisi*, 17(1), 37-59.
- Khan, G.Y., Muhammad, M.D. ve Mehboob, S. (2020). "Total Factor Productivity and Economic Growth of Pakistan: A Time Series Analysis", *International Review of Management and Business Research*, 9(3), 228-241. [https://doi.org/10.30543/9-3\(2020\)-18](https://doi.org/10.30543/9-3(2020)-18)
- Koch, P. (2021). "Economic Complexity and Growth: Can Value-added Exports Better Explain the Link?", *Economics Letters*, 198(109682), 1-4. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2020.109682>
- Lazarov, D. ve Petreski, G. (2023). "Export Complexity and Economic Growth: Empirical Analysis for Selected CEE Countries", *Croatian Economic Survey*, 25(2), 41-65. <https://doi.org/10.15179/ces.25.2.2>
- Le, T.T., Niem, L.D. ve Kim, T. (2022). "Economic Complexity and Economic Development in ASEAN Countries", *International Economic Journal*, 36(4), 556-568. <https://doi.org/10.1080/10168737.2022.2142643>
- Pan W., Xie T., Wang Z. ve Ma L. (2022). "Digital Economy: An Innovation Driver for Total Factor Productivity", *Journal of Business Research*, 139, 303-311. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.09.061>
- Pesaran, M.H. (2004). "General Diagnostic Tests for Cross Section Dependence in Panels", IZA Discussion Paper No. 1240.
- Pesaran, M.H. (2007). "A Simple Panel Unit Root Test in the Presence of Cross-Section Dependence", *Journal of Applied Econometrics*, 22(2), 265-312.
- Pesaran, M.H. (2021). "General Diagnostic Tests for Cross-Sectional Dependence in Panels", *Empirical Economics*, 60, 13-50. <https://doi.org/10.1007/s00181-020-01875-7>

- Pesaran, M.H. ve Yamagata, T. (2008). "Testing Slope Homogeneity in Large Panels", *Journal of Econometrics*, 142, 50-93.
- Ricardo, D. (1817). "The Principles of Political Economy and Taxation", Belge Yayınevi, İstanbul.
- Saeed, A. ve Ullah, M. Z. (2021). "Productivity and Export Performance of Emerging Asian Economies", *Journal of Applied Economics and Business Studies*, 5(4), 59-96.
- Stojkoski, V. ve Kocarev, L. (2017). "The Relationship Between Growth and Economic Complexity: Evidence from Southeastern and Central Europe", Munich Personal RePEc Archive, 77837, 1-25.
- Şak, N. (2018). "Panel Birim Kök Testleri", *Uygulamalı Panel Veri Ekonometrisi*, (Editör: S. Güriş), 261-314, Der Yayınları, İstanbul.
- Tatoğlu, F.Y. (2018). "Panel Zaman Serileri Analizi", Beta Yayıncılık, İstanbul.
- Tochukwu, O.R. (2016). "Foreign Direct Investment and Export Productivity: A Study of Nigerian Manufacturing Sector (1980-2015)", *International Journal of Arts Humanities and Social Sciences*, 1(2), 34-43.
- Ünsal, M.E. (2024). "Gelişmekte Olan Ülkelerde İhracat, İthalat ve Toplam Faktör Verimliliği Arasındaki Nedensellikler: Türkiye, Brezilya, Hindistan ve Güney Afrika Örneği", *İktisat Politikası Araştırmaları Dergisi*, 11(2), 186-203. <https://doi.org/10.26650/JEPR1394692>
- Williams, G.O. ve Oshodi, A.F. (2021). "Can Africa Raise Export Competitiveness through Economic Complexity? Evidence from (Non)-Parametric Panel Techniques", *Africa Development Review*, 33, 426-438. <https://doi.org/10.1111/1467-8268.12587>
- Zhu, S. ve Li, R. (2017). "Economic Complexity, Human Capital and Economic Growth: Empirical Research Based on Cross-Country Panel Data", *Applied Economics*, 49(37), 3815-3828. <https://doi.org/10.1080/00036846.2016.1270413>

Enflasyon Muhasebesinin Firma Etkinliği Üzerine Etkisi: BİST 100 İmalat Sektörü Üzerine Bir Uygulama

Ahmet Alataş¹ 

ÖZET

Amaç: Çalışmada, BİST 100 imalat sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin uygulamış olduğu enflasyon düzeltmesinin firmaların etkinliği üzerindeki etkisinin belirlenmesi ve etkin olan işletmelerin kendi içerisinde sıralanması amaçlanmıştır.

Yöntem: Çalışmada kullanılan veriler, işletmelerin etkinliğini belirlemek için Veri Zarflama Analizi (VZA) ile ve sektör içindeki aktif işletmelerin sıralamasını belirlemek için de süper etkinlik modeli ile analiz edilmiştir.

Bulgular: Enflasyon düzeltmesi öncesi tam etkin olan firma sayısı 10, enflasyon düzeltmesi sonrası tam etkin olan firma sayısı 7 olarak tespit edilmiştir. Düzeltme sonrasında 39 işletmenin 25'inde etkinlik seviyesinde düşme yaşanırken, 11 işletmenin etkinlik seviyesinde de artış olmuş, 3 işletmenin etkinlik seviyesinde de herhangi bir değişim yaşanmamıştır. İşletmelerin stok devir hızları ve maddi duran varlık oranlarında artış, öz kaynak devir hızı, öz kaynak kârlılığı ve aktif kârlılık oranlarında ise düşüşler görülmüştür. Bazı işletmeler düzeltme öncesi ve sonrası tam etkinliğini korumuş, bazıları ise hem etkinlik seviyesinde hem de etkin olan işletmelerin sıralamasında en yüksek etkinlik seviyesi artışlarını sergilemiştir. Genel anlamda araştırma sonuçları, enflasyon muhasebesinin işletmelerin etkinliğinin belirlenmesinde ve etkin olan işletmelerin kendi içerisinde sıralamasında etkili olduğunu göstermektedir.

Özgünlük: Literatürde genel performans ve etkinlik ölçümüne yönelik çalışmalar bulunsa da enflasyon muhasebesinin etkinlik seviyesine etkisini ölçen ve bu bağlamda VZA yöntemini kullanan araştırmalara rastlanılmamıştır. Çalışma, imalat sektörü özelinde enflasyon muhasebesi düzenlemelerinin işletmeler üzerindeki etkilerini analiz ederek literatüre önemli bir katkı sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Enflasyon Muhasebesi, Etkinlik, Veri Zarflama Analizi.

JEL Kodları: M40, M41.

The Effect of Inflation Accounting on Firm Efficiency: An Application on BIST 100 Manufacturing Sector

ABSTRACT

Purpose: The study aims to determine the effect of inflation adjustment applied by the enterprises operating in the BIST 100 manufacturing sector on the efficiency of the firms and to rank the efficient enterprises within themselves.

Methodology: The data used in the study were analyzed by Data Envelopment Analysis (DEA) to determine the efficiency of enterprises and super efficiency model to determine the ranking of active enterprises within the sector.

Findings: The number of fully efficient firms before inflation adjustment was determined as 10, and the number of fully efficient firms after inflation adjustment as 7. After inflation adjustment, 25 out of 39 enterprises experienced a decrease in efficiency level, while 11 enterprises experienced an increase in efficiency level and 3 enterprises did not experience any change in efficiency level. Inventory turnover ratios and tangible fixed asset ratios of the enterprises increased, while equity turnover, return on equity and return on assets ratios decreased. Some enterprises maintained full efficiency before and after the correction, while others exhibited the highest increases in both efficiency level and ranking of efficient enterprises. In general, the results of the study show that inflation accounting is effective in determining the efficiency of enterprises and in ranking the efficient enterprises.

Originality: Although there are studies on general performance and efficiency measurement in the literature, there are no studies that measure the effect of inflation accounting on efficiency level and use DEA method in this context. The study makes an important contribution to the literature by analyzing the effects of inflation accounting regulations on enterprises in the manufacturing sector.

Keywords: Inflation Accounting, Efficiency, Data Envelopment Analysis.

JEL Codes: M40, M41.

¹ Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Saruhanlı Meslek Yüksekokulu, Yönetim ve Organizasyon Bölümü, Manisa, Türkiye

EXTENDED ABSTRACT

This study aims to measure the effects of inflation accounting on the efficiency of businesses. Although there are studies on general performance and efficiency measurement in the literature, there is no research that addresses the effects of inflation accounting on business efficiency and uses the Data Envelopment Analysis (DEA) method in this context. The study analyzes the changes in the efficiency levels of the enterprises listed in the BIST 100 index and operating in the manufacturing sector by comparing the financial data of the enterprises with and without inflation accounting for the year 2022. In this respect, it is thought that the study will make a unique contribution to the literature both in the manufacturing sector and in terms of evaluating the effects of accounting practices on business performance.

In the study, DEA method is used in which multiple input and output variables are suitable for efficiency analysis. In order to create a homogeneous sample for the manufacturing sector, the financial data of 39 companies in the BIST 100 before and after inflation adjustment for the year 2022 were analyzed. Within the scope of the research, inventory turnover, equity turnover and tangible fixed asset ratio of the companies were determined as input variables, while net profit margin, return on equity and return on assets were determined as output variables. The impact of inflation accounting was analyzed by measuring the efficiency scores of companies through the CCR-I model and the sweep efficiency model. Normalization of input and output values is applied to avoid methodological problems arising from negative profitability ratios.

The results of the analysis show that inventory turnover and tangible fixed asset ratio increased, reflecting the real appreciation effect on inputs. However, there was a general decline in the variables of equity turnover, return on equity and return on assets. While the average efficiency score was 0.5404 before inflation accounting adjustment, this score decreased to 0.4619 after the adjustment. The number of fully efficient firms decreased from 10 to 7, while the number of inefficient firms increased from 29 to 32. CIMSA, OTKAR and SELGD maintained their full efficiency levels after the correction. AEFES, BRSAN, BUCIM and EREGL stand out among firms with increased efficiency levels, while BRISA, PETKM and KARTN recorded significant decreases in their efficiency levels. BRSAN and EREGL showed the largest increases in the ranking, while PETKM and JANTS experienced the largest decline. This shows that there have been significant changes in the intra-sectoral rankings of firms after the regulation.

This study analyzes the impact of inflation accounting regulations on the efficiency levels of manufacturing firms. The findings show that inflation accounting creates a real appreciation effect in inputs but causes a decline in output variables. The decrease in the number of fully efficient firms and the increase in the number of inefficient firms after the regulation revealed that the regulation led to a loss of efficiency in general. While some firms, especially BRSAN and EREGL, increased their efficiency levels, firms such as PETKM and KARTN experienced significant decreases. This shows that the adjustment has created firm-based differences. The study makes a unique contribution to the literature by analyzing the effects of inflation adjustment on efficiency. Future research may allow for more comprehensive evaluations by examining the long-run effects of the adjustment and its implementation results in different sectors.

1. GİRİŞ

Enflasyon, ekonomik istikrarı tehdit eden ve işletmelerin finansal yapıları üzerinde derin etkiler oluşturan bir olgudur (Doğan, 2023). Özellikle yüksek enflasyon dönemlerinde, finansal tabloların gerçek durumu yansıtmaya yeteneği azalmakta, bu da işletmelerin performans değerlendirmelerini ve yatırımcıların karar alma süreçlerini etkilemektedir. Bu bağlamda, enflasyon muhasebesi uygulamaları, mali tablolar aracılığıyla sunulan finansal bilgilerin, enflasyonun etkilerinden arındırılmasını ve böylece ilgili dönemin satın alma gücü ile daha doğru, gerçekçi ve karşılaştırılabilir bir şekilde sunulmasını hedeflemektedir. Enflasyon muhasebesi uygulamaları, bilanço esasına göre kazançlarını belirleyen gelir ve kurumlar vergisi mükelleflerini kapsamakta ve stoklar, maddi ve maddi olmayan duran varlıklar, mali duran varlıklar, özkaynaklar vb. parasal olmayan kalemlere yönelik düzenlemeleri içermektedir (Akgemci ve diğerleri, 2024).

İmalat sektörü; üretim kapasitesi, istihdam olanakları ve ihracat potansiyeli gibi unsurları ile ülkemiz ekonomisi içerisinde ağırlığı yüksek olan bir sektördür. Ancak, enflasyonist baskılar bu sektörde faaliyet gösteren firmaların finansal durumunu ve rekabet gücünü yönde etkilemektedir. Özellikle, Türkiye gibi enflasyon oranlarının yüksek olduğu ülkelerde, imalat sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin enflasyon muhasebesi uygulamalarına duyarlılığı ve ihtiyacı yüksek olmaktadır. Bu nedenle, çalışmada imalat sektörünün seçilmesi, enflasyon muhasebesinin firma etkinliği üzerindeki etkilerini incelemek ve sektöre özgü dinamikleri anlamak açısından önem arz etmektedir.

İşletmelerin etkinlik seviyelerinin ölçülmesi, kaynaklarının verimli kullanımı ve rekabet avantajının sürdürülebilirliği açısından kritik bir öneme sahiptir. Veri Zarflama Analizi (VZA), çoklu girdi ve çıktılarının değerlendirilmesine olanak tanıyan, işletmelerin performansına yönelik etkinliklerini ve verimliliklerini belirlemede literatürde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. CCR-I modeli, girdi yönlü bir yaklaşım benimseyerek, ölçeğe göre sabit getiriler altında karar verme birimlerinin etkinlik seviyesini ölçmektedir (Özek, 2015; Asker, 2021). Süper etkinlik modeli, etkin olarak belirlenen karar verme birimlerini, en yüksek etkinlik seviyesinden daha düşük etkinlik seviyesine doğru sıralama olanağı sunmaktadır (Yaşar, 2019).

Ülkemizde yirmi yıldan bu yana enflasyon düzeltmesi uygulaması yapılmamakta olup son olarak 2004 takvim yılında uygulanmıştır. Fakat, 2005 yılından itibaren gerekli şartların ortadan kalkması nedeniyle uygulanmamış ve 2021 yılına kadar askıda kalmıştır. 2021 yılında ilgili şartlar yeniden oluşmuş olsa da enflasyon muhasebesine geçiş 2023 tarihine kadar ertelenmiştir (Yıldırım, 2022). Son dönemlerde yaşanan; yüksek kur, salgın hastalık, döviz hareketliliği ve en nihayetinde peş peşe yıllarda görülen yüksek enflasyon oranları işletmelerin varlık ve kaynak yapısında kayıtlı değer ile gerçek değer arasında belirgin farklar oluşturmuş ve piyasa koşulları enflasyon düzeltmesi uygulamalarını zaruret haline getirmiştir. Piyasadaki tüm paydaşlar tarafından talep edilen enflasyon düzeltmesi ile ilgili tebliğ yetkili kurumca yayımlanmıştır. İlgili enflasyon düzeltmesinin işletmelerin etkinliği üzerinde bir etkiye sahip olup olmadığı da bu araştırmanın temel araştırma fikrini geliştirmiştir.

Alan yazınında imalat sektöründeki işletmelerin etkinlik düzeylerini belirlemeye yönelik; Yıldız, 2007; Yalama ve Sayım, 2008; Özçelik ve Kandemir, 2017'de çalışmalar gerçekleştirmiş olup bu çalışmaların çoğunda işletmelerin etkinlik düzeylerinin belirlenmesinde VZA yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca, Tosunoğlu ve Uysal, 2012 ile Çelik ve Ayan, 2017'de BİST'te işlem gören işletmelerin etkinliğini belirleyerek araştırmalarına dâhil edilen ve etkin olmayan firmalar içinde iyileştirme önerilerinde bulunmuşlardır. Ancak, bu çalışmalar genel olarak etkinlik ölçümü ve sektör içi rekabet gücüne odaklanmış olup enflasyon muhasebesi uygulamalarının işletme etkinliğine etkisini ölçen ve etkin olarak belirlenen işletmelerin de etkin olan işletmeler içerisindeki sıralamalarını belirleyen bir çalışmaya rastlanılamamıştır. Özek, 2015; Contuk ve diğerleri, 2013, çalışmalarında enflasyonun finansal tablolar üzerindeki etkilerine dair çalışmaları yer almakta olup bu etkinin VZA yöntemiyle analiz edildiği bir çalışmaya ise yapılan taramalarda rastlanılamamıştır. Dolayısıyla bu araştırma, enflasyon muhasebesi uygulamasından önce ve enflasyon muhasebesi uygulamasından sonraki finansal veriler ile işletmelerin etkinlik düzeylerindeki değişimi ölçerek literatüre katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Ayrıca etkinlik düzeylerinin belirlenmesinden sonra ikinci aşamada yapılan süper etkinlik analiziyle, etkin olan işletmelerin kendi içerisinde en etkin olan işletmeden en az etkin olan işletmeye göre de bir sıralaması yapılmıştır. Yapılan bu süper etkinlik analiziyle sektör içerisindeki işletmelere en etkin olan işletmelerin etkinlik faaliyetlerinin etkin olmayan veya daha az etkin olan işletmelere birer rehber olacağı düşünülmektedir.

Çalışma, Türkiye'nin yüksek enflasyon dönemlerinde enflasyon muhasebesi düzeltmesine Borsa İstanbul (BİST) 100 imalat sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin performans etkinlikleri üzerindeki etkisini analiz etmeyi amaçlamaktadır. Çalışmanın referans yılı olan 2022'de, işletmeler hem enflasyon düzeltmesi uygulanmamış hem de enflasyon düzeltmesi uygulanmış finansal tablolarını yayımlamıştır. Bu doğrultuda, araştırmada her iki veri seti kullanılarak işletmelerin etkinlik seviyeleri karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Çalışmada, VZA yönteminin CCR-I modeli, işletmelerin etkinlik skorlarını ölçmek ve enflasyon

düzeltilmelerinin bu skorlar üzerindeki etkilerini değerlendirmek için uygulanmıştır. Ayrıca, etkin olan işletmelerin sektör içerisindeki göreceli sıralamalarını belirlemek amacıyla süper etkinlik modeli kullanılarak kapsamlı bir analiz gerçekleştirilmiştir. Çalışma; kavramsal çerçeve, veri zarflama analizi, literatür taraması, araştırma ve sonuç bölümlerinden oluşmaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Kavramsal Çerçeve

1950'lere kadar performans izleme süreçleri etkililik kavramıyla sınırlı kalmış, ancak sonraki yıllarda kullanım alanları ve ihtiyaçlara göre etkinlik, verimlilik, esneklik ve sürdürülebilirlik gibi unsurlar eklenmiştir (Cavlak, 2021). Bu dönüşüm, performans değerlendirme kriterlerinin kapsamını ve uygulama alanlarını genişletmiştir. Yükçü ve Atağan (2009), literatürde etkinlik, etkililik ve verimlilik kavramlarının sıklıkla karıştırıldığını ve çoğu zaman birbiri yerine kullanıldığını belirtmiştir. Bu kavramlar, performans ölçümünde farklı boyutları ifade etmektedir. Verimlilik, etkinlik ve etkililik, girdiler ve çıktılar üzerinden farklı değerlendirmeler sunan temel unsurlar olup, doğru bağlamda kullanılmaları ölçüm sonuçlarının anlamını doğru yorumlamak açısından önemlidir (Bayraktar ve Cerit, 2020).

2.1.1. Temel Kavramlar

Etkinlik, işletmenin iş gücü ve malzeme gibi girdileri hedeflere ulaşmak için ne kadar verimli kullandığını ifade eder (Yükçü ve Atağan, 2009). Etkinlik seviyesi 1'in altında hedeflere ulaşamadığı, 1'in üzerinde ise hedeflerin aşıldığı anlamına gelir (Yükçü ve Atağan, 2009). Teknik performans göstergeleri arasında yer alan etkinlik, etkililik ve verimlilik, birbiriyle bağlantılı unsurlar olarak bütünün parçalarını oluşturmakta ve birbirini tamamlamaktadır. Etkinlik ve etkililik, girdilerin faaliyet sonucunda çıktılara dönüşüm sürecinde birbiriyle etkileşim içinde çalışarak işletme performansını oluşturan temel unsurlardır. Bu etkileşim süreci, işletme kaynaklarının verimli kullanımını sağlarken aynı zamanda doğru hedeflerin doğru yöntemlerle gerçekleştirilmesini de optimize etmektedir. Verimlilik, etkinlik ve etkililik kavramlarının bir araya gelmesiyle ortaya çıkan nihai performans göstergesi olarak değerlendirilmektedir (Şekil 1). Bir başka açıdan bakıldığında, işletmelerin kaynaklarını en uygun şekilde kullanarak ve faaliyetlerini en az maliyetle gerçekleştirerek hedeflerine ulaştıkları ölçüde verimli oldukları söylenebilir. Bu kapsamda, işletme hedeflerine ulaştığında "etkili", bu hedeflere minimum maliyetle ulaştığında "etkin", faaliyetlerini en az kaynakla tamamladığında "verimli" olarak değerlendirilir. Verimlilik, dolaylı olarak hem etkinliğin hem de etkililiğin bir yansımasıdır ve işletmenin performansını ölçmek için temel bir araçtır (Cavlak, 2021).



Şekil 1. Etkinlik-Etkililik-Verimlilik kavramları ve aralarındaki ilişki (Cavlak, 2021)

Bu çalışmada, etkinlik ölçümüne odaklanılmıştır. Etkinlik, işletmelere mevcut durumlarını belirleme ve girdilerden ne ölçüde çıktı üretebildiklerini değerlendirme olanağı sağlamaktadır (Yolalan, 1993). Etkinlik ölçümü, girdilerin ve çıktılarının eşzamanlı değerlendirilmesine dayanmaktadır (Soba ve Akcanlı, 2012). Farrell (1957), etkinliği teknik ve tahsis etkinliği olmak üzere iki bileşene ayırmıştır. Teknik etkinlik, girdilerle maksimum çıktı üretme kapasitesini, tahsis etkinliği ise girdilerin maliyetler gözetilerek en uygun şekilde kullanımını ifade etmektedir. Bu iki bileşen, işletmenin toplam etkinliğini belirlemektedir (Ata ve Yakut, 2009; Yolalan, 1993).

2.1.2. Enflasyon Muhasebesi ve Enflasyon Muhasebesinin Finansal Tablolara Etkisi

Enflasyon, genel fiyat seviyesindeki artış veya paranın satın alma gücündeki azalma olarak tanımlanır ve finansal tabloların gerçeği yansıtmaya kapasitesini zayıflatmaktadır. Finansal tablolar, ekonomik karar alma süreçlerinde bilgi kaynağı olarak kullanılmak üzere hazırlanırken, fiyat seviyesinin sabit olduğu varsayımına dayanmaktadır. Ancak bu varsayım, yüksek enflasyon dönemlerinde geçerliliğini yitirmektedir (Hussein ve diğerleri, 2024).

Enflasyon, muhasebe ölçüm birimi olan paranın satın alma gücünü düşürerek finansal tabloların gerçekliği yansıtmaya kalitesini olumsuz etkiler. Tarihi maliyet esasına dayanan geleneksel muhasebe sistemi, yüksek enflasyon koşullarında güvenilir bilgi sunma ve karar alma süreçlerine katkı sağlama açısından yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, enflasyonun muhasebe üzerindeki etkilerinin doğru ele alınması, finansal tabloların güvenilirliğini artırmak için önemlidir (Hussein ve diğerleri, 2024).

VUK'un 213 sayılı mükerrer 298. maddesine göre enflasyon muhasebesi, finansal tabloları enflasyon etkilerinden arındırarak daha güvenilir hale getiren bir yöntemdir. Bu yöntem, yüksek enflasyon dönemlerinde karar alıcılar için anlamlı bilgiler sunmaktadır (Acer ve diğerleri, 2024; Bondu, 2024). Parasal olmayan kalemlerin cari fiyatlarla düzenlenmesiyle ekonomik gerçekliği yansıtan enflasyon muhasebesi, paranın satın alma gücündeki değişimleri dikkate alarak mali analizleri güçlendirmeyi hedeflemektedir (Karasioğlu ve Erdemir, 2005).

Türkiye'de enflasyon muhasebesi, gelir ve kurumlar vergisi mükelleflerinin bilanço esasına göre kazanç tespiti yapması ve fiyat endeksindeki artışın son üç yılda %100'ü, içinde bulunulan dönemde ise %10'u aşması durumunda uygulanır. Bu şartların aynı anda gerçekleşmemesi halinde enflasyon muhasebesi sona ermektedir. 2004 yılında yürürlüğe giren bu düzenleme, 2005 yılından itibaren şartların ortadan kalkması nedeniyle uygulanmamış ve 2021 yılına kadar askıda kalmıştır. 2021'de şartlar yeniden oluşsa da uygulama, 2023'e kadar ertelenmiştir (Yıldırım, 2022).

Parasal olmayan varlıkların yoğun olduğu bilançolara sahip işletmeler, enflasyonun olumsuz etkilerini daha fazla hissetmektedir. Enflasyon, işletmelerin kâr hesaplamalarını bozarak sermayenin korunmasını zorlaştırmakta ve fiktif kâr oluşumuna neden olmaktadır. Bu durum, gerçekte elde edilenden daha yüksek bir tutarın vergilendirilmesiyle işletme sermayesinin erimesine yol açmaktadır. Fiktif kârın vergilendirilmesi, işletmelerin finansal kararlarını olumsuz etkileyerek kaynakların verimsiz alanlara yönelmesine ve sermaye yapısının zayıflamasına neden olmaktadır. Enflasyon muhasebesi uygulaması, fiktif kâr ve maliyet artışlarını ortadan kaldırarak finansal tabloların gerçeğe uygunluğunu sağlamayı ve işletme kararlarının daha doğru temellere dayanmasını amaçlamaktadır (Açık, 2006).²

2.2. İlgili Araştırmalar

Literatürde, imalat sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin etkinliklerinin ölçülmesine yönelik çalışmalarda Veri Zarflama Analizi (VZA) yöntemi yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Bu çalışmalar genellikle işletmelerin göreceli etkinlik seviyelerini belirlemeye odaklanmıştır. İmalat sektörü kapsamında VZA ile yapılan işletme performanslarının ölçüldüğü çalışmalardan bazılarında aşağıda yer verilmiştir

Din ve diğerleri (2007), Pakistan imalat sektörünün teknik verimliliği 101 endüstri üzerinden 1995-2001 yılları arasında hem parametrik hem de parametrik olmayan yöntemlerle incelenmiştir. Bulgular, sınırlı bir verimlilik artışı olduğunu, ancak sektörler arasında farklılıklar görüldüğünü ortaya koymuştur.

Yıldız (2007), İMKB'de işlem gören 105 imalat işletmesinin 2005 yılı finansal tabloları incelenmiş, %70'inin etkin olduğu belirlenmiştir. Çalışmada, kâğıt-kâğıt ürünleri sektörünün en etkin sektör olduğu, ölçek etkinliği için ise firmaların büyüklüklerini azaltması gerektiği vurgulanmıştır.

Yalama ve Sayım (2008), İMKB'deki imalat sektörü işletmelerinin performansları 2005 yılı Aralık dönemi verileriyle analiz edilmiştir. Etkinlik skoru %83,94 olarak hesaplanmış, etkin olmayan firmalar için iyileştirme oranları ve öneriler sunulmuştur.

Ata ve Yakut (2009), Türkiye imalat sektöründe 1996-2006 döneminde işletmelerin etkinlik seviyeleri incelenmiş, etkin ve etkin olmayan sektörler belirlenmiştir. Etkinliğin artırılması için öneriler geliştirilmiştir.

Tosunoğlu ve Uysal (2012), İSO 500 ve BİST'te işlem gören yabancı sermayeli 29 imalat firmasının %28'i etkin bulunmuştur. Çalışmada, etkin olmayan firmaların girdi-çıkı oranlarında iyileştirmeler yapılması gerektiği tespit edilmiştir.

Memon ve diğerleri (2012), Pakistan'daki 49 üretim şirketinin verimliliği 2011-2012 yılları için analiz edilmiştir. Küçük ölçekli firmaların büyük ölçeklilere göre daha yüksek verimliliğe sahip olduğu belirlenmiş, girdi-çıkı ilişkileri Pearson korelasyonu ile desteklenmiştir.

Contuk ve diğerleri (2013), TCMB sektör bilanço verileriyle imalat sektöründeki firmaların etkinlik düzeyleri 2009-2010 döneminde analiz edilmiştir. Çalışma, imalat sektöründeki performans ölçümünün artan rekabet ortamında önemine dikkat çekmiştir.

Özek (2015), BİST'te işlem gören 105 imalat firmasının 2005-2013 dönemi etkinlik analizinde, birçok firmanın etkin olmadığı ve 2011 sonrası etkinlik düzeyinde düşüş yaşandığı tespit edilmiştir. Ayrıca, etkinlik düzeyi ile firma değeri arasındaki ilişki incelenmiştir.

² Araştırmanın ilerleyen bölümlerinde kelime tekrarı ve mükerrer ifadelerden kaçınmak için *enflasyon düzeltmesinden önce* ifadesi için *düzeltilme öncesi*, *enflasyon düzeltmesinden sonra* ifadesi için de *düzeltilme sonrası* ifadesi kullanılmıştır.

Rezitis ve Kalantzi (2016), Yunan yiyecek ve içecek imalat sektöründe 1984-2007 dönemi teknik verimlilik analizi yapılmıştır. Çalışmada işgücü ve sermaye verimliliği teknik verimlilik üzerinde olumlu etki yaparken, genel verimlilik düzeyinde düşüş eğilimi gözlenmiştir.

Çelik ve Ayan (2017), BİST imalat sektöründe 2010-2014 dönemi etkinlik analizi, mali tablolardan elde edilen verilerle yapılmıştır. Beş yıllık analizde, etkin olmayan firmalar için öneriler sunulmuş ve girdi kullanımlarında iyileşme kaydedildiği tespit edilmiştir.

Fapohunda ve diğerleri (2017), Nijerya'daki 20 üretim şirketinin 2015-2016 dönemi teknik verimlilik analizi yapılmıştır. Sabit ve değişken ölçeğe göre getiriler kapsamında firmaların %30-40'ının verimli olduğu belirlenmiştir.

Özçelik ve Kandemir (2017), BİST'te işlem gören imalat işletmelerinin 2012-2014 dönemi finansal performansları analiz edilmiştir. Cari oran, likidite oranı ve stok devir hızı gibi girdiler ile net kâr marjı ve aktif kârlılık oranları kullanılarak etkinlik düzeyleri değerlendirilmiştir.

Smriti ve Khan (2017), Bangladeş'teki 1007 imalat firmasının verimlilik düzeyleri 2013 verileriyle analiz edilmiştir. Firmaların %29'unun verimli olduğu belirlenmiş, elektrik kesintisi ve sektörel deneyim gibi faktörlerin verimsizlik üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir.

Yıldız ve diğerleri (2020), BİST'te işlem gören 155 imalat firmasının finansal performansları 2016-2019 dönemi için analiz edilmiştir. CCR modeline göre %29, BCC modeline göre %47 oranında firmaların etkin olduğu bulunmuştur.

Erena ve diğerleri (2021), 2010-2017 döneminde 43 imalat alt sektörünün teknik verimlilik puanları ve belirleyicileri analiz edilmiştir. Kamu alt sektörlerinin özel sektörlerle göre daha düşük verimliliğe sahip olduğu ve sermaye harcamalarının teknik verimliliği artırdığı tespit edilmiştir.

Wang ve diğerleri (2021), Vietnam balıkçılık sektörünün 2015-2018 dönemindeki performansını VZA ve Malmquist modeli ile analiz etmiştir. Çalışmada, teknik verimlilik, teknolojik ilerleme ve toplam faktör verimliliği incelenmiş, sektörün iş verimliliğini artırmaya yönelik önemli bulgular elde edilmiştir.

Lee ve diğerleri (2023), VZA ile Malezya'daki listelenen lojistik şirketlerinin operasyonel risk faktörleriyle verimliliğini analiz etmiştir. Çalışma, temel gösterge yaklaşımını (BIA) çıktı değişkeni olarak kullanmış ve modelin finans ve inşaat sektörlerinde de uygulanabilir olduğunu ortaya koymuştur.

Yaşar ve Yavuz (2024), 2010-2017 döneminde BİST 100 imalat işletmelerinin toplam faktör verimliliklerini Malmquist toplam faktör verimlilik (MTFV) endeksi ile analiz etmiş, yıllık %26,9 verimlilik artışının teknik etkinlik ve teknolojik ilerlemeden kaynaklandığını tespit etmiştir.

Özdemir ve Sağlam (2024), ISO 500 listesindeki tekstil firmalarının performans yönetimindeki etkinliklerini Veri Zarflama Analizi (VZA) ve Kümeleme Analizi kullanarak değerlendirmiştir. Çalışmada, çalışan sayısı, özkaynak ve aktif toplam girdi; üretimden satışlar, FAVÖK ve ihracat ise çıktı değişkenleri olarak belirlenmiştir. Analiz sonucunda etkin ve etkin olmayan firmalar tespit edilmiş, etkin olmayan firmalar için iyileştirme önerileri sunulmuştur.

Ergün (2024), demir çelik sektöründe dolaylı ihracat değeri yüksek ülkelerin etkinliğini VZA ile analiz etmiş, 2008-2020 verilerini kullanarak ekonomik ve sürdürülebilirlik göstergelerini değerlendirmiştir.

Kılıç (2025), BİST Ana Metal Sanayi alt sektöründe 2018-2022 dönemi etkinlik analizini VZA ve süper etkinlik modeli ile gerçekleştirmiştir. Sonuçlar, bazı işletmelerin sürekli etkin olduğunu, bazılarının ise zamanla performanslarını artırdığını göstermiştir. 2022 itibarıyla sektör genelinde etkinlik seviyesinin yükseldiği tespit edilmiştir.

Literatürde genel performans ve etkinlik ölçümü üzerine yapılan çalışmaların olmasına karşın, enflasyon düzeltmesinin etkinlik seviyesine etkisini ele alan ve bu kapsamda VZA yöntemini kullanan bir araştırmaya rastlanılmamıştır. Ayrıca 2022 yılı finansal tablolarının hem enflasyon düzeltmesinin uygulanmış haliyle hem de enflasyon düzeltmesinin uygulanmamış haliyle yayımlanması, işletmelerde enflasyon düzeltmesi uygulamasının etkin olup olmadığını net olarak göstereceği beklentisi araştırmanın yapılması fikrini olgunlaştırmıştır. Çalışmanın hem imalat sektörü özelinde hem de enflasyon düzeltmesinin muhasebe uygulamalarının etkinliği üzerindeki yansımalarını analiz etmesi bakımından literatüre özgün bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

3. YÖNTEM

3.1. Veri Zarflama Analizi

Veri Zarflama Analizi (VZA), ilk kez Farrell (1957) tarafından ortaya atılan etkinlik kavramı temelinde geliştirilmiş ve 1978 yılında Charnes, Cooper ve Rhodes (CCR modeli) tarafından genişletilerek bilimsel

literatüre kazandırılmıştır. VZA, doğrusal programlama temelli parametrik olmayan bir analiz aracı olup, benzer girdileri kullanarak benzer çıktılar üreten karar verme birimlerinin (KVB) göreceli etkinliklerini ölçmeyi amaçlayan bir yöntemdir (Soba ve Akcanlı, 2012; Tosunoğlu ve Uysal, 2012). VZA'nın temel amacı, homojen birimlerin etkinlik sınırına göre performanslarını değerlendirmek ve etkin olmayan birimlerin iyileştirilmesi için öneriler sunmaktır (Salimi Altan, 2010; Kaya ve diğerleri, 2011).

Parametrik olmayan yapısıyla VZA, analitik üretim fonksiyonuna ihtiyaç duymadan çoklu girdi ve çıktıyı analiz etmektedir (Yıldız ve diğerleri, 2020; Tosunoğlu ve Uysal, 2012). Kamu ve özel sektörde yaygın kullanılan yöntemin avantajları arasında çoklu değişken analizi ve stratejik öneriler sunabilme yer alırken, dezavantajları arasında değişken seçimine duyarlılık ve uç değerlere hassasiyet bulunmaktadır (Ergün, 2024; Asker, 2021).

VZA'nın temel ve en yaygın kullanılan iki modeli, CCR (ölçeğe göre sabit getiri) ve BCC (ölçeğe göre değişken getiri) modelleridir. CCR modeli toplam etkinliği ölçerken, BCC modeli teknik etkinliği ve ölçek etkinliğini ayrı ayrı değerlendirir (Asker, 2021; Çelik ve Ayan, 2017). Analiz iki temel yaklaşımla uygulanabilir (Tosunoğlu ve Uysal, 2012; Koçyiğit, 2016): Girdi Yönelimli Modeller, belirli bir çıktı bileşimi için minimum girdiyi belirlemeyi, Çıktı Yönelimli Modeller ise belirli bir girdi bileşimi ile maksimum çıktıyı elde etmeyi hedeflemektedir. VZA analizinde şu adımlar takip edilmektedir (Salimi Altan, 2010; Derici ve Uygur, 2019):

- Karar verme birimlerinin (KVB) seçimi,
- Girdi ve çıktı değişkenlerinin belirlenmesi,
- Verilerin güvenilirliğinin sağlanması,
- Etkinlik skorlarının hesaplanması ve referans sınırlarının oluşturulması,
- Etkin olmayan birimlere yönelik iyileştirme önerilerinin sunulması,
- Sonuçların genel bir değerlendirme çerçevesinde raporlanması.

VZA'da etkinlik, bir karar biriminin ağırlıklı toplam çıktıların ağırlıklı toplam girdilere oranı olarak tanımlanmaktadır. Etkinlik skorları 0 ile 1 arasında değişir; 1 tam etkinliği, 1'den küçük değerler ise etkin olmadığını ifade eder (Koçyiğit, 2016; Kaya ve diğerleri, 2010). Etkin olmayan birimlerin etkinlik sınırına ulaşması için girdilerin azaltılması veya çıktının artırılması gereklidir (Özek, 2015; Yıldız, 2007).

VZA basitliği ve uygulanabilirliği nedeniyle hem teorik gelişim hem de farklı uygulamalar açısından literatüre katkıda bulunan çeşitli alanlarda çalışan bilim adamlarının ve araştırmacıların dikkatini çekmiş ve etkinlik ve verimlilik ölçümünde yaygın bir araç haline gelmiştir. Literatürde, VZA'nın kullanımı bankacılık ve finans, eğitim, sağlık, tarım, spor, enerji, ulaşım, iletişim, turizm, balıkçılık, ormancılık, su, gayrimenkul, otomobil, inşaat ve e-ticaret gibi çok çeşitli alanlara yayılmıştır. Emrouznejad ve Yang'ın (2018) çalışmalarına göre, VZA üzerine yapılan akademik yayınlar 1978-2016 yılları arasında yaklaşık 10.300 makaleye ulaşmıştır ve 2014-2016 döneminde yıllık yayın sayısı 1000'i aşmıştır. 2017-2022 arasında ise 5100'den fazla makale yayımlanmıştır. Bu veriler, VZA'nın geniş bir uygulama alanı bulduğunu ve etkinlik ölçümüne yönelik artan ilgiyi açıkça göstermektedir (Emrouznejad ve Yang, 2018; Camanho ve diğerleri, 2024). Panwar ve diğerleri, (2022). Literatürde genellikle firmaların etkinlik ölçümünde kullanılan bu yöntem, aynı zamanda sektörel karşılaştırmalar ve verimlilik analizlerinde de tercih edilmektedir (Yolalan, 1993; Soba ve Akcanlı, 2012).

3.1.1. Veri Zarflama Analizi Modelleri

VZA'nın temel modelleri içerisinde yer alan ve hem girdi temelli hem çıktı temelli olarak hesaplanabilen CCR ve BCC modelleri kolay olmaları nedeniyle literatürde en çok kullanılan VZA modelleridir (Yayar ve Çoban, 2012). Bu modeller, ilk aşamada VZA'nın tasarlanmasına yardımcı olmuş ve ayrıca VZA'nın diğer çeşitlerinin temelini oluşturmaktadır (Panwar ve diğerleri, 2022). Bu çalışmada, VZA yönteminin uygulanmasında CCR modeli tercih edilmiş olup, bu doğrultuda CCR modelinin özelliklerine ilişkin bilgilere yer verilmiştir.

CCR modeli, Charnes, Cooper ve Rhodes tarafından 1978 yılında ölçeğe göre sabit getiri varsayımıyla geliştirilmiştir ve bu üç akademisyenin isimlerinin baş harflerinden oluşmaktadır. Bu model, toplam etkinlik değerini ölçen ilk VZA modelidir (Panwar ve diğerleri, 2022; Yaşar, 2019). CCR modeli, doğrusal programlama temeline dayanan parametrik olmayan bir yöntemdir ve karar verme birimlerinin (KVB) göreceli etkinliğini analiz etmek için tasarlanmıştır. CCR modeli, herhangi bir analitik fonksiyona bağlı kalmaksızın gözlem değerlerine dayanarak etkin bir sınır oluşturmayı ve bu sınır üzerinden KVB'lerin etkinliklerini değerlendirmeyi hedeflemektedir (Yıldız, 2007). CCR modeli, girdi ve çıktı temelli olarak iki farklı şekilde analiz edilebilir. Ancak, her iki durumda da etkinlik sınırı değişmez ve etkin olmayan KVB'ler için farklı iz düşüm değerleri temel alınmaktadır. Girdi yönelimli bir CCR modelinde etkin olan bir KVB, çıktı yönelimli modelde de etkin kabul edilmektedir. CCR modelinde toplam etkinlik ölçümü yapılırken, bir KVB'nin hem teknik etkinlik hem de ölçek etkinliği açısından etkin olması beklenir (Asker, 2021). CCR modeli toplam etkinliği ölçmekte olup, toplam etkinlik skoru teknik etkinlik ile ölçek etkinliği değerlerinin çarpımına eşittir (Özek, 2015). Bu modelin temel varsayımı, tüm KVB'lerin ölçeğe göre sabit getiri altında faaliyet gösterdiği

kabulüddür. Bu sayede, etkinlik sınırına ulaşamayan KVB'lerin etkinliğini artırmak için gerekli stratejik değişiklikler belirlenebilir (Asker, 2021).

3.1.2. Süper Etkinlik Modeli

VZA kapsamında geliştirilen süper etkinlik modeli, etkin birimlerin kendi aralarında sıralanmasını sağlayan bir yöntemdir. CCR ve BCC modelleri, KVB'lerin etkinlik skorlarını hesaplamada yaygın olarak kullanılmakta olup, etkin birimlerin etkinlik skoru 1 olarak belirlenirken, etkin olmayan birimler için girdi yönelimli modellerde 1'den küçük, çıktı yönelimli modellerde ise 1'den büyük etkinlik skorları elde edilmektedir (Kutlar ve Bakırcı, 2018; Yaşar, 2019). Ancak bu modeller, yalnızca etkin ve etkin olmayan birimleri belirleyebilmekte, etkin birimler arasında sıralama yapamamaktadır.

Bu eksikliği gidermek amacıyla 1993 yılında Andersen ve Petersen tarafından süper etkinlik modeli geliştirilmiştir. Model, etkin birimleri diğer birimlerle karşılaştırarak görece etkinlik düzeylerini belirlemekte ve sıralamaktadır. Süper etkinlik modelinde, incelenen bir KVB, diğer tüm KVB'lerin doğrusal bileşimi ile kıyaslanmakta ve bu nedenle referans kümesinden çıkarılmaktadır (Andersen ve diğerleri, 2004; Kutlar ve Bakırcı, 2018). Bu yaklaşım, etkin KVB'lerin girdilerinde maksimum artışa olanak tanırken, referans kümesinden çıkarılan birimin girdi vektöründe de artış meydana getirmektedir.

Süper etkinlik modelinde, en yüksek etkinlik skoruna sahip KVB birinci sıraya yerleşirken, en düşük etkinlik skoruna sahip KVB son sırada yer almakta ve tüm birimler büyükten küçüğe doğru sıralanmaktadır. Bu yöntem sayesinde yalnızca etkin ve etkin olmayan birimler belirlenmekle kalmaz, aynı zamanda etkin KVB'ler arasında görece etkinlik düzeyleri açısından bir sıralama yapılması da mümkün hale gelmektedir. Etkin olmayan KVB'lerin süper etkinlik değerleri, görece etkinlik değerleri ile aynı olduğundan, bu birimlerin sıralamalarında herhangi bir değişiklik meydana gelmemektedir. Süper etkinlik modeli, CCR modelinin etkinlik skoru 1 olan karar birimlerini ayırt edememe eksikliğini gidererek, etkin birimler arasında hassas bir sıralama yapılmasını sağlamaktadır. Bu yönüyle model, VZA'nın analitik kapasitesini artırarak etkinlik analizinin daha ayrıntılı bir şekilde yapılmasına olanak tanımaktadır (Yaşar, 2019).

3.2. Araştırmanın Amacı

Çalışmada, BİST imalat sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin uygulamış olduğu enflasyon düzeltmesinin firmaların etkinliği üzerindeki etkisinin belirlenmesi ve etkin olan işletmelerin kendi içerisinde sıralanması amaçlanmıştır.

3.3. Araştırmanın Yöntemi

Bu çalışmada, işletmelerin enflasyon düzeltme öncesi ve sonrası etkinlik seviyelerinin belirlenmesi amacıyla Veri Zarflama Analizi (VZA) kapsamında girdi yönelimli, ölçeğe göre sabit getirili CCR-I modeli kullanılmıştır. Etkin işletmelerin kendi aralarındaki sıralamalarını belirlemek amacıyla süper etkinlik modeli uygulanarak, etkinlik sınırını oluşturan işletmeler arasında göreceli bir kıyaslama yapılmıştır. Model seçiminde, girdilerin ve çıktıların kontrol edilebilirliği temel belirleyici unsur olup, çıktıların yönetsel kararların bir sonucu olduğu durumlarda girdi odaklı bir modelin kullanılması daha uygun görülmektedir (Özçelik ve Kandemir, 2017). Çalışmada kullanılan çıktılar (net kâr, aktif kârlılık ve öz kaynak kârlılığı) yönetsel süreçlerin bir sonucu olarak değerlendirilmiş, ayrıca negatif net dönem kârlarının normalize edilmesi sonucunda orijinal değerlerini kaybetmesi, çıktı yönelimli bir modelin kullanılmasını anlamsız hale getirmiştir. Bu nedenle, girdi yönelimli CCR-I modelinin kullanılması tercih edilmiştir (Özek, 2015). CCR-I modeli, karar birimlerinin girdileri nasıl kullandığını sabit getirili ölçek varsayımı altında ölçerek, işletmelerin enflasyon düzeltme öncesi ve sonrası etkinlik değişimlerini karşılaştırmaya olanak sağlamıştır. Bu modelin kullanılması, işletmelerin enflasyon düzeltmesi sonrası performanslarını daha gerçekçi bir şekilde değerlendirmeyi mümkün kılmıştır. VZA modellerinden olan ve çalışmada kullanılan CCR-I modeli ile etkin olan işletmeler belirlenmiş olup daha sonra etkin olan işletmelerin ne kadar etkin olduğunun belirlenmesi için de süper etkinlik modeli kullanılarak etkin olan işletmeler kendi içlerinde en etkin olandan daha az etkin olan işletmelere doğru sıralanmıştır.

3.4. Araştırmanın Veri Seti ve Değişkenleri

Araştırma, 2022 yılı itibarıyla BİST imalat sektöründe faaliyet gösteren toplam 198 işletme arasından, BİST 100 endeksi kapsamında yer alan ve imalat sektöründe faaliyet gösteren 39 işletmeye odaklanmaktadır. Çalışmada kullanılan veriler, Kamuoyunu Aydınlatma Platformu (KAP) üzerinden temin edilen yıllık finansal durum tabloları, kapsamlı gelir tabloları ve bağımsız denetim raporlarından elde edilmiştir. Çalışmanın referans yılı olan 2022'de, işletmeler hem enflasyon düzeltmesi uygulanmamış hem de enflasyon düzeltmesi uygulanmış finansal tablolarını yayımlamıştır. Bu doğrultuda, çalışmada her iki veri seti kullanılarak işletmelerin etkinlik seviyeleri karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

Araştırmada kullanılan veriler, işletmelerin yıllık finansal durum tabloları ve kapsamlı gelir tabloları, yayımlanan bağımsız denetim raporlarından elde edilmiş ve VZA yöntemi çerçevesinde CCR-I ve süper

etkinlik modelleri ile analiz edilmiştir. Bu yöntemler aracılığıyla işletmelerin etkinlik seviyeleri değerlendirilmiş ve sektör içindeki sıralamaları belirlenmiştir.

Karar Verme Birimlerinin Belirlenmesi ve Homojenliğin Sağlanması: Karar verme, belirli bir hedef doğrultusunda mevcut alternatifler arasından en uygun olanını seçme sürecidir (Oruç ve diğerleri, 2024). VZA çalışmalarında karar verme birimlerinin (KVB) etkin bir şekilde belirlenmesi ve analizde kullanılan girdi-çıkıtı değişkenlerinin doğru tanımlanması, analiz sonuçlarının doğruluğunu ve güvenilirliğini doğrudan etkilemektedir (Yaşar ve Yavuz, 2024). Girdi ve çıktı değişkenlerinin sayısı arttıkça analizde kullanılan KVB sayısının da buna uygun şekilde artırılması gerekmektedir. Bu ilişki, literatürde farklı biçimlerde tanımlanmıştır. Örneğin, Vassiloğlu ve Giokas (1990) KVB sayısının girdi ve çıktı toplamının en az üç katı olması gerektiğini savunurken, Boussofiane ve diğerleri (1991) KVB sayısının girdi ve çıktı sayıları toplamından en az bir fazla olması gerektiğini ifade etmiştir. Cooper ve diğerleri (2000), KVB sayısının girdi ve çıktı değişkenlerinin toplamının en az iki katı olması gerektiğini belirtmiştir. Benzer şekilde, Ertuğrul ve Işık (2008), toplam değişken sayısının iki katı kadar KVB olması gerektiğini; Behdioğlu ve Özcan (2009) ise KVB sayısının en az $k + t + 1$ (k : girdi sayısı, t : çıktı sayısı) olması gerektiğini vurgulamıştır (Can Sağlam, 2023; Behdioğlu ve Özcan, 2009; Ertuğrul ve Işık, 2008).

Tablo 1. Araştırmaya dahil edilen BİST 100 imalat şirketleri bilgileri

Sıra No	İşletmenin Borsa Kodu	İşletmenin Unvanı
1	AEFES	Anadolu Efes Biracılık ve Malt Sanayii A.Ş.
2	AKSA	Aksa Akrilik Kimya Sanayii A.Ş.
3	ARCLK	Arçelik A.Ş.
4	BAGFS	Bagfaş Bandırma Gübre Fabrikaları A.Ş.
5	BRISA	Brisa Bridgestone Sabancı Lastik Sanayi ve Ticaret A.Ş.
6	BRSAN	Borusan Birleşik Boru Fabrikaları Sanayi ve Ticaret A.Ş.
7	BUCIM	Bursa Çimento Fabrikası A.Ş.
8	CCOLA	Coca-Cola İçecek A.Ş.
9	CEMTS	Çemtaş Çelik Makina Sanayi ve Ticaret A.Ş.
10	CIMSA	Çimsa Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş.
11	DEVA	Deva Holding A.Ş.
12	EGEEN	Ege Endüstri ve Ticaret A.Ş.
13	ERBOS	Erbosan Erciyas Boru Sanayi ve Ticaret A.Ş.
14	EREGL	Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş.
15	FROTO	Ford Otomotiv Sanayi A.Ş.
16	GUBRF	Gübre Fabrikaları T.A.Ş.
17	HEKTS	Hektaş Ticaret T.A.Ş.
18	ISDMR	İskenderun Demir ve Çelik A.Ş.
19	JANTS	Jantsa Jant Sanayi ve Ticaret A.Ş.
20	KARSN	Karsan Otomotiv Sanayii ve Ticaret A.Ş.
21	KARTN	Kartonsan Karton Sanayi ve Ticaret A.Ş.
22	KORDS	Kordsa Teknik Tekstil A.Ş.
23	KRDMA, KRDMB, KRDM	Kardemir Karabük Demir Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş.
24	OTKAR	Otokar Otomotiv ve Savunma Sanayi A.Ş.
25	OYAKC	Oyak Çimento Fabrikaları A.Ş.
26	PETKM	Petkim Petrokimya Holding A.Ş.
27	QUAGR	Qua Granite Hayal Yapı ve Ürünleri Sanayi Ticaret A.Ş.
28	SASA	Sasa Polyester Sanayi A.Ş.
29	SELGD	Selçuk Gıda Endüstri İhracat İthalat A.Ş.
30	TMSN	Tümosan Motor ve Traktör Sanayi A.Ş.
31	TOASO	Tofaş Türk Otomobil Fabrikası A.Ş.
32	TTRAK	Türk Traktör ve Ziraat Makineleri A.Ş.
33	TUKAS	Tukaş Gıda Sanayi ve Ticaret A.Ş.
34	TUPRS	Tüpraş-Türkiye Petrol Rafinerileri A.Ş.
35	ULKER	Ülker Bisküvi Sanayi A.Ş.
36	VESBE	Vestel Beyaz Eşya Sanayi ve Ticaret A.Ş.
37	VESTL	Vestel Elektronik Sanayi ve Ticaret A.Ş.
38	YATAS	Yataş Yatak ve Yorgan Sanayi Ticaret A.Ş.
39	YYLGD	Yayla Agro Gıda Sanayi ve Ticaret A.Ş.

Bu çalışmada kullanılan KVB sayısı, literatürde önerilen bu kriterleri karşılamakta ve analizin güvenilirliğini sağlamaktadır. KVB'lerin belirlenmesi, VZA sürecinin en kritik adımı olup, homojenlik şartının sağlanması da önem taşımaktadır. Golany ve Roll (1989), VZA'nın doğru sonuçlar üretebilmesi için KVB'lerin homojen yapıda olması gerektiğini vurgulamıştır. Bu bağlamda, KVB'ler aynı amaca yönelik benzer görevleri

üstlenmeli, aynı koşullarda (aynı pazar şartlarında) faaliyet göstermeli ve gruplarına ait performanslarını belirleyen faktörler bakımından ortak özellikler (yoğunluk ve büyüklük farklılıkları hariç) taşımalıdır (Kayalidere ve Kargin, 2004; Okursoy ve Tezsürücü, 2014). Bu araştırmada homojenliğin sağlanması ve sonuçların doğruluğunun artırılması amacıyla BİST 100 imalat sanayinde faaliyet gösteren işletmeler analize dahil edilmiştir.

Araştırma için Girdi ve Çıktı Değişkenlerinin Belirlenmesi: Etkinlik ölçümü, işletmelere rekabetçi piyasa koşullarında konumlarını değerlendirme fırsatı sunarken, mevcut girdileri en verimli şekilde kullanarak ideal çıktıya nasıl ulaşabileceklerini ortaya koymaktadır (Yolalan, 1993). Bu bağlamda, VZA yönteminde analiz sonuçlarının doğruluğu, sektörlerin etkinlik ölçümünde belirlenen girdi ve çıktı değişkenlerin uygun ve temsil gücünün yüksel oluşuna bağlıdır. Bu çalışmada, Tablo 2’de sunulan değişkenler, literatürde yaygın olarak kabul gören finansal oranlar ile sektörün özellikleri ve benzer çalışmalar dikkate alınarak belirlenmiştir (Ata ve Yakut, 2009; Kılınç ve Konuşkan, 2022; Özçelik ve Kandemir, 2017). Bu seçim, BİST 100 İmalat Sanayi sektöründe güvenilir ve karşılaştırmalı bir etkinlik analizi yapılmasını desteklemektedir.

Tablo 2. Çalışmada kullanılan girdi ve çıktı değişken bilgileri

	Kodlar	Değişkenler	Tanımlamalar
Girdiler	SDH	Stok Devir Hızı	Satılan Malın Maliyeti / Ortalama Stok
	ÖDH	Öz Kaynak Devir Hızı	Net Satışlar / Öz Kaynaklar
	MDVO	Maddi Duran Varlık Oranı	Maddi Duran Varlık / Aktif Toplamı
	SDH	Stok devir hızı, işletmenin stoklarını belirli bir dönemde kaç kez yenilediğini ve satışa dönüştürdüğünü gösteren önemli bir faaliyet oranıdır (Lazol, 2004). İmalat sektöründe bu oran, firma etkinliğini ve finansal performansı değerlendirmede kritik bir ölçüt olup, stok yönetiminde aşırı ya da yetersiz stok bulundurma maliyetlerini dengelemede yol göstericidir (Akdoğan ve Tenker, 2007:659-660; Ata ve Yakut, 2009). Literatürde sıklıkla kullanılan bu oran, Yaşar ve Yavuz (2024) ile Özçelik ve Kandemir (2017) tarafından girdi değişkeni olarak değerlendirilmiştir.	
Çıktılar	ÖDH	Özkaynak devir hızı, sermayenin etkin kullanımını göstermektedir. Yüksek bir öz kaynak devir hızı, işletmenin öz kaynaklarını verimli kullandığını ve satışlarını artırdığını ifade etmektedir. İmalat sektöründe faaliyet gösteren firmalar için öz kaynak devir hızları, öz kaynakların etkin kullanımını ve satışlara dönüşüm hızını göstererek, işletmenin kârlılığı hakkında önemli bilgiler sunabilmektedir.	
	MDVO	Duran varlıkların toplam aktife oranıdır. Enflasyon muhasebesi, duran varlıkların değer kayıplarını düzelterek bu varlıkların işletme üzerindeki yükünü veya katkısını daha gerçekçi bir şekilde gösterebilmektedir. Bu oran işletmenin sermaye yapısını analiz etmek için kullanılabilir.	
	NKM	Net Kâr Marjı	Net Kâr / Net Satışlar
	ÖK	Özkaynak Kârlılığı	Net Kâr / Özkaynaklar
Çıktılar	AK	Aktif Krlılık	Net Kâr / Aktif Toplam
	NKM	Net kâr marjı, işletmenin satış gelirlerinden tüm giderler düşıldükten sonra elde ettiği net kârın satış gelirlerine oranını ifade eden temel bir kârlılık göstergesidir. İmalat sektöründe yüksek net kâr marjı, etkin maliyet yönetimini ve işletmenin finansal gücünü yansıtmaktadır. Soba ve Akcan (2012), bu oranın kârlılık analizlerinde kritik bir rol oynadığını vurgulamış, Yaşar ve Yavuz (2024) ise çalışmalarında net kâr marjını çıktı değışkeni olarak değeriendirmiştir.	
	ÖK	Özkaynak kârlılığı, İşletmenin özkaynaklarını ne kadar verimli kullandığını ve yatırımcılara sağladığı getiriye ölçen önemli bir göstergedir. Yüksek bir özkaynak kârlılığı, işletme performansının olumlu bir göstergesi olarak yatırımcılar ve yöneticiler için önemli bir performans göstergesi olarak büyük önem taşımaktadır. Özçelik ve Kandemir (2017) bu oranı çalışmalarında çıktı değışkeni olarak kullanmışlardır (Okka, 2015:121; Akyüz ve diğeri, 2015)	
	AK	Aktif kârlılığı, işletmenin toplam varlıklarını ne kadar etkin bir şekilde kâra dönüştürdüğünü gösteren önemli bir finansal göstergedir. Net kârın toplam varlıklara bölünmesiyle hesaplanan bu oran, varlıkların kârlı kullanımını ve genel performansı değeriendirmede kritik bir role sahiptir (Okka, 2015:140; Akyüz ve diğeri, 2015). Enflasyon muhasebesi uygulamaları kapsamında bu oran, performans değeriendirmesi ve kârlılık analizleri için değeri bir ölçüt olarak öne çıkmaktadır. Özçelik ve Kandemir (2020), aktif kârlılık oranının işletmelerin performansını analiz etmede önemli bir gösterge olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca, Yaşar ve Yavuz (2024) çalışmalarında bu oranı çıktı değışkeni olarak kullanmışlardır.	

Net dönem kârının bazı dönemlerde ve şirketlerde negatif değer alması nedeniyle hesaplanan kârlılık oranlarının da negatif olması veri zarflama analizinde pozitiflik varsayımını ihlal etmektedir. Bu nedenle, çalışmada çok sınırlı bulunan ilgili değerler normalizasyon yöntemiyle pozitif değerlere dönüştürülmüştür.

4. BULGULAR

4.1. Temel İstatistik Bulguları

Araştırma kapsamında kullanılan BİST 100 kapsamında faaliyetini sürdüren 39 imalat işletmesinin 2022 yılına ait bilanço ve gelir tablosu verileriyle hesaplanan finansal oranların oluşturduğu girdi ve çıktı değişkenlerinin temel istatistiksel değerleri aşağıdaki Tablo 3'te sunulmuştur. Ayrıca, işletmelerin düzeltme öncesi ve sonrası 2022 yılına ait girdi ve çıktı verileri Ek'te Tablo A1 olarak yer almaktadır.

Tablo 2. Araştırmada kullanılan değişkenlere ait istatistiksel veriler

Değişkenler	En Yüksek Değer		En Düşük Değer		Ortalama		Standart Sapma	
	Öncesi	Sonrası	Öncesi	Sonrası	Öncesi	Sonrası	Öncesi	Sonrası
Girdi Stok Devir Hızı	16,4223	19,612	0,0065	0,0023	4,1976	4,7756	3,1547	3,7871
Girdi Öz Kaynak Devir Hızı	8,0271	6,3071	0,0010	0,0011	2,7945	2,2906	1,8833	1,4891
Maddi Duran Varlık Oranı	0,5448	0,5448	0,0431	0,0891	0,2534	0,3103	0,1167	0,1225
Çıktı Net Kâr Marjı	0,4218	1,1374	0,0071	0,0001	0,1554	0,1725	0,1124	0,1906
Çıktı Öz Kaynak Kârlılığı	0,4174	0,4939	0,0001	0,0001	0,1429	0,1268	0,1046	0,1121
Aktif Kârlılığı	0,8697	0,6466	0,0002	0,0001	0,3432	0,2517	0,2353	0,1870

Not: "Öncesi", enflasyon düzeltme öncesi 2022 yılı finansal verileri; "Sonrası", enflasyon düzeltme sonrası 2022 yılı finansal verileri ifade etmektedir.

Araştırmada kullanılan 2022 yılı girdi ve çıktı değişkenlerine ait temel istatistiksel değerler, düzeltme öncesi ve sonrası değerler olarak karşılaştırılmıştır. Tablo 3'te gösterilen bu bulgulara göre; düzeltme sonrası, stok devir hızı ve maddi duran varlık oranında genel bir artış olduğu gözlenmiştir. Bu artış enflasyon düzeltmesinin bu girdiler üzerinde reel bir değerlendirme etkisini göstermektedir. Bununla birlikte öz kaynak devir hızı, öz kaynak kârlılığı ve aktif kârlılığında genel olarak bir düşüş eğilimi gözlenmiştir. Bu düşüşler, enflasyon düzeltmesinin işletmelerin finansal performansı üzerinde farklı etkiler oluşturduğunu ve bu çıktılar açısından olumsuz bir tablo ortaya koyduğunu göstermektedir. Öz kaynak devir hızındaki düşüş, öz kaynakların reel değer artışı karşısında net satışların aynı oranda artış göstermemesiyle ilişkilendirilebilir. Benzer şekilde, öz kaynak kârlılığı ve aktif kârlılıkta gözlenen gerilemeler, düzeltme sonrası net kâr seviyesindeki değişimlerin bu çıktıları negatif yönde etkilediğini göstermektedir. Bu bulgular, enflasyon düzeltmesinin farklı girdiler ve çıktılar üzerinde farklı etkiler oluşturduğunu ve işletmelerin finansal performans değerlendirmesinde bu etkilerin dikkatlice analiz edilmesi gerektiğini göstermektedir.

4.2. CCR-I Analizi Bulguları

Araştırmada, 2022 yılına ait veriler kullanılarak, BİST 100 bünyesinde imalat sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin etkinlik seviyeleri CCR-I modeli ile analiz edilmiş ve elde edilen etkinlik puanları Tablo 4'te sunulmuştur. Analiz sürecinde, DEA-Solver LV paket programı kullanılarak işletmelerin etkinlik düzeyleri hesaplanmıştır. Girdi odaklı bu model kapsamında yapılan değerlendirmelerde etkinlik puanı "1" (yüzde 100) olan işletmeler, girdilerini en verimli şekilde kullanarak çıktıları maksimize eden etkin işletmeler olarak kabul edilmiştir. Buna karşılık, etkinlik puanı "1" ile "0" arasında olan işletmeler de tam etkinlik seviyesine ulaşamamış ve kaynak kullanımında iyileştirme potansiyeline sahip etkin olmayan işletmeler olarak değerlendirilmiştir. Bu analiz, düzeltme öncesi ve sonrası veriler ışığında işletmelerin kaynak kullanım etkinliğini ölçerek performanslarının değerlendirilmesine katkı sağlamaktadır.

Girdi odaklı CCR-I etkinlik analizi kapsamında enflasyon düzeltmesi öncesi ve sonrası etkinlik seviyeleri karşılaştırılmış ve tespit edilen farklılıklar Tablo 4'te sunulmuştur. Düzeltme öncesinde işletmelerin ortalama etkinlik skoru 0,5404 iken, düzeltme sonrası bu skurun 0,4619'a gerilediği görülmüştür. Düzeltme sonrasında 39 işletmeden 25'inin etkinlik seviyelerinde düşme, 11'inin etkinlik seviyelerinde artış, 3 işletmenin etkinlik seviyesinde de herhangi bir değişim görülmemiştir. Etkinlik seviyelerinde ve sayılarında oluşan bu azalma, enflasyon düzeltmesinin işletmelerin girdilerini çıktılarına dönüştürme kapasitesinde genel bir düşüşe neden olduğunu ortaya koymaktadır. Düzeltme öncesi etkin (etkinlik skoru 1) işletme sayısı 10 iken, düzeltme sonrası bu sayı 7'ye düşmüştür. Düzeltme öncesi tam etkin olan 10 işletmeden (BAGFS, CCOLA, CEMTS, CIMSA, DEVA, EGEEN, OTKAR QUAGR, SELGD, TOASO ve TTRAK) sadece 3'ü (CIMSA, OTKAR ve SELGD) düzeltme sonrasında da tam etkinliğini koruyabilmiştir. Diğer 7 işletmenin etkinlik seviyesi azaldığı için bu işletmeler tam etkinlikten çıkmıştır. Bu durum, enflasyon düzeltmesinin bazı işletmelerin etkinliklerini koruyamadığını göstermektedir. Düzeltme öncesi 29 işletme, etkin olmayan işletme kategorisindeyken düzeltme sonrası bu sayı 32'ye yükselmiştir. Görülen bu artış, işletmelerin

girdilerini yeterince verimli kullanamadığını ve enflasyon düzeltmesinin bu durumu olumsuz etkilediğini göstermektedir.

Etkinliği Artan İşletmeler: Düzeltme sonrası etkinlik seviyesi artan 11 işletmeden AEFES, BRSAN, BUCIM, EREGL ve ULKER, etkinlik seviyelerini %100'den daha fazla arttırmıştır. Örneğin BUCIM'ın etkinlik seviyesi 0,1672'den 0,6094'e yükselmiştir. Bu işletmelerden BRSAN ve EREGL düzeltme sonrası tam etkinlik seviyesine ulaşmış bu durum da kaynak yönetiminde sağlanan iyileşmeleri göstermektedir. Diğer işletmelerinde etkinlik seviyelerinde ciddi artışlar gözlenmiştir. Bu durum, girdilerin verimli kullanımında ve çıktıların maksimize edilmesinde önemli bir gelişme olduğunu göstermektedir.

Tablo 3. Enflasyon düzeltme öncesi ve sonrası CCR-I etkinlik değerleri

Sıra No	İşletmenin Borsa Kodu	Öncesi	Sonrası
1	AEFES	0,1638	0,3531
2	AKSA	0,5080	0,2836
3	ARCLK	0,1904	0,2379
4	BAGFS	1	0,6195
5	BRISA	0,6004	0,2855
6	BRSAN	0,1636	1
7	BUCIM	0,1672	0,6094
8	CCOLA	0,2134	0,4042
9	CEMTS	1	0,2859
10	CIMSA	1	1
11	DEVA	1	0,3441
12	EGEEN	1	0,6353
13	ERBOS	0,5963	0,1674
14	EREGL	0,4232	1
15	FROTO	0,4632	0,5155
16	GUBRF	0,1227	0,0883
17	HEKTS	0,6339	0,5856
18	ISDMR	0,3185	0,2872
19	JANTS	0,6301	0,234
20	KARSN	0,1449	0,0001
21	KARTN	0,7012	0,2196
22	KORDS	0,2341	0,3497
23	KRDMA, KRDMB, KRDM	0,2422	0,103
24	OTKAR	1	1
25	OYAKC	0,8066	1
26	PETKM	0,3321	0,0136
27	QUAGR	1	0,7558
28	SASA	0,9599	0,8703
29	SELGD	1	1
30	TMSN	0,4998	0,1783
31	TOASO	1	0,7805
32	TTRAK	1	0,8487
33	TUKAS	0,5330	1
34	TUPRS	0,3523	0,2637
35	ULKER	0,0275	0,1777
36	VESBE	0,1608	0,0492
37	VESTL	0,0880	0,0604
38	YATAS	0,3590	0,14
39	YYLGD	0,4393	0,2668
Ortalama		0,5404	0,4619
Etkin işletme sayısı		10	7
Etkin olmayan işletme sayısı		29	32

Etkinliği Azalan İşletmeler: Düzeltme sonrası etkinlik seviyelerinde düşüş görülen 25 işletmeden BRISA, CEMTS, DEVA, JANTS, KARSN, KARTN, KRDMB-MB-MD, PETKIM, TMSN, VESBE ve YATAS, %50'ün üzerinde bir azalma göstermiştir. Örneğin, BRISA'nın etkinlik seviyesi 0,6004'ten 0,2855'e, PETKM'in 0,3321'den 0,0136'ya, JANTS ve KARSN sırasıyla 0,6301'den 0,2340 ve 0,1449'dan 0,0001'e gerileyerek önemli düşüşler sergilemiştir. Ayrıca, etkinlik seviyesi düşen işletmelerden BAGFS, CEMTS, DEVA, EGEEN, QUAGR, TOASO ve TTRAK, düzeltme öncesi etkin seviyede olduğu görülürken, düzeltme sonrası etkinlik seviyelerindeki düşüş ile bu statülerini kaybetmişlerdir. Örneğin, DEVA ve EGEEN sırasıyla 0,3441

ve 0,6353 değerlerine gerileyerek etkinlik kaybı yaşamışlardır. Görülen bu durum kaynak yönetimindeki olumsuzluğu ve çıktıların yeterince artırılmadığını göstermektedir.

Sabit Etkinlik Seviyesi Olan İşletmeler: CIMSİ, OTKAR ve SELGD her iki dönemde de tam etkinlik seviyesini korumuşlardır. Bu bulgular, işletmelerin girdilerini etkili bir şekilde kullandıklarını, başarılarını sürdürdüklerini ve çıktı üretiminde istikrarlı olduklarını göstermektedir.

Genel anlamda elde edilen bu bulgular, enflasyon düzeltmesi sonrası işletmelerin etkinlik seviyelerinde farklı yönlerde değişimlerin yaşandığını göstermektedir. Genel olarak, enflasyon düzeltmesinin işletmelerin girdilerini değerlendirme kapasitesini etkilediği ve çıktıların beklenen seviyede artmadığı durumlarda işletmelerin etkinlik kaybına neden olduğunu göstermektedir.

4.3. Süper Etkinlik Analizi Bulguları

Araştırma kapsamında, aynı sektörde faaliyet gösteren ve CCR-I modeli ile etkin olarak belirlenen işletmelerin kendi aralarındaki sıralamalarını belirlemek amacıyla süper etkinlik analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sürecinde, işletmelerin etkinlik seviyelerini daha ayrıntılı değerlendirmek ve tam etkin olarak sınıflandırılan işletmeler arasındaki farkları ortaya koymak amacıyla *DEA-Solver LV paket programı* kullanılmıştır. Bu analiz, işletmelerin tam etkinlik seviyesine ulaştığı durumlarda dahi birbirleri arasındaki etkinlik farklarını ortaya koyarak daha ayrıntılı bir değerlendirme sunmaktadır. Tablo 4'te sunulan veriler düzeltme öncesi ve sonrası dönemde işletmelerin süper etkinlik değerlerini ve sıralamalarını karşılaştırmaktadır. Analiz sonuçları, işletmelerin etkinlik skorlarında ve sıralamalarında enflasyon düzeltmesinin etkisiyle değişiklikler yaşandığını ortaya koymaktadır.

Düzeltilmesi öncesi etkin firma sayısı 10 iken, düzeltme sonrası bu sayı 7'ye düşmüştür. Bu azalma, bazı işletmelerin düzeltme sonrası tam etkinlik seviyelerini sürdüremediğini göstermektedir. Tüm firmalar arasında süper etkinlik skorlarında önemli değişiklikler gözlemlenmiştir. Bazı işletmelerde skorlar ve sıralamalar artış gösterirken, bazı işletmelerde belirgin düşüşler yaşanmıştır. Düzeltme sonrası 39 işletmeden 23'ünün etkinlik sıralaması gerilerken, 16 işletmenin etkinlik sıralamasında da artış görülmüştür.

Etkinlik Sıralaması Artan İşletmeler: Düzeltme sonrası, etkinlik sıralaması yükselen 16 işletmeden 7'si, AEFES, BRŞAN, BUCİM, CCOLA, EREGL, KORDS ve TUKAS, etkinlik sıralamalarında 10 ile 28 basamak arasında ciddi bir artış göstermiştir. Örneğin, BRŞAN'ın etkinlik skoru 0,1636'dan 1,0173'e yükselmiş ve bu artış, firmanın sıralamasını 34. basamaktan 6. basamağa taşıyarak toplamda 28 basamak ilerlemesine olanak sağlamış ve firma analizde en yüksek sıralama artışını gerçekleştirmiştir. BRŞAN'ı, sırasıyla EREGL'in 23. basamaktan 2. basamağa çıkarak toplamda 21 basamak, BUCİM'in ise 32. basamaktan 14. basamağa yükselerek 18 basamak ilerleme kaydetmesi takip etmiştir. Düzeltme sonrası etkinlik sıralaması yükselen 16 işletmeden 9'u, en fazla 9 basamaklık yükseliş sergilemiştir. Bu işletmelerden örneğin, SELGD süper etkinlik skoru 1,4998'den 4,4601'e yükselmiş ve sıralamada 4. sıradan 1. sıraya yükselmiştir.

Etkinlik Sıralaması Azalan İşletmeler: Düzeltme sonrası etkinlik sıralamasında düşüş yaşayan 23 işletmeden 8'i (CEMŞ, DEVA, EGEEN, ERBOS, JANTS, KARTN, PETKİM ve TMSN), etkinlik sıralamalarında 10 ile 16 basamak arasında önemli gerilemeler göstermiştir. Örneğin, KARTN'ın etkinlik skoru 0,7012'den 0,2196'ya düşmüş ve bu azalma firmanın sıralamasını 13. basamaktan 29. basamağa taşıyarak toplamda 16 basamak gerilemesine neden olmuştur. Böylece analizde en büyük sıralama düşüşünü kaydetmiştir. KARTN'ı, CEMŞ'in 7. sıradan 22. sıraya gerileyerek 15 basamak, ERBOS'un ise 17. sıradan 32. sıraya düşerek 15 basamak gerilemesi takip etmiştir. Bunun yanı sıra düzeltme sonrası sıralamada düşüş yaşayan 23 işletmenin 15'i, sıralamada 10 basamak ve altında gerilemeler yaşamıştır. Örneğin, EGEEN'in etkinlik skoru 3,4826'dan 0,6353'e düşerken, sıralaması 2. sıradan 12. sıraya gerilemiştir. Benzer şekilde, CIMSİ'nin etkinlik skoru 3,579'dan 1,4019'a düşmüş ve sıralaması 1'den 3'e gerilemiştir. Bu bulgular, enflasyon düzeltmesinin bazı işletmelerin etkinliğinde olumsuz sonuçlara yol açtığını açıkça ortaya koymaktadır.

Enflasyon düzeltmesi sonrası BRŞAN, EREGL ve BUCİM etkinlik sıralamasında en yüksek artışı kaydederken, SELGD ve EREGL etkinlikte en üst sıralara yükselmiştir. Buna karşılık CIMSİ ve EGEEN üst sıralardan düşüş yaşarken KARTN, CEMŞ ve ERBOS en belirgin sıralama gerilemelerini kaydetmiştir. Bu sonuçlar, enflasyon düzeltmesinin bazı işletmelerin etkinliğini artırırken bazı işletmelerin ise etkinliğinde gerilemelere neden olduğunu göstermektedir.

Tablo 4. Enflasyon düzeltme öncesi ve sonrası CCR-I süper etkinlik değerleri

Sıra No	İşletmenin Borsa Kodu	Öncesi		Sonrası	
		Skor	Sıralama	Skor	Sıralama
1	AEFES	0,1638	33	0,3531	18
2	AKSA	0,5080	19	0,2836	24
3	ARCLK	0,1904	31	0,2379	27
4	BAGFS	1,0923	9	0,6195	13
5	BRISA	0,6004	16	0,2855	23
6	BRSAN	0,1636	34	1,0173	6
7	BUCIM	0,1672	32	0,6094	14
8	CCOLA	0,2134	30	0,4042	17
9	CEMTS	1,2552	7	0,2859	22
10	CIMSA	3,5790	1	1,4019	3
11	DEVA	1,3615	6	0,3441	20
12	EGEEN	3,4826	2	0,6353	12
13	ERBOS	0,5963	17	0,1674	32
14	EREGL	0,4232	23	3,3382	2
15	FROTO	0,4632	21	0,5155	16
16	GUBRF	0,1227	37	0,0883	35
17	HEKTS	0,6339	14	0,5856	15
18	ISDMR	0,3185	27	0,2872	21
19	JANTS	0,6301	15	0,2340	28
20	KARSN	0,1449	36	0,0001	39
21	KARTN	0,7012	13	0,2196	29
22	KORDS	0,2341	29	0,3497	19
23	KRDMA, KRDMB, KRDMD	0,2422	28	0,1030	34
24	OTKAR	1,7861	3	1,3629	4
25	OYAKC	0,8066	12	1,0151	7
26	PETKM	0,3321	26	0,0136	38
27	QUAGR	1,0578	10	0,7558	11
28	SASA	0,9599	11	0,8703	8
29	SELGD	1,4998	4	4,4601	1
30	TMSN	0,4998	20	0,1783	30
31	TOASO	1,4956	5	0,7805	10
32	TTRAK	1,1053	8	0,8487	9
33	TUKAS	0,5330	18	1,2072	5
34	TUPRS	0,3523	25	0,2637	26
35	ULKER	0,0275	39	0,1777	31
36	VESBE	0,1608	35	0,0492	37
37	VESTL	0,0880	38	0,0604	36
38	YATAS	0,3590	24	0,1400	33
39	YYLGD	0,4393	22	0,2668	25
Etkin Firma Sayısı		10		7	

4. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Bu çalışma, Türkiye'nin yüksek enflasyon dönemlerinde imalat sektöründe faaliyet gösteren firmaların enflasyon düzeltmesinin firma etkinliği üzerindeki etkilerini incelemeyi amaçlamıştır. Çalışmada, 2022 yılına ait finansal veriler kullanılarak BİST 100 imalat sanayi'nde yer alan 39 firmanın etkinlik seviyeleri düzeltme öncesi ve sonrası verilerle analiz edilmiş ve bu kapsamda VZA yönteminin CCR-I modeli ve Süper Etkinlik modeli uygulanmıştır. Çalışmanın bulguları aşağıda sıralanmıştır:

- Düzeltilme sonrası stok devir hızı ve maddi duran varlık oranı gibi girdilerde artış gözlenirken, öz kaynak devir hızı, öz kaynak kârlılığı ve aktif kârlılık gibi çıktılarda belirgin düşüşler yaşanmıştır. Bu durum, enflasyon düzeltmesinin girdiler üzerindeki reel değerlendirme etkisinin olumlu ancak çıktıların yeterince artmamasının olumsuz sonuçlar doğurduğunu göstermektedir.
- Düzeltilme sonrası işletmelerin etkinlik seviyelerinde genel bir düşüş gözlenmiştir. CCR-I modeline göre tam etkin firma sayısı 10'dan 7'ye gerilemiştir. Ortalama etkinlik skorları 0,5404'ten 0,4619'a düşmüştür.
- Düzeltilme sonrası çalışma kapsamındaki 39 işletmeden 25'inin etkinlik seviyesinde düşüş yaşanırken 11 işletmenin etkinlik seviyesinde artış 3 işletmenin etkinlik seviyesinde ise bir değişim göstermediği tespit edilmiştir.

- Düzeltme sonrası AEFES, BRSAN, BUCIM, EREGL ve ULKER etkinlik seviyelerinde %100'ün üzerinde artış görülürken, BRISA, CEMTS, DEVA, JANTS, KARSN, KARTN, KRDMA-MB-MD, PETKIM, TMSN, VESBE ve YATAS ise %50'nin üzerinde bir düşüş yaşamıştır.
- Düzeltme sonrası çalışma kapsamındaki 39 işletmeden 23'ünün etkinlik sıralamasında gerileme yaşanırken 16 işletmenin etkinlik sıralamasında yükseliş tespit edilmiştir.
- Düzeltme sonrası AEFES, BRSAN, BUCIM, CCOLA, EREGL, KORDS ve TUKAS, etkinlik sıralamalarında 10 ile 28 basamak arasında ciddi artışlar göstermiştir. Özellikle, BRSAN sıralamada 34. basamaktan 6. basamağa yükselerek toplamda 28 basamak ilerleme ile analizde en yüksek sıralama artışını kaydetmiştir.
- Düzeltme sonrası CEMTS, DEVA, EGEEN, ERBOS, JANTS, KARTN, PETKIM ve TMSN, etkinlik sıralamalarında 10 ile 16 basamak arasında önemli gerilemeler göstermiştir. Özellikle, KARTN sıralamada 13. basamaktan 29. basamağa düşerek 16 basamak gerilemesine ile analizde en büyük sıralama düşüşünü kaydetmiştir.
- CIMSA, OTKAR ve SELGD, düzeltme öncesi ve sonrası dönemlerde tam etkinlik seviyelerini koruyarak istikrarlı bir performans sergilemiştir. Bu sonuçlar, bu işletmelerin girdilerini etkili bir şekilde kullanmayı sürdürdüğünü ve çıktı üretiminde istikrar sağladığını göstermektedir.

Enflasyon düzeltmesi, işletmelerin finansal tablolarındaki parasal olmayan kalemleri yeniden değerlendirerek etkinlik seviyelerinde farklılıklar meydana getirmiştir. Girdilerdeki reel değerlendirme artışlarının çıktılarda beklenen seviyede iyileşme sağlamaması, genel etkinlik skorlarında düşüşlere yol açmıştır. Bununla birlikte, düzeltmelerin işletmeler üzerinde farklı etkiler oluşturduğu gözlemlenmiştir. Bazı işletmeler düzeltmeden olumlu etkilenip etkinlik seviyelerini arttırırken, bazıları ise olumsuz etkilenip etkinlik seviyelerini düşürmüştür. Bu durum, enflasyon düzeltmesinin sektörel bazlı, firma özelinde farklılıkları dikkate alarak değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Bulgular, gelecekteki çalışmalarda farklı veri setleri ve yılları kapsayan ekonomik dönemlerin karşılaştırılması, düzenlemenin sektörel farklılıklar üzerindeki etkilerinin daha kapsamlı bir şekilde anlaşılmasına katkı sağlayacaktır. Ayrıca, uzun dönemli verilerin kullanıldığı dinamik analizler, enflasyon düzeltmesinin kalıcı etkilerini daha derinlemesine incelemek için önemli bir yöntem sunabilir. Bu tür araştırmalar enflasyon düzeltmesinin etkilerini geniş bir açıdan ele alarak firmaların finansal etkinliğini geliştirmeye yönelik stratejilerin oluşturulmasına katkı sağlayacaktır. Yapılacak olan diğer çalışmalarda, araştırmaya dâhil edilen yıl ve sektör verilerinin değiştirilmesiyle farklı yıllarda gerçekleşen enflasyon oranlarının, farklı sektörlerin etkinlik seviyelerine olan etkisi bu alanda oluşacak literatürü geliştireceği düşünülmektedir.

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

- Acer, H., Kazak, G. ve Erdemir, N.K. (2024). "Enflasyon Muhasebesi Kavramı ve Temalar Üzerine Vosviewer ile Bibliyometrik Analiz", *Mali Çözüm Dergisi*, 34(183), 769-790.
- Açık, S. (2006). "Enflasyonun Finansal Tablolar Üzerindeki Etkilerini Giderici Bir Tedbir Olarak Enflasyon Muhasebesi ve Türkiye'deki Yasal Düzenlemeler", *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 8(2), 345-360.
- Akdoğan, N. ve Tenker, N. (2007). "Finansal Tablolar ve Mali Analiz Teknikleri", 12. Baskı, Gazi Kitabevi, Ankara.
- Akgemci, A., Kısakürek, M., Kulaklı, A. P. ve Özçil, A. (2024). "Enflasyon Düzeltmelerinin Firma Performansı Üzerindeki Etkisi: İmalat Sektöründe TOPSIS Yöntemiyle Bir Uygulama". *Denetim ve Güvence Hizmetleri Dergisi*, 4(2), 162-187.
- Akyüz, K., Yıldırım, İ. ve Balaban, Y. (2015). "Kâğıt sektöründe yer alan firmaların veri zarflama analizi yardımıyla etkinliklerinin ölçümü". *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 14: 23-37.
- Anderson, T.R., Cooper, W.W., Seiford, Lawrence M. ve Zhu, J. "Benchmarking in Sports, in Handbook on Data Envelopment Analysis", Kluwer Academic Publisher, New York, 2004.
- Asker, V. (2021). "Havayolu İşletmelerinde İki Aşamalı Veri Zarflama Analizi ile Etkinlik Ölçümü", *Manas Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 10(4), 2373-2385. <https://doi.org/10.33206/mjss.795885>
- Ata, H.A. ve Yakut, E. (2009). "Finansal Performansa Dayalı Etkinlik Ölçümü: İmalat Sektörü Uygulaması". *Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 18(2), 80-100.
- Bakırcı, F. ve Kutlar, A. (2018). "Veri Zarflama Analizi", Orion Kitabevi, Ankara
- Bayraktar, M. ve Cerit, A.G. (2020). "Türkiye'de Verimlilik, Etkinlik ve Etkililik Kavramlarının Fen ve Mühendislik Disiplinlerinde Kullanımının İncelenmesi", *Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi*, 12(2), 219-240. <https://doi.org/10.18613/deudfd.837278>
- Behdioğlu, S. ve Özcan, G. (2009). "Veri Zarflama Analizi ve Bankacılık Sektöründe Bir Uygulama", *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 14(3), 301-326.
- Bondu, A. (2024). "The Supremacy of Inflation Accounting", *International Journal of Science Engineering and Technology*, 12(3), 1-9.
- Bousofiane, A., Dyson, R.G. and Thanassoulis, E. (1991). "Applied Data Envelopment Analysis", *European Journal of Operational Research*, 52 (1), 1-15.
- Camanho, A.S., Silva, M.C., Piran, F.S. And Lacerda, D.P. (2024). "A Literature Review of Economic Efficiency Assessments Using Data Envelopment Analysis", *European Journal of Operational Research*, 315(1), 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2023.07.027>
- Can Sağlam, Y. (2023). "Veri Zarflama Analizi ile Türk Sağlık Sektörünün Bölgesel Temelde Etkinliğinin Ölçümü", *Yaşar Üniversitesi E-Dergisi*, 18(72), 475-494. <https://doi.org/10.19168/jyasar.1230394>
- Cavlak, H. (2021). "Etkinlik, Etkililik, Verimlilik, Kârlılık, Performans: Kavramsal Bir Çerçeve ve Karşılaştırma", *Journal of Research in Business*, 6 (1), 99-126.
- Contuk, F.Y., Burucu, H., Kaya, A. ve Güngör, B. (2013). "Measurement of Financial Performance in Production Sector", *The Sakarya Journal of Economics*, 63-84.
- Cooper, W.W., Seiford, L.M. and Tone, K. (2000). "Data Envelopment Analysis a Comprehensive Text With Models, Applications", *References and DEA-Solver. Kluwer Academic Publishers*, Dordrecht.
- Çelik, İ. ve Ayan, S. (2017). "Veri Zarflama Analizi ile İmalat Sanayi Sektöründe Finansal Performans Etkinliğinin Ölçülmesi: Borsa İstanbul'da Bir Araştırma", *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi*, 8(18), 56-74. <https://doi.org/10.21076/vizyoner.285998>
- Derici, S. ve Uygur, K. (2019). "Türkiye'de Faaliyet Gösteren İki Havayolu Şirketinin Veri Zarflama Analizi ile Etkinlik Ölçümü", *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 21 (4), 1107-1118. <https://doi.org/10.16953/deusosbil.489000>
- Din, M.U., Ghani, E. and Mahmood, T. (2007). "Technical Efficiency of Pakistan's Manufacturing Sector: A Stochastic Frontier and Data Envelopment Analysis", *The Pakistan Development Review*, 1-18. <https://www.jstor.org/stable/41260785>
- Doğan, Ö. (2023). "Enflasyon Muhasebesi ile İlgili Yasal Düzenlemelerin Finansal Raporlama Çerçeveleri Kapsamında Karşılaştırılmalı Değerlendirilmesi". *Malatya Turgut Özal Üniversitesi İşletme ve Yönetim Bilimleri Dergisi*, 4(2), 190-209.
- Emrouznejad, A. and Yang, G.L. (2018). "A Survey and Analysis of The First 40 Years of Scholarly Literature in DEA: 1978–2016", *Socio-Economic Planning Sciences*, 61: 4-8. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2017.01.008>

- Erena, O.T., Kalko, M.M. and Debele, S.A. (2021). "Technical Efficiency, Technological Progress and Productivity Growth of Large And Medium Manufacturing Industries in Ethiopia: A Data Envelopment Analysis", *Cogent Economics and Finance*, 9(1), 1-38. <https://doi.org/10.1080/23322039.2021.1997160>
- Ergün, Ü.R. (2024). "Veri Zarflama Analizi ile Demir Çelik Sektörünün Etkinliğinin İncelenmesi", *Yönetim Bilimleri Dergisi*, 22(52), 254-281. <https://doi.org/10.35408/comuybd.1326196>
- Ertuğrul, İ. ve Tuş Işık, A. (2008). "İşletmelerin VZA ile Mali Tablolarına Dayalı Etkinlik Ölçümü: Metal Ana Sanayiinde Bir Uygulama", *Afyon Kocatepe Üniversitesi, İ.İ.B.F. Dergisi*, 10(1), 201-217.
- Fapohunda, F.M., Ogbeide, S.O. and Igbini, O.O. (2017). "Empirical Assessment of Manufacturing Companies Efficiency in Nigeria: Data Envelopment Analysis (DEA) Approach", *Research Journal Of Finance and Accounting*, 8(22), 137-147.
- Farrell, M.J. (1957). "The Measurement of Productive Efficiency." *Journal of the Royal Statistical Society* 120, 253-290. <https://doi.org/10.2307/2343100>
- Golany, B. and Roll, Y. (1989). "An Application Procedure for DEA", *Omega*, 17(3), 237-250. [https://doi.org/10.1016/0305-0483\(89\)90029-7](https://doi.org/10.1016/0305-0483(89)90029-7)
- Hussein, A.M., Mohsin, A.O.M. and Hussein, M.A. (2024). "The Impact of Inflation on Financial Statement Data", *World Economics ve Finance Bulletin (WEFB)*, 30, 151-161. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.24814.93762>
- Karasioğlu, F. ve Erdemir, N.K. (2005). "Enflasyon Muhasebesi Uygulamalarında Temel İşlemler Üzerine Bir Çalışma", *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 2005(2), 145-167.
- Kaya, A., Öztürk, M. ve Özer, A. (2011). "Metal Eşya, Makine ve Gereç Yapım Sektördeki İşletmelerin Veri Zarflama Analizi ile Etkinlik Ölçümü", *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 24(1), 129-147.
- Kayalidere, K. ve Kargın, S. (2004). "Çimento ve Tekstil Sektörlerinde Etkinlik Çalışması ve Veri Zarflama Analizi", *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 6(1), 196-219. <https://doi.org/10.21076/vizyoner.285998>
- Kılıç, İ. (2025). "Finansal Tablolar Yardımı ile Etkinlik Analizi: BİST Ana Metal Sanayi Sektörü Üzerine Bir Uygulama", *Muhasebe ve Denetim Bakış Dergisi*, 74: 209-232. <https://doi.org/10.55322/mdbakis.1519964>
- Kılınç, Z. ve Konuşkan, A. (2022). "Veri Zarflama Analizi Yöntemiyle BIST Sürdürülebilirlik Endeksindeki İşletmelerin Etkinliklerinin Ölçülmesi", *Kamu Ekonomisi ve Kamu Mali Yönetimi Dergisi*, 2(1), 31-40.
- Koçyiğit, M.M. (2016). "Borsa İstanbul'da İşlem Gören Çimento İşletmelerinin Etkinliklerinin Veri Zarflama Analizi Kullanılarak Ölçülmesi", *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 15(57), 429-439. <https://doi.org/10.17755/esosder.15243>
- Kutlar, A. ve Bakırcı, F. (2018). "Veri Zarflama Analizi Teori ve Uygulama", Orion Kitabevi, Ankara.
- Lazol, İ. (2004). "Mali Analiz ve Enflasyon Muhasebesi Uygulamaları", Ekin Kitabevi, Bursa.
- Lee, P.F., Lam, W.S. ve Lam, W.H. (2023). Performance Evaluation of the Efficiency of Logistics Companies with Data Envelopment Analysis Model. *Mathematics*, 11(718), 1-15. <https://doi.org/10.3390/math11030718>
- Memon, M.A., Tahir, I.M. and Malaysia, T. (2012). "Size and Operational Performance of Manufacturing Companies in Pakistan Using Data Envelopment Analysis", *Journal of information Engineering and Applications*, 2(4), 39-49.
- Okka, O. (2015), "Finansal Yönetim Teori ve Çözümlü Problemler, 6. Baskı, Nobel Yayınları, Ankara
- Okursoy, A. ve Tezsürücü, D. (2014). "Veri Zarflama Analizi ile Göreli Etkinliklerin Karşılaştırılması: Türkiye'deki İllerin Kültürel Göstergelerine İlişkin Bir Uygulama", *Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, 21(2), 1-18. <https://doi.org/10.18657/yecbu.92031>
- Oruç, K.O., Yılmaz, G. ve Yılmaz, T. (2024). "Çok Kriterli Karar Verme ve Veri Zarflama Analizinde Kullanılan Yönsüz Veriler İçin Fonksiyon Önerileri: Finansal Performans Örneği", *Akdeniz İİBF Dergisi*, 24 (2), 59-75. <https://doi.org/10.25294/aiibfd.1451955>
- Özçelik, H. ve Kandemir, B. (2017). "Veri Zarflama Analizi ve İmalat Sektöründe Bir Uygulama", *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 22(1), 43-53.
- Özdemir, A. ve Can Sağlam, Y. (2024). "Kümeleme ve Veri Zarflama Analizi Entegrasyonu: İSO 500'deki Tekstil Firmalarının Performans Değerlendirmesi", *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 16(1), 1-13. <https://doi.org/10.20491/isarder.2024.1772>
- Özek, P. (2015). "İmalat Firmalarının Etkinlik Analizi: 2005-2013 Dönemi", *Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 10(1), 185-202.
- Panwar, A., Olfati, M., Pant, M. and Snasel, V. (2022). "A Review on The 40 Years of Existence of Data Envelopment Analysis Models: Historic Development and Current Trends", *Archives of Computational Methods in Engineering*, 29(7), 5397-5426. <https://doi.org/10.1007/s11831-022-09770-3>
- Rezitis, A.N. and Kalantzi, M.A. (2016). "Investigating Technical Efficiency And its Determinants by Data Envelopment Analysis: An Application in The Greek Food and Beverages Manufacturing Industry". *Agribusiness*, 32(2), 254-271. <https://doi.org/10.1002/agr.21432>

- Salimi Altan, M. (2010). "Türk Sigortacılık Sektöründe Etkinlik: Veri Zarflama Analizi Yöntemi ile Bir Uygulama", *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 12(1), 185-204.
- Smriti, T.N. and Khan, H.R. (2018). "Efficiency Analysis of Manufacturing Firms Using Data Envelopment Analysis Technique", *Journal of Data Science*, 16(1), 69-78. [http://dx.doi.org/10.6339/JDS.201801_16\(1\).0004](http://dx.doi.org/10.6339/JDS.201801_16(1).0004)
- Soba, M. ve Akcanlı, F. (2012). "Veri Zarflama Analizi Yöntemi ile İMKB'de Gıda, İçki ve Tütün Alanında Faaliyet Gösteren İşletmelerin Etkinliklerinin Değerlendirilmesi", *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 14 (2), 259-274
- Soylu, N. (2020). "Entelektüel Sermaye Etkinliğinin Veri Zarflama Analizi ile Değerlendirilmesi: BİST Teknoloji Şirketlerine Yönelik Bir Araştırma", *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, (85), 269-286. <https://doi.org/10.25095/mufad.673738>
- Tosunoğlu, B. ve Uysal, M. (2012). "İSO 500'de Yer Alan İmalat Sektöründeki Yabancı Sermaye Payına Sahip Şirketlerin Etkinliklerinin Veri Zarflama Analizi ile Ölçülmesi", *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 26(3-4), 333-344.
- Vassiloglu, M. and Giokas, D. (1990). "A Study of The Relative Efficiency of Bank Branches: An Application of Data Envelopment Analysis", *Journal of the Operational Research Society*, 41(7), 591-597. <https://doi.org/10.1057/jors.1990.83>
- Verginet. (2024). "Enflasyon Düzeltmesine İlişkin Vergi Usul Kanunu Genel Tebliği (Sıra No:555)", Vergi Sirküleri: NO: 2024/17, <https://www.verginet.net/dtt/11/Vergi-Sirkuleri-2024-17.aspx#EDMahiyetiveGenelEsaslar>, (Erişim Tarihi: 24.10.2024).
- Wang, C.N., Nguyen, T.L., Dang, T.T., Bui, T.H. Performance Dang, T.T. ve Bui, T.H. (2021). "Performance Evaluation of Fishery Enterprises Using Data Envelopment Analysis-A Malmquist Model", *Mathematics*, 9(469), 1-20. <https://doi.org/10.3390/math9050469>
- Yalama, A. ve Sayım, M. (2008). "Veri Zarflama Analizi İle İmalat Sektörünün Performans Değerlendirmesi", *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 23(1), 89-107.
- Yaşar, F. (2019). "Veri Zarflama Analizi ile BİST100'de İşlem Gören İmalat İşletmelerinin Etkinliklerinin Ölçümü", Yayınlanmamış Doktora Tezi, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Erzincan.
- Yaşar, F. ve Yavuz, S. (2024). "BİST100 İmalat İşletmelerinin Malmquist Toplam Faktör Verimlilik Endeksi ile Analizi", *Erzurum Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (18), 112-127. <https://doi.org/10.29157/etusbed.1290902>
- Yayar, R. ve Çoban, M.N. (2012). "ISO 500 Firmalarının Etkinliklerinin Ölçülmesinde Veri Zarflama Analizi Yaklaşımı: Dokuma ve Giyim Eşya Sanayi", *Niğde Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 5(2), 165-180.
- Yıldırım, M. (2022), "Türkiye İçin Enflasyon Düzeltmesi Örneği", <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4292641> (Erişim Tarihi: 24 Kasım 2024)
- Yıldız, A. (2007). "İmalat Sanayi Şirketlerinin Etkinliklerinin Ölçülmesi", *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 9(2), 91-103.
- Yıldız, B., Yerdelen Kaygın, C. ve Yılmaz, T. (2020). "İmalat Sektöründeki İşletmelerin Finansal Performanslarının Ölçülmesi: Bir Veri Zarflama Analizi (VZA) Uygulaması", *Turkish Studies - Economy*, 15(1), 613-628. <https://dx.doi.org/10.29228/TurkishStudies.39429>
- Yolalan, R. (1993). "İşletmelerarası Görelî Etkinlik Ölçümü", Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları, 483.
- Yükçü, S. ve Atağan, G. (2009). "Etkinlik, Etkililik ve Verimlilik Kavramlarının Yarattığı Karışıklık", *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 23(4), 1-13.

EK

Tablo A1. 2022 yılı enflasyon düzeltmesi öncesi ve sonrası girdi ve çıktı değerleri

No	2022 yılı BİST100 İmalat İşletmeleri	Enflasyon Düzeltme Öncesi Verileri						Enflasyon Düzeltme Sonrası Verileri					
		Girdi			Çıktı			Girdi			Çıktı		
		Stok Devir Hızı	Öz Kaynak Devir Hızı	Maddi Duran Varlık Oranı	Net Kar Marjı	Aktif Karlılık (ROA)	Öz Kaynak Karlılığı (REO)	Stok Devir Hızı	Öz Kaynak Devir Hızı	Maddi Duran Varlık Oranı	Net Kar Marjı	Aktif Karlılık (ROA)	Öz Kaynak Karlılığı (REO)
		2022	2022	2022	2022	2022	2022	2022E	2022E	2022E	2022E	2022E	2022E
1	AEFES	4,08012	1,59953	0,21243	0,06675	0,04530	0,10677	4,31091	1,15094	0,21230	0,14835	0,08576	0,17074
2	AKSA	5,97481	3,04063	0,24660	0,19606	0,29973	0,59614	7,09543	2,15149	0,46119	0,13242	0,17987	0,28490
3	ARCLK	3,22955	4,94050	0,15746	0,03527	0,03572	0,17425	3,70552	4,43099	0,19070	0,02725	0,03015	0,12075
4	BAGFS	2,02315	2,21861	0,22032	0,28195	0,23837	0,62553	2,20142	1,19192	0,49925	0,22225	0,15160	0,26490
5	BRISA	4,14759	4,27192	0,17662	0,14142	0,12787	0,60411	5,16902	2,31247	0,35509	0,09342	0,07661	0,21603
6	BRSAN	3,04900	1,87231	0,45088	0,06079	0,04891	0,11382	0,00305	0,00187	0,45088	0,06079	0,00005	0,00011
7	BUCIM	4,84430	1,33248	0,39753	0,05351	0,05722	0,07130	4,19159	1,36448	0,30614	0,27287	0,31061	0,37233
8	CCOLA	5,41528	2,34816	0,27987	0,08670	0,07904	0,20358	5,78143	1,97644	0,31399	0,15439	0,13414	0,30514
9	CEMTS	2,91093	1,75332	0,20535	0,28850	0,41737	0,50584	3,71706	1,76571	0,27535	0,08197	0,12142	0,14473
10	CIMSA	0,00646	0,00098	0,35538	0,20324	0,00011	0,00020	6,30580	1,40491	0,15174	0,41507	0,30712	0,58314
11	DEVA	1,06245	1,13744	0,19116	0,30376	0,15772	0,34551	1,47062	0,75565	0,28230	0,09768	0,04144	0,07381
12	EGEEN	2,77174	1,28546	0,06615	0,39990	0,28854	0,51406	3,53948	1,15812	0,09059	0,14570	0,10467	0,16873
13	ERBOS	3,39785	2,47707	0,11550	0,14899	0,22818	0,36907	3,58856	2,37955	0,21134	0,02654	0,04153	0,06315
14	EREGL	2,31571	1,07686	0,46151	0,14597	0,10665	0,15719	0,00232	0,00108	0,46151	0,14597	0,00011	0,00016
15	FROTO	10,67241	8,02708	0,20973	0,10835	0,19379	0,86972	12,28604	6,30712	0,27489	0,08597	0,15909	0,54222
16	GUBRF	2,75216	3,20991	0,36067	0,03334	0,04042	0,10702	3,11247	3,39999	0,35626	0,00656	0,00898	0,02231
17	HEKTS	1,08263	1,50125	0,17820	0,15066	0,06454	0,22617	1,29008	1,20051	0,23399	0,11446	0,04931	0,13741
18	ISDMR	2,70798	1,19711	0,54480	0,10847	0,09006	0,12985	2,70798	1,19711	0,54480	0,10847	0,09006	0,12985
19	JANTS	4,27721	1,74630	0,39426	0,23242	0,25698	0,40588	5,13141	1,97323	0,39453	0,09119	0,11664	0,17994
20	KARSN	2,47187	1,63964	0,28391	0,05142	0,02407	0,08431	3,13030	1,11648	0,33174	-0,03174	-0,01355	-0,03544
21	KARTN	4,53238	2,38886	0,23322	0,20969	0,39198	0,50092	4,75461	1,98432	0,42535	0,08203	0,13144	0,16277
22	KORDS	2,74326	1,83913	0,24751	0,08184	0,06403	0,15052	2,74326	1,83913	0,24751	0,08184	0,06403	0,15052
23	KRDMD	2,91111	2,39043	0,37522	0,07936	0,08162	0,18971	2,98920	1,47977	0,52553	0,02045	0,01688	0,03027
24	OTKAR	1,69511	4,56673	0,05111	0,12902	0,08756	0,58922	1,92227	2,72996	0,08906	0,11325	0,07578	0,30918
25	OYAKC	5,27944	1,41486	0,38342	0,33531	0,24673	0,47442	5,07205	1,72546	0,21907	0,35415	0,39620	0,61106
26	PETKM	10,21642	2,56559	0,21854	0,13385	0,11973	0,34340	12,75004	2,19717	0,33895	-0,01371	-0,01300	-0,03013
27	QUAGR	2,30688	1,07601	0,30881	0,42184	0,20998	0,45390	2,49630	1,03773	0,36721	0,34193	0,17603	0,35483
28	SASA	2,76295	1,89147	0,41923	0,34094	0,20185	0,64487	3,25276	1,52582	0,51687	0,36798	0,22760	0,56147
29	SELGD	5,61118	0,47195	0,29101	0,40680	0,16185	0,19199	3,24386	0,51883	0,29003	1,10559	0,48027	0,57361
30	TMSN	2,69893	2,29450	0,29357	0,15516	0,17488	0,35603	3,42330	1,65706	0,44542	0,05574	0,05275	0,09237
31	TOASO	16,42225	5,79348	0,04311	0,13063	0,21206	0,75680	19,61920	4,79782	0,12512	0,07559	0,12702	0,36265
32	TTRAK	4,83234	6,00147	0,06749	0,13607	0,21535	0,81661	5,51877	4,47809	0,14644	0,10411	0,16572	0,46621
33	TUKAS	0,34256	0,22844	0,19277	0,08564	0,01038	0,01956	1,85343	1,59385	0,29942	0,24920	0,23058	0,39719
34	TUPRS	11,62369	7,17064	0,19482	0,08564	0,24430	0,61413	13,51783	5,10974	0,36982	0,06713	0,17701	0,34304
35	ULKER	3,96056	3,67027	0,18006	0,00708	0,00527	0,02597	4,77351	3,32294	0,22227	0,02750	0,02161	0,09138
36	VESBE	5,98943	4,96675	0,29075	0,04538	0,05579	0,22541	7,07302	4,39584	0,33175	0,00355	0,00463	0,01562
37	VESTL	3,50440	4,42421	0,19930	0,01898	0,01763	0,08399	4,08920	3,67632	0,22355	0,00172	0,00171	0,00633
38	YATAS	3,59711	4,79821	0,22905	0,07632	0,12009	0,36618	4,38465	3,01297	0,38186	0,02743	0,03856	0,08265
39	YYLGD	3,48410	4,35504	0,15365	0,08493	0,15163	0,36989	4,03128	5,00885	0,13925	0,02097	0,04392	0,10506

Türkiye'nin Çevresel Dirençliliğinin Değerlendirilmesi: İklim Adaptasyonu ve Sürdürülebilirlik Üzerine Çok Kriterli Analiz

Salih Özdemir¹ , Nimet Elmacioğlu¹ 

ÖZET

Amaç: Bu çalışmanın amacı, Türkiye'nin 2007-2019 dönemi çevresel dirençliliğini değerlendirerek ülkenin iklim zorluklarına karşı direnç ve uyum kapasitesini incelemek ve sürdürülebilir iklim politikalarına katkı sağlamaktır.

Yöntem: Çalışmada Türkiye'nin çevresel dirençliliğini değerlendirmek için EUROSTAT'dan elde edilen çevresel dirençlilik göstergeleri, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden veri odaklı MEREC ve COPRAS ile analiz edilmektedir. Ayrıca analizin tutarlılığını sağlamak amacıyla karşılaştırmalı analiz ve Borda yöntemi gerçekleştirilmektedir.

Bulgular: Analiz sonucunda elde edilen bulgulara göre Türkiye'nin çevresel dirençliliğinin belirleyici göstergeleri olarak ana biyolojik çeşitlilik alanları, enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kaynaklarının payı kriterleri belirlenmiştir. Performans sıralamaları dikkate alındığında ise Türkiye'nin çevresel dirençliliği son yıllarda iyileşme göstermiştir.

Özgünlük: Bu çalışma, Türkiye'nin çevresel dirençliliğine ilişkin kapsamlı bir genel bakış sunarak hem güçlü hem de zayıf yönlerini vurgulamaktadır. Bu bulgular, politika yapıcılar için Türkiye'nin çevresel dirençliliğini artırmayı hedefleyen müdahalelerin geliştirilmesine yönelik değerli bilgiler sağlamaktadır. Ayrıca çevresel dirençlilik yaklaşımının benimsemesi ülkenin iklim değişikliğini ele alan sürdürülebilir kalkınma politikalarını şekillendirmesine olanak tanımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Çevresel Dirençlilik, MEREC, COPRAS, İklim Değişikliği, Türkiye.

JEL Kodları: Q01, Q5, Q58.

Assessing Türkiye's Environmental Resilience: A Multi-Criteria Analysis on Climate Adaptation and Sustainability

ABSTRACT

Purpose: The aim of this study is to assess Türkiye's environmental resilience over the period 2007-2019, providing insights into the country's capacity to withstand and adapt to climate challenges, and to contribute to the development of sustainable climate policies.

Methodology: In this study, environmental resilience indicators obtained from EUROSTAT are analyzed using data-driven MEREC and COPRAS, which are among the Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) methods, to assess Türkiye's environmental resilience. Additionally, a comparative analysis and the Borda method are employed to ensure the consistency of the analysis.

Findings: The findings of the analysis indicate that key biodiversity areas, energy efficiency, and the share of renewable energy sources have been identified as the primary indicators of Türkiye's environmental resilience. Performance rankings reveal that Türkiye's environmental resilience has shown improvement in recent years.

Originality: This study provides a comprehensive overview of Türkiye's environmental resilience, highlighting both its strengths and weaknesses. These findings offer valuable insights for policymakers in developing interventions aimed at enhancing Türkiye's environmental resilience. Furthermore, the adoption of an environmental resilience approach enables the country to shape sustainable development policies that address climate change.

Keywords: Environmental Resilience, MEREC, COPRAS, Climate Change, Türkiye.

JEL Codes: Q01, Q5, Q58.

¹ Kayseri Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Uluslararası Ticaret ve Lojistik Ana Bilim Dalı, Kayseri, Türkiye

Sorumlu Yazar-Corresponding Author: Salih Özdemir, salihozdemir@kayseri.edu.tr

DOI: 10.51551/verimlilik.1572483

Araştırma Makalesi / Research Article | Geliş / Submitted: 23.10.2024 | Kabul / Accepted: 18.03.2025

Atıf/Cite: Özdemir, S. ve Elmacioğlu, N. (2025). "Türkiye'nin Çevresel Dirençliliğinin Değerlendirilmesi: İklim Adaptasyonu ve Sürdürülebilirlik Üzerine Çok Kriterli Analiz", *Verimlilik Dergisi*, 59(2), 417-432.

EXTENDED ABSTRACT

Due to climate change, the world is experiencing shifts in average temperatures, an increase in extreme weather events, and changes in seasonal patterns. Consequently, it is widely acknowledged that the adverse environmental impacts of climate change can significantly affect societies, ecosystems, and multiple aspects of life (IPCC, 2022). In particular, the continuous rise in carbon emissions is expected to have a profound effect on the climate system, potentially leading to catastrophic consequences for communities worldwide (Seriño, 2018).

Climate change is expected to impact different geographic regions in varying ways. Türkiye stands out as a country likely to be significantly affected by changes in precipitation patterns, rising temperatures, and increasing drought conditions (Şen, 2013). Moreover, awareness of climate-related challenges has been intensified by factors such as the potential impacts of the European Green Deal on the Turkish economy, the growing frequency of extreme weather events, forest fires, marine pollution, and disruptions in energy supply caused by the war in Ukraine. Türkiye's geographical, climatic, and socio-economic characteristics make it particularly vulnerable to the effects of climate change and other environmental hazards, underscoring the importance of adaptation and resilience as national priorities. To this end, the aim of this study is to assess Türkiye's environmental resilience to climate change by evaluating its capacity for resistance and adaptation, thereby contributing to the formulation of sustainable climate policies.

This study aims to examine Türkiye's environmental resilience to current and future environmental threats by analyzing its performance against climate change using environmental resilience indicators obtained from the EUROSTAT database. A data-driven approach is employed through the application of the MEREC (Method based on the Removal Effects of Criteria) and COPRAS (COmplex PROportional ASsessment) methods to assess Türkiye's environmental resilience performance. Additionally, the TOPSIS, VIKOR, and ARAS methods were used to compare the rankings of the alternatives. Subsequently, the results of the comparative analysis were integrated using the Borda method to obtain a single aggregated ranking.

According to the findings obtained from the MEREC method, protected terrestrial (N8) and freshwater key biodiversity areas (N7) were identified as the first and second most important criteria, respectively. Energy productivity (N3) emerged as the third most significant criterion contributing to Türkiye's environmental resilience. The results of the comparative analysis further reveal that, in recent years, Türkiye has demonstrated a high level of environmental resilience performance. Notably, the years 2018 and 2019 indicate a marked improvement in this performance. In contrast, the period prior to 2010 reflects relatively lower resilience levels, suggesting a transitional phase during which Türkiye began implementing significant improvements in its environmental strategies. These findings not only illustrate Türkiye's recent progress but also highlight actionable priorities for strengthening resilience.

The results reveal that, to further enhance resilience, Türkiye should prioritize long-term strategies focused on biodiversity conservation, energy efficiency, and the adoption of renewable energy, while ensuring that policy decisions are guided by both the capacity and vulnerability levels of environmental indicators. These findings contribute to the literature by clarifying strategic priorities for strengthening resilience and align with broader sustainable development goals, offering valuable insights for policymakers seeking to design more adaptive and forward-looking environmental strategies.

However, one limitation of the study is the availability of data, which restricted the analysis to the period ending in 2019. Additionally, the study relies on a specific set of indicators, potentially overlooking other dimensions of resilience. Future research should consider extending the time frame as newer data becomes available, incorporating additional indicators to reflect socio-economic and institutional aspects, and further exploring criteria that currently exhibit low importance but may pose significant long-term risks due to high vulnerability. Such efforts will support a more comprehensive understanding of environmental resilience and inform the development of more robust and forward-looking environmental strategies.

1. GİRİŞ

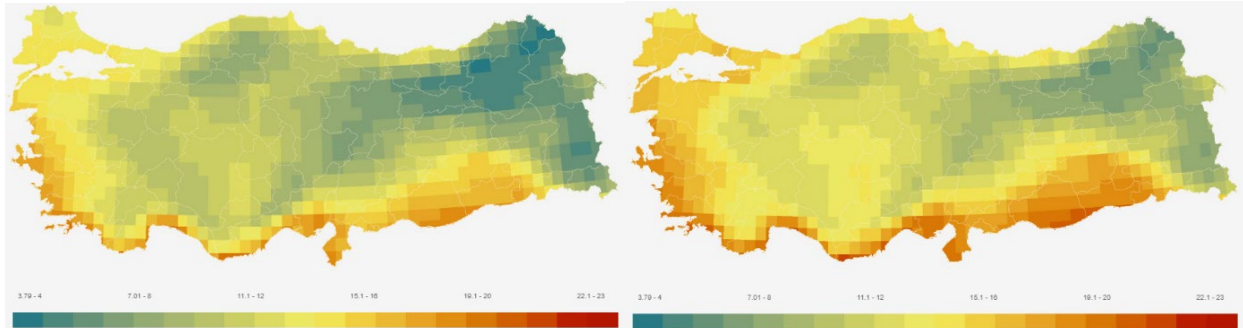
Dünya iklim değişikliği nedeniyle ortalama sıcaklıkta, aşırı hava olaylarında ve mevsimsel modellerde değişiklikler yaşamaktadır. Buna bağlı olarak iklim değişikliğinin olumsuz çevresel etkilerinin toplumlara, çevreyi ve yaşamın birçok yönünü önemli ölçüde etkileyebileceği ifade edilmektedir (IPCC, 2022). Fossil yakıtların sürekli kullanımı nedeniyle insan kaynaklı sera gazı emisyonlarının neden olduğu küresel ısınmanın, çok sayıda toplumun mevcut adaptasyon kapasitesi ile sürdürülebilir kabul edilen sıcaklık seviyelerini aşabileceğine dair endişeler giderek artmaktadır (Scafetta, 2024). Özellikle karbon emisyonlarındaki sürekli artışın dünya çapında tüm toplumlar için felaket niteliğinde sonuçlara yol açarak iklim sistemi üzerinde derin bir etki yaratması tahmin edilmektedir (Seriño, 2018). Bununla birlikte şiddet düzeyinin, coğrafi faktörler, iklim özellikleri ve uygulanan yönetim stratejileri gibi farklı koşullara bağlı olduğu belirtilmektedir (Moghim ve Garna, 2019).

İklim değişikliğinin coğrafi bölgeleri farklı şekilde etkileyeceği tahmin edilmektedir. Türkiye, yağış rejimindeki değişiklikler, artan sıcaklıklar ve kuraklık gibi iklim değişikliği etkileriyle çevre, toplum ve ekonomisinin derinden etkilenebileceği ülkelerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır (Şen, 2013). Bu nedenle Türkiye güçlü bir azaltım arzusu ile politika ve hedefler üretmektedir. 11. Kalkınma Planı, Paris İklim Anlaşmasının onaylanması, 2053 net sıfır emisyon taahhüdü, Ulusal Yeşil Mutabakat Eylem Planı ve Ulusal İklim Değişikliği Uyum Stratejisi ve Eylem Planı olmak üzere iklim değişikliği karşısında ortaya konan ulusal çabalar Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Ulusal kalkınma öncelikleri ve ilgili iklim çabaları

Kalkınma Öncelikleri	Sıfır Emisyon	Uyum ve Dirençlilik
11. Kalkınma Planı	Paris Anlaşmasının onaylanması	Ulusal İklim Değişikliği
Mart 2021 Ekonomik Reform Programı	2053 net sıfır emisyon taahhüdü	Uyum Stratejisi ve
Orta Vadeli Plan (2022-2024)	Ulusal Yeşil Mutabakat Eylem Planı	Eylem Planı

Tablo 1'de belirtilen bu stratejiler Türkiye'nin iklim değişikliğine uyum sağlama ve olumsuz etkileri azaltma çabalarını şekillendirmektedir. Ancak güncel iklim modelleri, sera gazı emisyon seviyelerinin mevcut seviyelerde artmaya devam etmesi halinde 21. yüzyıl boyunca Dünya'nın küresel ortalama sıcaklığının 4°C daha artacağını öngörmektedir (UCAR, 2024). Şekil 1, Türkiye'nin 1961-1990 ve 2041-2070 dönemi ortalama sıcaklık haritalarını göstermektedir.



Şekil 1. Tahmini sıcaklık haritaları, 1961-1990, 2041-2070 (Şen, 2013)

Türkiye'de ortalama sıcaklık seviyeleri 1994'ten bu yana dünya ortalamasının üzerinde belirgin şekilde artış göstermiştir (IEA, 2024a). Bu artışın yukarıdaki şekilde yer alan tahmini ortalama sıcaklık haritaları incelendiğinde uzun vadede artmaya devam edeceği açıkça görülmektedir. Ayrıca iklim değişikliğiyle ilgili sorunların farkındalığını artıran faktörler arasında Avrupa Birliği Yeşil Mutabakatının Türkiye ekonomisi üzerindeki potansiyel etkileri, aşırı hava olaylarının, orman yangınlarının ve deniz kirliliğinin artmasına ek olarak Ukrayna'daki savaş kaynaklı enerji arzı gibi unsurlar bulunmaktadır. Türkiye'nin coğrafi, iklimsel ve sosyoekonomik özellikleri, ülkeyi iklim değişikliği ve diğer çevresel tehlikelerin etkilerine karşı oldukça hassas hale getirmekle beraber uyum ve dirençliliği de yüksek öncelikler olarak öne çıkarmaktadır. Türkiye, Dünya Bankası tarafından yayımlanan İklim ve Değişim Raporunda on iklim kırılganlığı boyutundan dokuzunda yüksek kırılganlık seviyesine sahip olarak belirtilmektedir. Bu oran diğer OECD ülkelerinde ise sadece ortalama iki boyut olarak ölçülmektedir (Dünya Bankası, 2022).

İklim değişikliği, sosyal, ekonomik ve çevresel baskılarla etkileşime girdiğinde, kırılganlığı artırabilme ve mevcut kırılganlıkları derinleştirebilme potansiyeline sahiptir (Dünya Bankası, 2024). Bu nedenle literatürde dirençlilik terimi farklı disiplinlerde oldukça önem kazanmıştır (Zurek ve diğerleri, 2022; Giulia, 2023; Sadler ve diğerleri, 2024). Dirençlilik terimi Avrupa Komisyonu tarafından sadece zorluklara dayanma ve yönetme kapasitesi olarak değil aynı zamanda sürdürülebilir, adil ve demokratik bir şekilde geçişleri yönetme kapasitesi olarak tanımlanmaktadır (Avrupa Komisyonu, 2024a). Bu nedenle ülkeler için muhtemel çevresel

tehditler karşısında dirençli bir yapıya dönüştürülmek üzere kalkınma ve iklim hedefleriyle uyumlu politikalar gerekmektedir.

İklim değişikliğinin altında yatan nedenleri hafifletmeye yönelik önemli çabalara rağmen devam eden bu olumsuz değişiklikler karşısında dirençliliği artırmaya yönelik stratejileri belirlemek de aynı derecede zorunludur. İklim değişikliği karşısında Türkiye gibi kırılganlığı yüksek bir ülkenin çevresel dirençliliğinin değerlendirilmesinde kapsamlı bir bakış açısının olmaması gelecekteki iklim riskleri ve tehditleriyle başa çıkma konusunda önemli bir tehdit yaratabilme ihtimali yaratmaktadır. Hem günümüzde hem de gelecekteki risklerin etkin bir şekilde ele alınması ve azaltılması için daha fazla çaba ve kararlılık gerekecektir. Buna ek olarak hızlı iklim değişikliği karşısında geciken uyum çabaları bu küresel zorluğun ele alınmasını daha zor ve maliyetli hale getirmektedir (UNFCCC, 2024). Bu durum göz önünde bulundurulduğunda, Türkiye'nin çevresel dirençlilik kapasitesinin incelenmesi gelecekteki iklim kaynaklı zorlukların üstesinden gelinmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Çevresel dirençliliğin karmaşık ve birbiriyle ilişkili doğası, karar verme sürecinde birbirini etkileyen kriterlerin dikkate alınmasını gerektirmektedir. Bu nedenle ÇKKV her bir karar alternatifi için uzlaşma çözümlerinin hesaplanması yoluyla performansı birden fazla kritere göre değerlendirmek için yararlı bir karar verme aracı olarak hizmet etmektedir. Buradan hareketle, Türkiye'nin mevcut ve gelecek çevresel tehditlere karşı çevresel dirençliliğinin belirlenmesi amacıyla EUROSTAT veri tabanından elde edilen çevresel dirençlilik göstergeleri kullanılarak Türkiye'nin iklim değişikliği etkilerine karşı çevresel dirençlilik performansı veri odaklı MEREC (Method based on the Removal Effects of Criteria) ve COPRAS (COmplex PROportional ASsessment) yöntemleri kullanılarak test edilmektedir. Bu çalışmanın literatüre temel katkıları şunlardır: i) Bu çalışma, Türkiye'nin mevcut çevresel dirençliliğini ölçmek üzere veriye dayalı bir karar modeli uygulayan öncü bir çaba olarak öne çıkmaktadır. ii) İklim değişikliği ile ilgili zorlukların ele alınmasında daha etkili stratejilere zemin hazırlayan bu çalışma, iklim değişikliğinden kaynaklanan olumsuz etkilere karşı Türkiye'nin uygulaması gereken politikaları belirlemektedir. iii) Önerilen yöntemden elde edilen sıralama sonuçlarının güvenilirliğini test etmek amacıyla farklı ÇKKV yöntemlerinin karşılaştırmalı analizlerinin uygulanmasını içermektedir.

Çalışmanın kalan planı şu şekildedir. Bir sonraki bölümde ilgili literatür incelenecektir. Üçüncü bölümde çalışmada kullanılan metodoloji tanıtılacaktır. Dördüncü bölümde çalışmanın bulguları ve karşılaştırmalı analiz raporlanacaktır. 5. bölümde bulgular tartışılacak ve 6. bölümde çalışma sonuçlandırılacaktır.

2. LİTERATÜR İNCELEMESİ

Ülkelerin nüfus çeşitliliği ve yoğunluğu sürekli artarken iklim koşullarındaki değişiklikler ve doğal afetler gibi olaylara karşı savunmasızlıkları da orantılı olarak artmaktadır (Borden ve diğerleri, 2007). Bu kapsamda dirençlilik terimi literatürde giderek popüler hale gelmektedir. Dirençlilik değerlendirmesine çevresel boyutun dahil edilmesinin önemini vurgulayan Sharifi (2016) çevresel dirençliliğin, sosyoekonomik faaliyetlerden kaynaklanan kirliliğinin yanı sıra ekolojik restorasyon ve çevre yönetimi girişimleriyle de bağlantılı olduğunu vurgulamaktadır. Böylece ekosistemin karşı karşıya olduğu zorlukları iklim değişikliği bağlamında daha geniş bir perspektifle ele almanın, ekosistem hizmetlerinin yönetimini iyileştirebileceği düşünülmektedir (Li ve diğerleri, 2023).

Moghim ve Garna (2019), 141 ülkenin çevresel dirençliliğini ve sürdürülebilirliğini "çevresel dirençlilik skoru" kullanarak değerlendirmiştir. Çevresel dirençlilik skoru, hava kirliliği, sera gazı emisyonları, içme suyuna erişim, iyileştirilmiş sanitasyona erişim, çevresel riskler ve enerji kullanımı dahil olmak üzere altı çevresel göstergesi içermektedir. İlgili göstergeler kullanılarak ülkelerin doğal ve insan kaynaklı tehlikelere karşı kırılganlığı araştırılmıştır. Sonuçlara göre gelişmiş ülkeler genellikle yüksek dirençlilik seviyesine sahipken, gelişmekte olan ülkelerin düşük dirençlilik seviyesine sahip olduğu tespit edilmiştir. Ek olarak Türkiye'nin çevresel risk skorunun yüksek seviyede olduğu tespit edilmiştir. Çevresel dirençliliğin gelecekteki öngörülemez zorluklara karşı gerekliliğini belirten Ozdemir (2024), çevreyi en çok kirlüten ülkelerin çevresel dirençliliğini IDOCRIW (Integrated Determination of Objective CRIteria Weights) ve CoCoSo (Combined Compromise Solution) yöntemlerini kullanarak incelemiştir. Analiz sonucunda Türkiye'nin Çin'den sonra en düşük çevresel dirençliliğe sahip ülke olduğunu tespit etmiştir. Karahan ve diğerleri (2025), Türkiye'nin çevresel performansını Uluslararası Çevresel Performans Endeksi (EPI) verilerini kullanarak analiz etmiş ve Türkiye'nin her bir kriterdeki güçlü ve zayıf yönlerini diğer Doğu Avrupa ülkeleriyle karşılaştırmıştır. Entropi tabanlı PROMETHEE yöntemi ile gerçekleştirilen analiz sonucunda elde edilen bulgulara göre Türkiye'nin genel olarak zayıf çevresel performans sergilediği tespit edilmiştir.

Wang ve Li (2024), ulusal sürdürülebilir kalkınma planını kentlerin ekolojik dirençlilik seviyesine etkilerini incelemek için kullanmışlardır. Ulusal sürdürülebilir kalkınma planının uygulanması şehirlerin ekolojik dirençlilik seviyesini önemli ölçüde artırmış ve bu etki farklı büyüme tipleri, bölgeler ve kaynak türleri için farklılık göstermiştir. Li ve diğerleri (2023), çevresel dirençliliği değerlendirmek için çevresel kirlilik üretimi, kirlilik yönetimi ve ekolojik koruma olmak üzere üç boyutta ekolojik değerlendirme sistemi oluşturmuştur.

Bulgular, Çin'deki ekolojik çevre dirençliliğinin istikrarlı bir şekilde artış gösterdiğini ancak bazı dalgalanmaların olduğunu ortaya koymuştur. Analiz sonucunda çevresel iyileştirme yatırımları, atık su vergileri, yeşil teknolojik yenilikler ve endüstriyel yenilenme çözümleri önerilmiştir.

Çevresel dirençlilik kavramı kent boyutunda da önem kazanmaya başlamıştır. Kentsel dirençlilik kavramı ilk kez Uluslararası Bölgesel Sürdürülebilirlik Konseyi tarafından ele alınmıştır. Özellikle dirençlilik, karmaşık ve adaptif sistemler olarak teorize edilen şehirlere yönelik ilgi çekici bir bakış açısı olarak ortaya çıkmıştır (Batty, 2008). Ayrıca akıllı kentlerin enerji tasarrufu ve emisyon azaltımı gibi projelerle kentsel dirençliliğe katkı sağlaması, dirençli kentlerin oluşturulmasına yönelik artan akademik ilgiyi de desteklemektedir (Wang ve Li, 2024). Değirmenci ve diğerleri (2022), iklim değişikliği ile mücadelede dirençli şehirlerin oluşturulması için çok paydaşlı iş birliğiyle stratejik planlar geliştirilmesi ve uygulanması sürecini ele almıştır. Kentin özelliklerine odaklanarak, iklim değişikliği politikalarına uygun iklim değişikliği eylem planı oluşturulmuş ve akıllı şehir uygulamalarıyla sürdürülebilirlik ve adaptasyon hedeflenmiştir. Çalışma sonucunda iklim direncinin göz önünde bulundurularak yenilenebilir enerji kaynakları, ulaşımda entegrasyonun sağlanması ve sera gazı emisyonlarını azaltıcı eylem ve planların geliştirilmesi gerekliliği vurgulanmıştır. Zhu ve diğerleri (2019), Çin'deki 187 akıllı kentin dirençliliğini ölçmek amacıyla AHP ve TOPSIS yöntemlerini kullanmıştır. Çalışma sonucunda akıllı kentleşmenin kentsel dirençlilik üzerinde pozitif etkisi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Çin'de akıllı ve dirençli kalkınmayı teşvik etmek için altyapı ve ekonomik gelişmenin güçlendirilmesi ve çok paydaşlı iş birliğinin artırılması gibi stratejiler sunulmuştur. Kentsel dirençliliğin geliştirilmesi bir şehrin risklere direnme yeteneğini artırabilmektedir (Connolly, 2019). 2005 Hugo Konferansı'nda "dirençlilik" terimi ilk kez afet yönetimi çerçevesinde kullanılmış ve afet etkilerinin azaltılması önemli bir konu olarak öne çıkmıştır (Mayunga, 2007). Doğal afetlerde dirençlilik, başlangıçta afetlerin etkilerini değerlendirme konusunda önemli bir argüman olarak tanımlanmıştır. Örneğin, Liu ve diğerleri (2022), iklim değişikliği bağlamında afet riskiyle ilgili artan belirsizliğin sürdürülebilir kentsel yönetim için yeni zorluklar ortaya çıkardığına odaklanmıştır. Chadha ve diğerleri (2007), doğal afetlerin yöneticilerin afet kurtarma ve direnç artırma planları olmaması halinde felaketlere yol açacağını belirtmiştir. Osman (2021), dirençli şehirlerin ve yerel yönetimlerin çevresel dirençliliğini değerlendirmek için göstergeler geliştirmiştir. Japonya genelindeki yerel yönetimlere yönelik bir anket kullanılarak idari göstergeleri ölçen araştırma sonuçlarına göre birçok yerel yönetim deprem, nüfus azalışı ve sera gazı emisyonlarındaki artış gibi tehditler beklemektedir. Bu tehditlere karşı dirençlilik önlemleri uygulanmaktadır. Bu önlemler arasında yenilenebilir enerji kullanımının teşvik edilmesi ve afetle ilgili bilgi toplama ve sağlama yöntemlerinin geliştirilmesi gibi adaptif önlemler yer almaktadır.

Literatür bir bütün olarak incelendiğinde mevcut araştırmaların çevresel dirençliliği genellikle kent ölçeğinde ortaya çıkabilecek tehditlere karşı değerlendirildiği görülmektedir. Bu durum ulusal düzeyde çevresel dirençliliğin daha geniş ve detaylı incelenmesi gerektiğini göstermektedir.

3. VERİ ve METODOLOJİ

ÇKKV literatüründe kriter ağırlıkları objektif ve subjektif olarak belirlenmektedir. Subjektif yöntemlerde kriter ağırlıklarının tespiti için uzman görüşüne başvurulmaktadır. Bu nedenle subjektif ağırlıklandırma altında gerçekleştirilen analizlerde artan kriter sayısı karşısında tercihlerin doğruluğu azalmakta ve verimlilik düşmektedir (Wang ve diğerleri, 2009). Buna karşılık objektif ağırlıklandırma yöntemlerinde uzman görüşüne başvurulmadan karar matrisine dayalı bir hesaplama süreci uygulanmaktadır. Böylece elde edilen ağırlıklar verilerin yapısının temel özelliklerini göstermektedir (Zavadskas ve Podvezko, 2016). Bu nedenle daha anlamlı sonuçlar elde etmek için objektif ağırlıklandırma yöntemleri tercih edilmektedir (Wu, 2011). Her birinin kendine göre farklı avantaj ve dezavantajları bulunan ÇKKV yöntemleri, karar vericilere tüm alternatifleri çeşitli kriterlere göre değerlendirerek uygun çözümler elde etme olanağı sağlamaktadır. Çok sayıda mevcut ÇKKV yöntemi olmasına rağmen literatürde her karar verme senaryosu için tek bir yöntemin optimal olduğu düşünülmemektedir (Guitouni ve Martel, 1998; Roy ve Słowiński, 2013; Lee ve Chang, 2018). Aynı probleme farklı yöntemlerin uygulanması durumunda farklı sonuçların elde edilebileceği belirtilmektedir (Zavadskas ve Turskis, 2011). Bu kapsamda alternatiflerin sıralamasını karşılaştırmak için TOPSIS, VIKOR ve ARAS yöntemleri kullanılmıştır. Daha sonra karşılaştırma analiz sonuçları Borda yöntemi ile birleştirilerek tek bir sıralama sonucu elde edilmiştir.

Bu çalışmada Türkiye'nin çevresel dirençliliğini değerlendirmek için veri odaklı MEREC ve COPRAS yöntemleri kullanılmıştır. Öncelikle MEREC yöntemi kullanılarak kriter ağırlıkları belirlenmiştir. Bu yöntem kriterlerin alternatifler üzerindeki kaldırma etkilerini dikkate alan objektif bir ağırlıklandırma yöntemidir (Keshavarz-Ghorabae ve diğerleri, 2021). Daha sonra belirlenen kriter ağırlıkları dikkate alınarak COPRAS yöntemi aracılığıyla alternatiflerin performans sıralaması gerçekleştirilmiştir. Zavadskas ve diğerleri (1994) tarafından geliştirilen bu yöntem maliyet ve fayda kriterlerini birlikte değerlendirebilmektedir. Bunun yanı sıra her bir alternatifin fayda derecelerini değerlendirerek optimum çözüme ne kadar yakın olduğunu belirlemeye yardımcı olması bu yöntemin avantajıdır. Değerlendirilmek üzere çalışmada kullanılan kriterler ve alternatifler Tablo 2'de sunulmaktadır.

Tablo 2. Veri seti

Kod	Kriter	Kriter Yönü	Kod	Alternatif
N1	Kişi başına ulaştırmadan kaynaklanan CO ₂ emisyonları	Minimum	S1	2007
N2	Kişi başına düşen yerli malzeme tüketimi	Minimum	S2	2008
N3	Enerji verimliliği	Maksimum	S3	2009
N4	Kişi başı çevresel patent	Maksimum	S4	2010
N5	GSYİH başına sera gazı emisyonları	Minimum	S5	2011
N6	Pestisit kullanımı	Minimum	S6	2012
N7	Korunan tatlı su ana biyoçeşitlilik alanları	Maksimum	S7	2013
N8	Korunan karasal ana biyoçeşitlilik alanları	Maksimum	S8	2014
N9	Nihai enerji tüketiminde yenilenebilir enerji	Maksimum	S9	2015
N10	Kaynak verimliliği	Maksimum	S10	2016
N11	Geri kazanılan belediye atıklarının payı	Maksimum	S11	2017
N12	Su stresi	Minimum	S12	2018
			S13	2019

Bir sonraki bölümde kriter ağırlıklandırmasında kullanılan MEREC yöntemi ve alternatif sıralamasında kullanılan COPRAS yöntemi tanıtılmıştır.

3.1. MEREC

Bu çalışmada, ÇKKV problemlerinden kriter ağırlıklarını belirlemek için MEREC yöntemi kullanılmıştır. MEREC, alternatiflerin performansı üzerinde her bir kriterin kaldırma etkisini kullanarak kriter ağırlıklarını belirlemektedir. Daha yüksek etkilere sahip kriterlere daha yüksek ağırlıklar atanmaktadır. MEREC yöntemi ile objektif ağırlıkların hesaplanması için aşağıdaki adımlar kullanılmaktadır (Ghorabae ve diğerleri, 2021):

Adım 1: Karar matrisi oluşturma. Başlangıç karar matrisi Eşitlik 1'deki gibi oluşturulur. Karar matrisinde negatif değerlerin yer alması durumunda uygun bir teknik ile pozitif değerlere dönüştürülmelidir.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2j} & \dots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{im} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nj} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Adım 2: Normalize karar matrisini oluşturma. Karar matrisi aşağıdaki eşitlikler yardımı ile normalize edilir.

$$n_{ij}^x = \begin{cases} \frac{\min_{k,j} x_{kj}}{x_{ij}} & \text{if } j \in U \\ \frac{x_{ij}}{\max_{k,j} x_{kj}} & \text{if } j \in T \end{cases} \quad (2)$$

Burada U fayda kriterlerini T ise, maliyet kriterlerinin kümesini temsil etmektedir.

Adım 3: Alternatiflerin toplam performans değerlerini hesaplama (S_i): Alternatiflerin genel performans değerleri Eşitlik 3 kullanılarak hesaplanır.

$$S_i = \ln \left(1 + \left(\frac{1}{m} \sum_j |\ln(n_{ij}^x)| \right) \right) \quad (3)$$

Bu hesaplama için eşit kriter ağırlıklarına sahip bir logaritmik ölçü uygulanır. Önceki adımda elde edilen normalize değerler kullanılarak daha küçük (n_{ij}^x) değerleri daha yüksek (S_i) değerlerine karşılık gelmektedir.

Adım 4: Alternatiflerin performansını her bir kriteri kaldırarak hesaplama (S'_{ij}). Bu adımda, önceki adımdaki gibi logaritmik ölçü kullanılır. Bu adım ile bir önceki adım şu şekilde farklılaşmaktadır. Bu adımda alternatiflerin performanslarının her bir kriterin ayrı ayrı kaldırılmasına dayalı olarak hesaplanmaktadır. Bu nedenle m kriterle ilişkilendirilmiş n farklı performans kümesi bulunmaktadır.

$$S'_{ij} = \ln \left(1 + \left(\frac{1}{m} \sum_{k,k \neq j} |\ln(n_{ik}^x)| \right) \right) \quad (4)$$

Adım 5: Mutlak sapmaların toplamını hesaplama. Bu adımda kriterin kendisi üzerindeki çıkartılma etkisi ölçülür.

$$E_j = \sum_i |S'_{ij} - S_i| \quad (5)$$

Adım 6: Kriter ağırlıklarını hesaplama (w_j). Her bir kriterin objektif ağırlığı Eşitlik 6 kullanılarak hesaplanır:

$$w_j = \frac{E_j}{\sum_k E_k} \quad (6)$$

3.2. COPRAS

Bu çalışmada, ÇKKV problemlerinden alternatif performans sıralamasını belirlemek için COPRAS yöntemi kullanılmıştır. COPRAS'ın diğer yöntemlere göre avantajı hem kriter değerlendirmesini maksimize etmek hem de minimize etmek için kullanılmasıdır (Mohanrasu ve diğerleri, 2024). COPRAS yöntemi ile alternatiflerin performanslarının hesaplanması için aşağıdaki adımlar kullanılmaktadır (Zavadskas ve diğerleri, 1994):

Adım 1: Karar matrisi oluşturma. i kriterine bağlı j alternatifinden oluşan ve X ile gösterilen karar matrisi oluşturulur. Karar matrisi Eşitlik 7'de gösterilmiştir.

$$X = [x_{ij}]_{m \times n} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

Burada m kriter sayısını n alternatif sayısını ifade etmektedir.

Adım 2: Normalize karar matrisinin oluşturulması. Karar matrisi Eşitlik 8 kullanılarak normalize edilir.

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (8)$$

Adım 3: Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisini oluşturma. Ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisi oluşturma işlemi Eşitlik 9 kullanılarak yapılır.

$$\hat{x}_{ij} = \bar{x}_{ij} \cdot \omega_j \quad (9)$$

Burada ω_j , j . kriterin ağırlığını temsil eder.

Adım 4: Maksimizasyon ve minimizasyon yönlü indeks değerlerinin hesaplanması. S_{i+} maksimum yönlü ve S_{i-} minimum yönlü kriterlere ilişkin indeks değerlerinin hesaplanması Eşitlik 10 ve 11'de gösterilmiştir.

$$S_{i+} = \sum_{j=1}^k \hat{x}_{+ij} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, k \quad (10)$$

$$S_{i-} = \sum_{j=k+1}^n \hat{x}_{-ij} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = k + 1, k + 2, \dots, n \quad (11)$$

Adım 5: Göreceli önem değerlerinin hesaplanması. Her alternatif için Q_i olarak simgelenen göreceli önem değeri Eşitlik 12 kullanılarak hesaplanır.

$$Q_i = S_i + \frac{\sum_{i=1}^m S_{i-}}{S_{i-} \sum_{i=1}^m \frac{1}{S_{i-}}} \quad (12)$$

Adım 6: Karar alternatiflerinin fayda derecelerinin belirlenmesi. En yüksek göreceli öncelik değeri Eşitlik 13 kullanılarak bulunur.

$$Q_{max} = \max \{Q_i\} \quad \forall i = 1, 2, \dots, m \quad (13)$$

Adım 7: Alternatiflerin performans indeksinin hesaplanması. Her bir alternatif için P_i olarak simgelenen performans indeksi Eşitlik 14 kullanılarak hesaplanır.

$$P_i = \frac{Q_i}{Q_{max}} \cdot \%100 \quad (14)$$

Performans indeksi (P_i) 100 olan alternatif en iyi alternatiftir. Alternatiflerin tercih sırası performans indeks değerlerinin en yüksekte en düşüğe doğru sıralanmasıyla belirlenir.

4. BULGULAR

Kriterlerin yıllara göre performans etkisinin belirlenmesi amacıyla ilk olarak MEREC yöntemi ile ağırlıklar hesaplanmıştır. EUROSTAT'tan elde edilen verilere göre oluşturulan karar matrisi Tablo 3'de sunulmuştur. Performans değerlerinin aynı standartları karşıladığından emin olmak için normalizasyon gerçekleştirilmiştir. Karar matrisini normalize etmek için Eşitlik 2 kullanılmıştır ve normalize edilmiş karar matrisi Tablo 4'te sunulmuştur.

Alternatiflerin genel performans değerleri Eşitlik 3 kullanılarak hesaplanmış ve Tablo 5'te sunulmuştur. Her bir alternatifin ve her bir kriterin kaldırılması durumunda performans değeri Eşitlik 4 kullanılarak hesaplanmıştır.

Tablo 3. Karar matrisi

	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12
S1	0,68	14,50	0,33	0,34	528,75	1,96	4,03	2,27	12,48	0,59	2,53	30,80
S2	0,63	13,75	0,34	0,42	463,87	1,54	4,03	2,27	12,53	0,61	2,24	31,17
S3	0,62	13,42	0,32	0,38	555,91	1,55	4,03	2,27	13,12	0,59	2,37	33,52
S4	0,60	15,96	0,33	0,56	477,67	1,58	4,03	2,27	14,21	0,53	1,52	34,88
S5	0,60	18,68	0,34	0,50	469,69	1,67	4,03	2,27	12,68	0,50	2,15	36,20
S6	0,68	19,43	0,34	0,52	465,06	1,79	4,03	2,27	13,03	0,49	1,19	37,52
S7	0,75	20,38	0,38	0,87	418,02	1,66	4,17	2,33	13,80	0,50	1,24	38,06
S8	0,79	19,36	0,39	1,14	453,41	1,66	4,17	2,33	11,51	0,54	0,90	38,60
S9	0,92	20,62	0,38	1,23	501,97	1,63	4,17	2,33	13,34	0,53	1,11	39,89
S10	0,99	16,85	0,37	1,50	529,85	2,11	4,17	2,33	13,23	0,66	9,79	44,28
S11	1,02	17,47	0,37	1,55	585,70	2,32	4,17	2,33	11,40	0,68	9,79	43,67
S12	1,01	21,84	0,39	1,57	646,81	2,59	4,17	2,33	11,83	0,55	12,33	45,38
S13	1,00	22,09	0,38	1,48	645,80	2,22	4,17	2,33	14,12	0,54	12,33	45,71

Tablo 4. Normalize karar matrisi

	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12
S1	0,666	0,656	0,980	1	0,817	0,756	1	1	0,913	0,843	0,355	0,673
S2	0,617	0,622	0,954	0,819	0,717	0,594	1	1	0,909	0,802	0,401	0,681
S3	0,607	0,607	1	0,912	0,859	0,598	1	1	0,868	0,834	0,379	0,733
S4	0,588	0,722	0,993	0,608	0,738	0,610	1	1	0,802	0,927	0,592	0,763
S5	0,588	0,845	0,948	0,680	0,726	0,644	1	1	0,899	0,991	0,418	0,791
S6	0,666	0,879	0,948	0,661	0,719	0,691	1	1	0,874	1	0,756	0,820
S7	0,735	0,922	0,853	0,392	0,646	0,640	0,966	0,975	0,826	0,983	0,725	0,832
S8	0,774	0,876	0,840	0,300	0,700	0,640	0,966	0,975	0,990	0,905	1	0,844
S9	0,901	0,933	0,860	0,278	0,776	0,629	0,966	0,975	0,854	0,924	0,810	0,872
S10	0,970	0,762	0,883	0,228	0,819	0,814	0,966	0,975	0,861	0,743	0,091	0,968
S11	1	0,790	0,879	0,221	0,905	0,895	0,966	0,975	1	0,728	0,091	0,955
S12	0,990	0,988	0,840	0,218	1	1	0,966	0,975	0,963	0,897	0,072	0,992
S13	0,980	1	0,847	0,231	0,998	0,857	0,966	0,975	0,807	0,911	0,072	1

Tablo 5. Sı değerleri

Kriter	S _i	Kriter	S _i
S1	0,17314	S8	0,174246
S2	0,16909	S9	0,174012
S3	0,17121	S10	0,168817
S4	0,17079	S11	0,171281
S5	0,17219	S12	0,174887
S6	0,17565	S13	0,173037
S7	0,17195		

Mutlak sapma (E_j), Eşitlik 5, kriterlerin ağırlıkları ise Eşitlik 6 kullanılarak hesaplanmıştır ve Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 6. E_j değerleri ve (W_j) kriter ağırlıkları

	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12
E_j	0,0776	0,0815	0,0917	0,0501	0,0802	0,0718	0,0993	0,0998	0,0895	0,0887	0,0436	0,0843
W_j	0,0809	0,0850	0,0957	0,052	0,083	0,0749	0,1036	0,1041	0,0933	0,0925	0,0455	0,08797

MEREC yöntemi ile her bir kriterin önem ağırlıkları belirlendiğinde sıralama şu şekilde gerçekleşmiştir: $N8 > N7 > N3 > N9 > N10 > N12 > N2 > N5 > N1 > N6 > N4 > N11$.

Korunan karasal ve tatlı su ana biyoçeşitlilik alanları, enerji verimliliği önem ağırlıkları en yüksek kriterler olarak belirlenmiştir. Kişi başına ulaştırmadan kaynaklanan CO₂ emisyonları ve pestisit kullanımı önem ağırlıkları en düşük kriterler olarak tespit edilmiştir. Seçilen yılların performans sıralamalarını belirlemek için çalışmanın ikinci aşaması olarak COPRAS yöntemi kullanılmıştır. MEREC analizinde kullanılan Tablo 2'de belirtilen başlangıç karar matrisi burada da kullanılmıştır. Tablo 2'deki her bir elemanın normalize edilme işlemi Eşitlik 8 yardımıyla yapılmış ve normalize karar matrisi Tablo 7'deki gibi oluşturulmuştur.

Tablo 7. Normalize karar matrisi

	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12
S1	0,066	0,061	0,070	0,028	0,078	0,080	0,075	0,075	0,074	0,080	0,042	0,061
S2	0,061	0,058	0,072	0,034	0,068	0,063	0,075	0,075	0,074	0,083	0,037	0,062
S3	0,060	0,057	0,068	0,031	0,082	0,063	0,075	0,075	0,078	0,080	0,039	0,067
S4	0,058	0,068	0,070	0,046	0,070	0,065	0,075	0,075	0,084	0,072	0,025	0,069
S5	0,058	0,079	0,072	0,041	0,069	0,068	0,075	0,075	0,075	0,068	0,036	0,072
S6	0,066	0,082	0,072	0,043	0,068	0,073	0,075	0,075	0,077	0,067	0,020	0,075
S7	0,072	0,087	0,081	0,072	0,062	0,068	0,078	0,077	0,082	0,068	0,020	0,076
S8	0,076	0,082	0,083	0,094	0,067	0,068	0,078	0,077	0,068	0,073	0,015	0,077
S9	0,089	0,088	0,081	0,101	0,074	0,067	0,078	0,077	0,079	0,072	0,018	0,079
S10	0,096	0,071	0,079	0,124	0,078	0,086	0,078	0,077	0,079	0,090	0,164	0,088
S11	0,099	0,074	0,079	0,128	0,086	0,095	0,078	0,077	0,068	0,093	0,164	0,087
S12	0,098	0,093	0,083	0,130	0,095	0,106	0,078	0,077	0,070	0,075	0,207	0,090
S13	0,097	0,0943	0,081	0,122	0,095	0,091	0,078	0,077	0,084	0,073	0,207	0,091

Eşitlik 9 kullanılarak ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi elde edilmiştir. Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi Tablo 8'de sunulmuştur.

Tablo 8. Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi

	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12
S1	0,005	0,005	0,006	0,001	0,006	0,006	0,007	0,007	0,006	0,007	0,001	0,005
S2	0,004	0,005	0,006	0,001	0,005	0,004	0,007	0,007	0,007	0,007	0,001	0,005
S3	0,004	0,004	0,006	0,001	0,006	0,004	0,007	0,007	0,007	0,007	0,001	0,005
S4	0,004	0,005	0,006	0,002	0,005	0,004	0,007	0,007	0,007	0,006	0,001	0,006
S5	0,004	0,006	0,006	0,002	0,005	0,005	0,007	0,007	0,007	0,006	0,001	0,006
S6	0,005	0,007	0,006	0,002	0,005	0,005	0,007	0,007	0,007	0,006	0,000	0,006
S7	0,005	0,007	0,007	0,003	0,005	0,005	0,008	0,008	0,007	0,006	0,000	0,006
S8	0,006	0,007	0,008	0,004	0,005	0,005	0,008	0,008	0,006	0,006	0,000	0,006
S9	0,007	0,007	0,007	0,005	0,006	0,005	0,008	0,008	0,007	0,006	0,000	0,007
S10	0,007	0,006	0,007	0,006	0,006	0,006	0,008	0,008	0,007	0,008	0,007	0,007
S11	0,008	0,006	0,007	0,006	0,007	0,007	0,008	0,008	0,006	0,008	0,007	0,007
S12	0,007	0,007	0,008	0,006	0,008	0,008	0,008	0,008	0,006	0,007	0,009	0,007
S13	0,007	0,008	0,007	0,006	0,008	0,006	0,008	0,008	0,007	0,006	0,009	0,008

Ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisi oluşturulduktan sonra S_{i+} maksimum yönlü ve S_{i-} minimum yönlü kriterler sırasıyla Eşitlik 10 ve Eşitlik 11 kullanılarak hesaplanmıştır. Q_i göreceli önem değeri ise Eşitlik 12 kullanılarak hesaplanmıştır. Bulunan en yüksek göreceli öncelik değeri 0,082006571 olarak tespit edilmiştir. Her yıla ilişkin olarak hesaplanan performans indeksi P_i , Eşitlik 14 kullanılarak hesaplanmıştır ve sonuçlar Tablo 9'da sunulmuştur.

Tablo 9. COPRAS S_{i+} , S_{i-} , Q_i , P_i değerleri

	S_{i+}	S_{i-}	Q_i	P_i	Sıra
S1	0,040357312	0,028648588	0,074909514	91,34574653	10
S2	0,040969148	0,025946676	0,078855211	96,15718604	5
S3	0,04056034	0,027335627	0,076772123	93,61703893	7
S4	0,04074475	0,027460686	0,076791622	93,64081521	6
S5	0,039937754	0,028858905	0,074238148	90,52707236	12
S6	0,039358586	0,030305761	0,072021413	87,8239541	13
S7	0,042774315	0,030311281	0,075431193	91,98188942	8
S8	0,043119331	0,030790311	0,07526814	91,78305996	9
S9	0,044360129	0,033008056	0,074348924	90,6621545	11
S10	0,053554276	0,034790579	0,082006571	100	1
S11	0,053002956	0,036485644	0,080133403	97,71583186	2
S12	0,054037634	0,039885916	0,079119385	96,47932354	4
S13	0,05459348	0,038801961	0,080104351	97,68040487	3

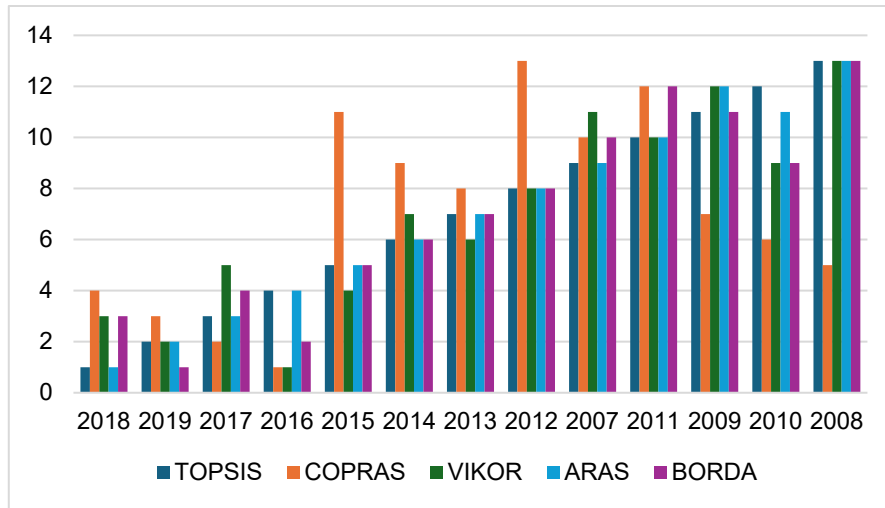
4.1. Karşılaştırmalı Analiz

Farklı ÇKKV yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilen karşılaştırma analizi bulguları Tablo 10'da sunulmuştur. Karşılaştırmalı analiz sonucunda elde edilen bulgulara göre tüm yöntemlerde 2016, 2017, 2018 ve 2019 yılları çevresel dirençliliğin yüksek olduğu yıllar olarak saptanmıştır. COPRAS yöntemi hariç diğer üç yöntemde 2008 yılı çevresel performansın en düşük olduğu yıl olarak tespit edilmiştir. 2007-2010 dönemi

genel sıralamada çevresel dirençliliğin en düşük olduğu yıllar olarak karşımıza çıkmaktadır. Şekil 2'de BORDA ve diğer sonuçların karşılaştırması sunulmuştur.

Tablo 10. Karşılaştırmalı analiz sonuçları

TOPSIS		COPRAS		VIKOR		ARAS		BORDA	
Yıl	C_i^*	Yıl	P_i	Yıl	Q_i	Yıl	K_i	Yıl	Skor Sıra
2018	0,8326	2016	100	2016	0,0776	2018	0,9668	2019	47 1
2019	0,8281	2017	97,7158	2019	0,1628	2019	0,9634	2016	45 2
2017	0,7519	2019	97,6804	2018	0,2890	2017	0,9230	2018	44 3
2016	0,7243	2018	96,4793	2015	0,3710	2016	0,9119	2017	43 4
2015	0,4235	2008	96,1571	2017	0,4793	2015	0,8048	2015	31 5
2014	0,3561	2010	93,6408	2013	0,5822	2014	0,7690	2014	28 6
2013	0,3252	2009	93,6170	2014	0,6094	2013	0,7613	2013	28 7
2012	0,2467	2013	91,9818	2012	0,9448	2012	0,7267	2012	19 8
2007	0,2199	2014	91,7830	2010	0,9709	2007	0,7177	2010	18 9
2011	0,2194	2007	91,3457	2011	0,9748	2011	0,7165	2007	17 10
2009	0,2089	2015	90,6621	2007	0,9754	2010	0,7101	2009	15 11
2010	0,1986	2011	90,5270	2009	0,9823	2009	0,7077	2011	14 12
2008	0,1689	2012	87,8239	2008	1	2008	0,6971	2008	9 13



Şekil 2. Genel sıralama sonuçları

Borda yöntemi, Türkiye'nin çevresel dirençliliğinde özellikle son yıllardaki pozitif gelişmeleri vurgulamaktadır. 2016-2019 dönemindeki yüksek performanslar, Türkiye'nin çevre politikalarındaki iyileşmeyi ve daha sürdürülebilir bir yaklaşım benimsediğini göstermektedir. Diğer yandan 2007-2010 döneminin sıralamaları bu yılların çevresel dirençlilik açısından en zayıf yıllar olduğuna işaret etmektedir. Özetle, Türkiye'nin çevresel dirençlilik performansı yıllar içerisinde dalgalanma göstermesine rağmen son yıllarda belirgin bir iyileşme gösterdiği gözlemlenmiştir.

5. TARTIŞMALAR ve POLİTİKA ÇIKARIMLARI

Veri odaklı MEREK ve COPRAS analiz sonuçları, Türkiye'nin çevresel dirençliliği hakkında önemli bilgiler sunmaktadır. MEREK yönteminden elde edilen bulgular sonucunda korunan karasal (N8) ve tatlı su biyoçeşitlilik alanları (N7) sırasıyla birinci ve ikinci en önemli kriter olarak tespit edilmiştir. İklim değişikliğinin şiddetlenmesi ile giderek önem kazanan korunan alanlar, biyoçeşitlilik ve doğal kaynakların korunmasında önem arz etmektedir. Korunan alanlar, türlerin yaşam alanlarında iklim değişikliği kaynaklı değişimlerin azaltılmasına yardımcı olmanın yanı sıra korunan alanlar arasındaki bağlantı, iklim değişikliğinin ilk aşamalarında bile bazı türler için hayati önem taşımaktadır (Hannah, 2008). Aynı zamanda SKA-14 ve SKA-15 gibi bazı Sürdürülebilir Kalkınma Amaçlarına (SKA) doğrudan ulaşılmasına yardımcı olmaktadır (Dudley, 2024). Ancak Dünya ve Avrupa'ya kıyasla çok daha düşük seviyelerde bulunan Türkiye'nin korunan alanları, ekosistemlerin ve toplumun çevresel değişikliklere uyum sağlama ve bu değişikliklerden kurtulma kapasitesini azaltmaktadır. Türkiye'nin uzun dönemde sürdürülebilirliği ve çevresel dirençliliği desteklemesi için korunan alanların etkin yönetimi gerekmektedir. Böylece iklim değişikliği kaynaklı çevresel değişikliklere uyum sağlama ve önleme başta olmak üzere SKA'ların da gerçekleştirilebilmesi mümkün olabilecektir.

Enerji verimliliği (N3) Türkiye'nin çevresel dirençliliğinde üçüncü en önemli kriterdir. Türkiye, enerji kaynaklarını çeşitlendirme çabalarına rağmen fosil yakıtlar hala ekonominin ana kaynağıdır (IEA, 2024b)². 2017-2023 Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı, binalar ve hizmet, enerji ve ısı, ulaşım, sanayi ve teknoloji, tarım ve kesişen alanlar gibi çeşitli sektörlerde birincil enerji tüketimini mevcut eğilimlere göre %14 azaltmayı hedeflemektedir (IEA, 2021). Türkiye'nin enerji sistemini yeniden yapılandırma çabaları, enerji talebindeki artışı yöneterek, verimliliği artırarak, maliyetleri düşürerek ve ithalat bağımlılığını azaltarak enerji verimliliğini artırmaya yönelmelidir. Bu çabalar daha sürdürülebilir ve ekonomik açıdan daha verimli bir enerji ortamına ve dolayısıyla daha yüksek çevresel dirençliliğe yol açabilir.

Nihai enerji tüketiminde kullanılan yenilenebilir enerji oranı (N9), Türkiye'nin iklim değişikliğiyle mücadelesinde ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmasında kritik bir öneme sahiptir. Özellikle fosil yakıt bağımlılığını azaltmak için yenilenebilir enerjinin nihai enerji tüketimine entegrasyonu giderek daha önemli hale gelmektedir. Türkiye, yenilenebilir enerjinin benimsenmesi yoluyla enerji üretiminin ekolojik ayak izini en aza indirerek çevresel sürdürülebilirliği ve dirençliliği artırmayı amaçlamalıdır. Geleneksel enerji kaynaklarının aksine yenilenebilir enerji sistemleri doğal ekosistemlerle uyumlu bir şekilde bir arada var olacak şekilde tasarlanabilir. Bu sayede biyoçeşitliliği ve çevresel korumayı teşvik etmek mümkündür. Bu kapsamda yenilenebilir enerjinin çevresel dirençliliği artırma potansiyelini maksimize etmek için alternatif finansman koşulları ve teşviklerin yanı sıra yenilenebilir enerjiye elverişli mevcut ortamın güçlendirilmesi önemlidir. Böylece sürdürülebilir ve dirençli bir enerji geleceğine geçiş sağlanabilir. Yenilenebilir enerjinin nihai enerji tüketimindeki payının artırılması hem çevresel hem de ekonomik dirençliliği destekleyerek fosil yakıt bağımlılığını azaltabilir. Bunun yanı sıra SKA'ların bir parçası olan bu kriter, erişilebilir ve temiz enerji (SKA7) ve iklim eylemi (SKA13) ile ilişkilendirilmektedir (Avrupa Komisyonu, 2024b). Buradan hareketle yenilenebilir enerjinin enerji tüketimindeki artan payı aynı zamanda Türkiye'nin iklimle ilgili doğal tehlikelere ve bunların sonucunda ortaya çıkan felaketlere karşı dirençliliğinin ve uyum kapasitesinin de güçlendirilmesine katkı sağlayacaktır.

Karşılaştırmalı analiz sonucunda elde edilen bulgulara göre ise son yıllar dikkate alındığında çevresel dirençliliğin yüksek bir performans gösterdiği tespit edilmiştir. Genel olarak 2018 ve 2019 yıllarında Türkiye'nin çevresel dirençlilik performansında bir iyileşme olduğu sonucuna ulaşılmıştır. 2010'dan önceki yıllarda ise çevresel dirençlilik performansı daha düşük seyretmekle beraber bu Türkiye'nin çevresel stratejilerinde önemli iyileştirmeler yapmaya başladığı bir geçiş dönemi olduğuna işaret etmektedir.

Avrupa Komisyonu tarafından dirençlilik göstergeleri kapasite ve kırılabilirlik olmak üzere bir dizi gösterge içermektedir. Kapasite, geçişin başarılı bir şekilde yönetilmesi ve gelecekteki şoklarla başa çıkmada yardımcı olan güçlü yönler veya elverişli koşulları ifade ederken kırılabilirlik, geçiş sırasında karşılaşılan zorlukları daha da kötüleştirebilecek zayıflıkları veya risk faktörlerini ifade etmektedir (Avrupa Komisyonu, 2024a). Aşağıdaki tabloda MEREC tarafından tespit edilen önemli kriterlerin kapasite ve kırılabilirlikleri dikkate alınarak hazırlanan kapasite ve kırılabilirlik seviyeleri yer almaktadır.

Tablo 11. Kriter kapasite ve kırılabilirlik seviyeleri

Kriter	Kapasite/Kırılabilirlik				
	Çok düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok yüksek
Korunan karasal ana biyoçeşitlilik alanları	X				
Korunan tatlı su ana biyoçeşitlilik alanları			X		
Enerji verimliliği					X
Nihai enerji tüketiminde yenilenebilir enerji			X		
Kaynak verimliliği		X			

Not: Kaynak verimliliği hariç tüm kriterler kapasite kriteridir.

Ana biyoçeşitlilik alanları ekolojik denge ve iklim adaptasyonunda önem arz etmekle beraber Türkiye özelinde orta kapasite olarak tespit edilmiştir. Bu durum Türkiye'nin bazı korumalara sahip olmasına rağmen uygulama, kapsam veya yönetimde muhtemelen boşluklar olduğunu göstermektedir. Korumanın artırılması, iklim düzenlemesi ve biyoçeşitlilik için kritik öneme sahip ekosistemleri koruyarak dirençliliğin artırabileceği söylenebilir. En yüksek kapasiteye sahip olan Türkiye'nin enerji verimliliği, çevresel dirençlilik için kilit unsurdur. Verimli enerji kullanımı yoluyla olumsuz çevresel etkinin azaltılması mümkündür. Bu durum kaynaklara bağımlılığı azaltarak ve ekonomik verimliliği artırarak diğer dirençlilik alanlarını destekleyebilecek önemli bir gücü yansıtmaktadır. Türkiye yenilenebilir enerji alanında ilerleme kaydetmiş olsa da orta kapasitede olması hala fırsat olarak değerlendirilebilir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının payının artırılması sadece karbonsuzlaştırmayı desteklemekle kalmayacak aynı zamanda enerji güvenliğini ve bağımsızlığını da geliştirerek gelecekteki büyüme için önemli bir alan haline getirecektir. Son olarak orta-yüksek kırılabilirliğe sahip olan kaynak verimliliği önemli bir risk teşkil etmektedir. Bu durum özellikle

² IEA verilene göre Türkiye'nin petrol ve gaz ithalatına bağımlılık oranı sırasıyla %93 ve %99 gibi yüksek seviyelerde seyretmektedir.

ekonomik veya ekolojik stres dönemlerinde aşırı tüketime, çevresel bozulmaya ve daha yüksek maliyetlere yol açabilir. Kaynak verimliliğini artırarak bu kırılganlığı ele almak, israfı en aza indirmek ve sürdürülebilir büyümeyi sağlamak için çok önemli olacaktır. Özetle, Türkiye'nin çevresel dirençliliği büyük ölçüde biyoçeşitliliğin korunması ve yenilenebilir enerji alanlarındaki kapasitelerini geliştirmesine, kaynak verimliliğini artırarak enerji verimliliğindeki gücünden faydalanmasına bağlıdır.

6. SONUÇ

İklim değişikliği, biyoçeşitlilik tahribatı ve kirlilik gibi çevresel tehditler karşısında, sürdürülebilir kalkınmanın sağlanabilmesi için ülkelerin çevresel dirençlilik performanslarını iyileştirmeleri giderek daha önemli hale gelmektedir. Bu çalışmada, iklim değişikliği karşısında yüksek kırılganlığa sahip Türkiye'nin 2007-2019 dönemi çevresel dirençlilik performansı, EUROSTAT göstergeleri kullanılarak veri odaklı MEREC ve COPRAS yöntemleri ile incelenmiştir. Analiz sonucunda elde edilen bulgular, Türkiye'nin çevresel dirençliliğini korumak ve uzun vadede artırmak için biyolojik çeşitliliğin korunması, enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kullanımı gibi uzun vadeli stratejilere öncelik vermesi gerektiğini vurgulamaktadır. Bu bağlamda çalışmamız, Türkiye'nin çevresel dirençliliğini artırmaya yönelik stratejik öncelikleri belirleyerek literatürdeki bulgularla uyumlu sonuçlar sunmaktadır. Türkiye'nin biyolojik çeşitliliğin korunması, enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kullanımına odaklanarak çevresel dirençlilik seviyesini artırması gerektiği yönündeki bulgularımız, mevcut literatürde ortaya konan düşük dirençlilik seviyesinin nedenlerini daha iyi anlamamıza katkı sağlamaktadır. İkinci önemli bulgu ise Türkiye'nin çevresel dirençlilik performansının son yıllarda iyileşmeye başlamış olmasıdır. Türkiye'nin çevresel dirençlilik yaklaşımını benimsemesi, iklim değişikliğiyle birlikte ilgili sürdürülebilir kalkınma politikalarını şekillendirmesine olanak tanımaktadır. Bu, gelecekteki zorlukların etkisini azaltmaya ve sürdürülebilir bir dönüşüm için fırsatları değerlendirmeye katkı sağlamaktadır. Bu kriterler göz önünde bulundurularak yapılacak iyileştirmeler, Türkiye'nin çevresel performansını daha da güçlendirecek ve iklim değişikliği gibi küresel çevresel tehditlere karşı daha dirençli hale getirecektir. Ancak çevresel dirençlilik göstergelerinin kapasite ve kırılganlık durumlarına göre uygun politikaların belirlenmesi ihmal edilmemelidir.

Mevcut çalışmanın sonuçlarından yola çıkarak gelecekte bu konuda çalışma yapacak araştırmacılar için şu görüşler değerlendirilebilir. İlk olarak, çevresel dirençlilik performansının değerlendirilmesinde kullanılan zaman periyodu veri mevcudiyeti nedeniyle 2019 yılı ile sınırlandırılmıştır. Zaman periyodunun genişletilmesi ile süregelen gelişmenin görülmesi önem arz etmektedir. İkinci olarak Türkiye'nin çevresel dirençliliğinde biyoçeşitlilik göstergelerinin önemi dikkate alındığında farklı göstergeleri içeren yeni bir veri seti ve farklı sıralama yöntemleri ile analiz genişletilebilir. Son olarak yüksek kırılganlığa sahip ancak analiz sonucunda düşük önem derecesi tespit edilen diğer kriterlerin sistematik olarak takip edilerek uzun dönemde ortaya çıkarılabileceği riskler tartışılabilir.

Yazar Katkıları / Author Contributions

Salih Özdemir: Kavramsallaştırma, Metodoloji, Veri Derleme, Analiz, Makale Yazımı-rijinal taslak *Nimet Elmacioğlu:* Literatür taraması, Veri Derleme, Analiz, Makale Yazımı-inceleme ve düzenleme
Salih Özdemir: Conceptualization, Methodology, Data Curation, Analysis, Writing-original draft *Nimet Elmacioğlu:* Literature review, Data Curation, Analysis, Writing-review and editing

Çatışma Beyanı / Conflict of Interest

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

Fon Desteği / Funding

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

Etik Standartlara Uygunluk / Compliance with Ethical Standards

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

Etik Beyanı / Ethical Statement

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

It was declared by the 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

- Avrupa Komisyonu. (2024a). "Strategic Foresight", https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/strategic-planning_en, (Erişim Tarihi: 10.04.2024).
- Avrupa Komisyonu. (2024b). "Share of Renewable Energy in Gross Final Energy Consumption", https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/sdg_07_40_esmsip2.htm, (Erişim Tarihi: 10.04.2024).
- Batty, M. (2008). "The Size, Scale, and Shape of Cities", *Science*, 319(5864), 769-771. <https://doi.org/10.1126/science.1151419>
- Borden, K.A., Schmidtlein, M.C., Emrich, C.T., Piegorsch, W.W. ve Cutter, S.L. (2007). "Vulnerability of US Cities to Environmental Hazards", *Journal of Homeland Security and Emergency Management*, 4(2), 1-21. <https://doi.org/10.2202/1547-7355.1279>
- Chadha, R.K., Papadopoulos, G.A. ve Karanci, A.N. (2007). "Disasters Due to Natural Hazards", *Natural Hazards*, 40(3), 501-502. <https://doi.org/10.1007/s11069-006-9010-4>
- Connolly, J.J. (2019). "From Jacobs to the Just City: A Foundation for Challenging the Green Planning Orthodoxy", *Cities*, 91, 64-70. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2018.05.011>
- Değirmenci, R., Akşan, G.N., Hadımlıoğlu, S. ve Yılmaz, B. (2022). "İklim Değişikliğine Karşı Dirençli Kent/Şehir Uygulamaları: Denizli Örneği", *Çevre Şehir ve İklim Dergisi*, 1(2), 203-224.
- Dudley, N. (2024). "Protected Areas Helping Achieve the Sustainable Development Goals", <https://www.protectedplanet.net/en/news-and-stories/protected-areas-helping-achieve-the-sustainable-development-goals>, (Erişim Tarihi: 15.04.2024).
- Dünya Bankası. (2022). "Country Climate and Development Report", <https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/80bdfcf8-73b1-42b3-b107-1629f64a1f0c/content>, (Erişim Tarihi: 10.04.2024).
- Dünya Bankası. (2024). "Climate Change Action Plan 2021-2025", <https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/ee8a5cd7-ed72-542d-918b-d72e07f96c79>, (Erişim Tarihi: 10.04.2024).
- Giulia, D. (2023). "Implementing Urban Resilience in Urban Planning: A Comprehensive Framework for Urban Resilience Evaluation", *Sustainable Cities and Society*, 104821. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104821>
- Guitouni, A. ve Martel, J. M. (1998). "Tentative Guidelines to Help Choosing An Appropriate MCDA Method", *European Journal of Operational Research*, 109(2), 501-521. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(98\)00073-3](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00073-3)
- Hannah, L. (2008). "Protected Areas and Climate Change", *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1134(1), 201-212. <https://doi.org/10.1196/annals.1439.009>
- IEA (International Energy Agency), (2021). "Turkey 2021, IEA, Paris", <https://www.iea.org/reports/turkey-2021>, (Erişim Tarihi: 10.07.2024).
- IEA (International Energy Agency), (2024a). "Climate Resilience Policy", <https://www.iea.org/articles/turkiye-climate-resilience-policy-indicator>, (Erişim Tarihi: 10.04.2024).
- IEA (International Energy Agency), (2024b). "Energy System of Türkiye", <https://www.iea.org/countries/turkiye>, (Erişim Tarihi: 10.07.2024).
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), (2022). "Climate Change 2022: Impacts, Adaptation And Vulnerability", <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>, (Erişim Tarihi: 10.04.2024).
- Karahan, M., Yıldırım, Z. ve Yıldırım, T. (2025). "Comparative Analysis of Turkey's Environmental Performance with Eastern European Countries According to International EPI 2022 Data", *Green Technologies and Sustainability*, 3(1), 100116. <https://doi.org/10.1016/j.grets.2024.100116>
- Keshavarz-Ghorabae, M., Amiri, M., Zavadskas, E. K., Turskis, Z. ve Antucheviciene, J. (2021). "Determination of Objective Weights Using A New Method Based on the Removal Effects of Criteria (MEREC)", *Symmetry*, 13(4), 525. <https://doi.org/10.3390/sym13040525>
- Lee, H.C. ve Chang, C.T. (2018). "Comparative Analysis of MCDM Methods for Ranking Renewable Energy Sources in Taiwan", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 92, 883-896. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.05.007>
- Li, D., Yang, W. ve Huang, R. (2023). "The Multidimensional Differences and Driving Forces of Ecological Environment Resilience in China", *Environmental Impact Assessment Review*, 98, 106954. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2022.106954>
- Liu, L., Lei, Y., Zhuang, M. ve Ding, S. (2022). "The Impact of Climate Change on Urban Resilience in the Beijing-Tianjin-Hebei Region", *Science of the Total Environment*, 827, 154157. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154157>
- Mayunga, J.S. (2007). "Understanding and Applying the Concept of Community Disaster Resilience: A Capital-Based Approach", *Summer Academy for Social Vulnerability and Resilience Building*, 1(1), 1-16.

- Moghim, S. ve Garna, R. K. (2019). "Countries' Classification by Environmental Resilience", *Journal of Environmental Management*, 230, 345-354. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.09.090>
- Mohanrasu, S. S., Janani, K. ve Rakkiyappan, R. (2024). "A COPRAS-based Approach to Multi-Label Feature Selection for Text Classification", *Mathematics and Computers in Simulation*, 222, 3-23. <https://doi.org/10.1016/j.matcom.2023.07.022>
- Osman, T. (2021). "A Framework for Cities and Environmental Resilience Assessment of Local Governments", *Cities*, 118, 103372. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103372>
- Ozdemir, S. (2024). "Unveiling Environmental Resilience: A Data-Driven Multi-Criteria Decision-Making Approach", *Environmental Impact Assessment Review*, 108, 107607. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2024.107607>
- Roy, B. ve Słowiński, R. (2013). "Questions Guiding the Choice of A Multicriteria Decision Aiding Method", *EURO Journal on Decision Processes*, 1(1-2), 69-97. <https://doi.org/10.1007/s40070-013-0004-7>
- Sadler, A., Ranger, N., Fankhauser, S., Marotta, F. ve O'Callaghan, B. (2024). "The Impact of COVID-19 Fiscal Spending on Climate Change Adaptation and Resilience", *Nature Sustainability*, 7(3), 270-281. <https://doi.org/10.1038/s41893-024-01269-y>
- Scafetta, N. (2024). "Impacts and Risks of "Realistic" Global Warming Projections for the 21st Century", *Geoscience Frontiers*, 15(2), 101774. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2023.101774>
- Şen, Ö.L. (2013). "A Holistic View of Climate Change and Its Impacts in Turkey", <https://ipc.sabanciuniv.edu/Content/Images/CKeditorImages/20200327-01035961.pdf>, (Erişim Tarihi: 10.04.2024).
- Seriño, M.N.V. (2018). "Diversification of Nonhydro Renewable Energy Sources in Developing Countries", *Energy, Ecology and Environment*, 3(6), 317-329. <https://doi.org/10.1007/s40974-018-0106-y>
- Sharifi, A. (2016). "A Critical Review of Selected Tools for Assessing Community Resilience", *Ecological Indicators*, 69, 629-647. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.05.023>
- UCAR (University Corporation for Atmospheric Research), (2024). "Predictions of Future Global Climate", <https://scied.ucar.edu/learning-zone/climate-change-impacts/predictions-future-global-climate>, (Erişim Tarihi: 10.04.2024).
- UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change), (2023). "Adaptation and Resilience. United Nations Climate Change", <https://unfccc.int/topics/adaptation-and-resilience/the-big-picture/introduction>, (Erişim Tarihi: 09.04.2024).
- Wang, J.J., Jing, Y.Y., Zhang, C.F. ve Zhao, J.H. (2009). "Review on Multi-Criteria Decision Analysis Aid in Sustainable Energy Decision-Making", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(9), 2263-2278. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.06.021>
- Wang, L. ve Li, G. (2024). "The Impact of Sustainable Development Planning on Urban Ecological Resilience in Resource-Based Cities: Evidence from China", *Environmental Science and Pollution Research*, 31(8), 12245-12256. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-31847-8>
- Wu, W.W. (2011). "Beyond Travel & Tourism Competitiveness Ranking Using DEA, GST, ANN and Borda Count", *Expert Systems with Applications*, 38(10), 12974-12982. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.04.096>
- Zavadskas, E.K. ve Podvezko, V. (2016). "Integrated Determination of Objective Criteria Weights in MCDM", *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 15(02), 267-283. <https://doi.org/10.1142/S0219622016500036>
- Zavadskas, E.K. ve Turskis, Z. (2011). "Mangultiple Criteria Decision Making (MCDM) Methods in Economics: An Overview", *Technological and Economic Development of Economy*, 17(2), 397-427. <https://doi.org/10.3846/20294913.2011.593291>
- Zavadskas, E.K., Kaklauskas, A. ve Šarka, V. (1994). "The New Method of Multicriteria Complex Proportional Assessment of Projects", *Technological and Economic Development of Economy*, 1(3), 131-139.
- Zhu, S., Li, D. ve Feng, H. (2019). "Is Smart City Resilient? Evidence from China", *Sustainable Cities and Society*, 50, 101636. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101636>
- Zurek, M., Ingram, J., Sanderson Bellamy, A., Goold, C., Lyon, C., Alexander, P., Barnes, A., Bebbler, D.P., Breeze, T.D., Bruce, A., Collins, L.M., Davies, J., Diherty, B., Ensor, J., Franco, S.C., Gatto, A., Hess, T., Lamprinopoulou, C., Liu, L., Merkle, M., Norton, L., Oliver, T., Ollerton, J., Potts, S., Reed, M.S., Sutcliffe, C. ve Withers, P. J. (2022). "Food System Resilience: Concepts, Issues, and Challenges", *Annual Review of Environment and Resources*, 47(1), 511-534. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-112320-050744>

Determining the Digitalization Levels of Leading Countries in Logistics Performance Index: An Application with CRITIC-TOPSIS Approach

Burcu Yılmaz¹ 

ABSTRACT

Purpose: This study aims to analyze the digitalization levels of leading countries in the Logistics Performance Index (LPI) based on 2023 data.

Methodology: Six digitalization indices were utilized as criteria, and the top 23 countries in the LPI were included as alternatives to evaluate the relationship between digitalization indices and the logistics performance of these countries. In the study, the CRITIC method was employed to weight the criteria, while the ranking of decision alternatives was carried out using the TOPSIS method.

Findings: The findings of the research indicate that countries ranked high in the LPI also have high ranking in digitalization indices. Using the CRITIC method to determine the importance of the criteria, the analysis revealed that the three most significant indices for the top 23 countries in the LPI, in order of importance, are IDI, WCI, and GII. The ranking of the leading countries in the LPI based on their levels of digitalization, determined using the TOPSIS method, showed that Singapore, the United States, and the Netherlands are the top three countries with the highest levels of digitalization, respectively.

Originality: The literature lacks any research evaluating the digitalization levels of the leading countries in the LPI ranking based on the indices introduced in this study. Given the critical role of digital technologies in influencing the logistics performance of countries, and the absence of a study that comprehensively evaluates LPI and digitalization indices from a holistic perspective, this research is expected to contribute significantly to the existing literature.

Keywords: Logistics Performance Index, Digitalization, Multi Criteria Decision Making, MCDM, Digitalization Indices.

JEL Codes: C4, R41, O18.

Lojistik Performans Endeksinde Önde Gelen Ülkelerin Dijitalleşme Düzeylerinin Belirlenmesi: CRITIC-TOPSIS Yaklaşımı ile Bir Uygulama

ÖZET

Amaç: Bu çalışma, 2023 yılı verilerini temel alarak Lojistik Performans Endeksi'nde (LPI) önde gelen ülkelerin dijitalleşme düzeylerinin analiz edilmesini amaçlamaktadır.

Yöntem: Dijitalleşme indeksleri ile ülkelerin lojistik performansları arasındaki ilişkiyi değerlendirmek için altı dijitalleşme endeksi kriterler olarak, LPI'de ön sıralarda yer alan 23 ülke ise alternatifler olarak analize dahil edilmiştir. Çalışmada, kriterleri ağırlıklandırmak için CRITIC yöntemi kullanılmış, karar alternatiflerinin sıralanması ise TOPSIS yöntemiyle gerçekleştirilmiştir.

Bulgular: Araştırmanın bulguları, LPI'de ilk sıralarda yer alan ülkelerin dijitalleşme endekslerinde de yüksek skorlara sahip olduğunu göstermektedir. Kriterlerin önem düzeylerini belirlemek için CRITIC yöntemi kullanılarak yapılan analizde LPI'deki ilk 23 ülke için en önemli üç endeksin önem sırasına göre IDI, WCI ve GII olduğu ortaya koyulmuştur. LPI'de önde gelen ülkelerin dijitalleşme seviyelerine göre TOPSIS yöntemiyle yapılan sıralamadaysa dijitalleşme seviyesi en yüksek ülkelerin sırasıyla Singapur, ABD ve Hollanda olduğu belirlenmiştir.

Özgünlük: Literatürde, bu çalışmada sunulan endeksler temel alınarak LPI sıralamasındaki lider ülkelerin dijitalleşme düzeylerini değerlendiren herhangi bir araştırmaya rastlanmamıştır. Dijital teknolojilerin ülkelerin lojistik performansını etkilemedeki kritik rolü ve LPI ile dijitalleşme endekslerini bütüncül bir bakış açısıyla kapsamlı bir şekilde değerlendiren bir çalışmanın yokluğu göz önüne alındığında, bu araştırmanın mevcut literatüre önemli bir katkı sağlaması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Lojistik Performans Endeksi, Dijitalleşme, Çok Kriterli Karar Verme, ÇKKV, Dijitalleşme Endeksleri.

JEL Kodları: C4, R41, O18.

¹ Kayseri University, Faculty of Applied Sciences, Department of International Trade and Logistics, Kayseri, Türkiye

Sorumlu Yazar-Corresponding Author: Burcu Yılmaz, burcukaya107@gmail.com

DOI: 10.51551/verimlilik.1541480

Research Article | Submitted: 01.09.2024 | Accepted: 20.03.2025

Atıf/Cite: Yılmaz, B. (2025). "Determining the Digitalization Levels of Leading Countries in Logistics Performance Index: An Application with CRITIC-TOPSIS Approach", *Verimlilik Dergisi*, 59(2), 433-452.

1. INTRODUCTION

In an environment where globalization is accelerating and digital technologies are widely used, it is essential for countries to enhance their logistics performance by effectively utilizing digital technologies in international trade and logistics processes. The Logistics Performance Index (LPI) serves as a metric that identifies the adequacy and quality of a country's logistics services, offering a comparative opportunity with other countries worldwide. Through this comparison, it reveals opportunities and threats concerning the logistics performance of nations.

Digitalization has emerged as one of the most significant factors determining the competitive power of countries today, having substantial impacts on their logistics performance. The intensive use of digital technologies makes logistics operations more efficient, transparent, and flexible. Advanced technologies such as Artificial Intelligence (AI), the Internet of Things (IoT), and blockchain, which have proliferated with Industry 4.0, enhance automation and traceability in logistics services while reducing logistics costs. Consequently, countries investing in digital technologies can integrate more easily into the increasingly complex international trade and logistics networks driven by globalization, by ensuring rapid and accurate information flow.

Digitalization serves as a catalyst for enhancing efficiency across various industries, including logistics, by streamlining operations, optimizing resource allocation, and fostering innovation. Through the widespread adoption of digital technologies within a country, production costs are reduced, while optimization and efficiency in manufacturing processes are improved. Functioning as the driving force behind structural transformations in the economy, digital technologies also contribute to advancing logistics performance levels, thereby enabling countries to achieve higher standards in their logistical capabilities. This development creates significant opportunities to facilitate trade between nations. Therefore, the integration of digital technologies into logistics not only enhances operational efficiency but also bolsters the global competitiveness of countries in international trade. The information reporting systems in logistics, by facilitating the planning, coordination, and control of information systems, direct the data collected across organizations. Accordingly, digitalization in the logistics sector provides advantages for stakeholders, including customers and suppliers (Yılmaz, 2024: 20-23). Furthermore, these technologies support the integration of supply chain activities for both large and small logistics companies alike. Digital transformation makes this chain more efficient in terms of cost, operations, and customer service, offering substantial benefits for logistics performance (Foma and Mohammed, 2018: 2). By linking these advancements, digital technologies enable the logistics sector to thrive, ultimately ensuring more seamless collaboration among stakeholders while reinforcing the competitive edge of businesses and nations alike.

This study aims to analyze the digitalization levels of the top 25 countries in the Logistics Performance Index (LPI) based on 2023 data. To achieve this, the CRITIC (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation) method was employed to weigh the criteria, while the TOPSIS (The Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) method was used for ranking the alternatives to evaluate the relationship between the digitalization indices and the logistics performance of the respective countries. The study considers six digitalization indices as criteria to determine the digitalization levels of countries: the Global Innovation Index (GII), the Networked Readiness Index (NRI), the ICT Development Index (IDI), the World Digital Competitiveness Index (WDCI), the World Competitiveness Index (WCI), and the Government AI Readiness Index (GAIRI). The analysis focuses on the top 25 countries in the LPI, excluding Hong Kong and Taiwan due to the unavailability of data in some digitalization indices, resulting in a final analysis of 23 countries, which are considered as alternatives in the study.

A review of the related literature reveals various studies that separately examine and evaluate LPI (Adiguzel Mercangoz et al., 2020; Çalık et al., 2023; Chejarla and Vaidya, 2024; Gürlü et al., 2024; Işık et al., 2020; Ju et al., 2024; Manavgat et al., 2023; Senir, 2021) and digitalization indices (Amiri and Sangar, 2023; Aytekin et al., 2022; Bánhidi and Dobos, 2024; Erdin and Çağlar, 2023; Fedajev et al., 2024; Lee et al., 2022; Marti and Puertas, 2023; Satı, 2024; Silva et al., 2020; Tunsı and Alidrisi, 2023; Tziogkidis et al., 2020; Vevera et al., 2022; Voronenko et al., 2022) using multi-criteria decision-making methods. However, no study has specifically evaluated the leading countries in the LPI in terms of their digitalization levels with MCDM methods. Given the critical role of digital technologies in influencing the logistics performance of countries, and the absence of a study that comprehensively evaluates LPI and digitalization indices from a holistic perspective, this research is expected to contribute significantly to the existing literature.

In line with the research objectives, the second section of the study offers a comprehensive overview of the Logistics Performance Index (LPI) and presents the performance data of the top 25 countries listed in the LPI rankings. Subsequently, the third section introduces a series of digitalization indices that evaluate countries' innovation capacity, digital infrastructure, access to technology, capability in AI implementation, and overall readiness for digital transformation, all measured through multidimensional indicators. To

ascertain the relative significance of these criteria, the CRITIC method was utilized, whereas the TOPSIS method was employed to rank the digitalization levels of the leading LPI countries. Finally, the outcomes obtained from the analysis are critically examined and interpreted in the concluding section of the study.

2. LOGISTICS PERFORMANCE INDEX

The Logistics Performance Index (LPI) is a biennial report published by the World Bank's International Trade Unit, involving the participation of over 1,000 logistics professionals worldwide. The components of the LPI measure the effectiveness of the logistics supply chain, or in other words, logistics performance (Gültekin Yıldırım, 2015). The index not only identifies the challenges countries face in bilateral trade but also provides a harmonized scale for all countries to determine the logistics resources and infrastructure they require or the areas within their logistics activities that they wish to improve. Therefore, the LPI offers insights into a country's commercial logistics performance and provides a benchmark for location selection for various types of operations and supplies essential statistical data for the sector (Martí et al., 2014; Ojala and Celebi, 2015: 7).

LPI is an interactive benchmarking tool designed to help countries identify the challenges and opportunities they face in trade logistics, as well as the measures they can take to improve their performance. The LPI is based on a worldwide survey of logistics professionals, providing feedback on the logistics of the countries in which they operate and the countries with which they trade. It integrates qualitative assessments with the expertise and insights of these businesses and their operational contexts. Consequently, the LPI comprises both qualitative and quantitative data, aiding in the creation of comprehensive logistics profiles for countries (World Bank, 2024).

According to this index, the maximum score that countries can achieve is set at 5. The World Bank's LPI Report evaluates countries under six key components:

- Efficiency of customs and border management processes
- Quality of trade and transport infrastructure
- Ease of arranging competitively priced shipments
- Competence and quality of logistics services
- Ability to track and trace shipments
- Frequency with which shipments reach consignees within the scheduled or expected delivery times

These components are established based on both theoretical and empirical research, as well as the practical experiences of logistics professionals engaged in international freight forwarding (Ministry of Customs and Trade, 2017). The most recent data for the World Bank's Logistics Performance Index was published in 2023.

Table 1. The 25 most successful countries according to LPI score for 2023

No	Countries	LPI Score	LPI Ranking	No	Countries	LPI Score	LPI Ranking
1	Singapore	4,3	1	14	Japan	3,9	13
2	Finland	4,2	2	15	Spain	3,9	13
3	Denmark	4,1	3	16	Taiwan	3,9	13
4	Germany	4,1	3	17	Korea Rep.	3,8	17
5	Netherlands	4,1	3	18	USA	3,8	17
6	Switzerland	4,1	3	19	Australia	3,7	19
7	Austria	4,0	7	20	China	3,7	19
8	Belgium	4,0	7	21	Greece	3,7	19
9	Canada	4,0	7	22	Italy	3,7	19
10	Hong Kong	4,0	7	23	Norway	3,7	19
11	Sweden	4,0	7	24	South Africa	3,7	19
12	United Arab Emirates	4,0	7	25	United Kingdom	3,7	19
13	France	3,9	13				

Table 1 presents the ranking of the top 25 countries according to the LPI scores for 2023. In the overall LPI ranking, Singapore holds the first position, followed by Finland, Denmark, Germany, and the Netherlands. Singapore's leading position in 2023, as in previous years like 2007 and 2012 (World Bank, 2024), is closely linked to its advanced port infrastructure and high-level logistics services. It can be noted that major container ports such as Singapore, Hamburg and Rotterdam as key players in global trade, benefit from a range of digital technologies brought by the digital age, including artificial intelligence, the Internet of Things (IoT), and blockchain in handling and information management. This suggests that these technologies have contributed significantly to the leading positions of Singapore, Germany, and the Netherlands in the LPI rankings (Öztemiz, 2023: 155).

A high ranking in the LPI reflects a country's advanced logistics infrastructure and high logistics service quality. This, in turn, reduces costs and positively influences the flow of international trade. Therefore, achieving a leading position in the LPI is essential for a country to enhance its competitiveness in global markets and to sustain economic growth.

3. DIGITALIZATION INDICES

Digitalization is defined as the conversion of analog data and processes into a machine-readable format (West, 2019: 140). This transformation can take various forms, including the conversion of analog measurements into digital formats, the encoding of business and industrial processes, and the transmission of voice as digital signals over the internet (UNCTAD, 2023: 10). As digitalization has become more widespread, new activities have emerged, and existing business sectors have undergone significant transformations.

In the context of rapidly evolving technological innovations, adapting to digital transformation has become imperative for businesses to maintain their competitiveness in the international arena. Digitalization significantly influences data collection, storage, processing, and decision-making processes. The importance of digital transformation has been particularly underscored by the Covid-19 pandemic, which has highlighted the need for the integration of digital technologies into business operations, representing more agile and intelligent ways of conducting business. The pandemic has profoundly impacted supply chains, international trade, and social life worldwide. Consequently, the use of online services has surged, and the digital transformation process has accelerated substantially. This digital transformation, which intensified during the Covid-19 period, did not lose momentum in the period after the pandemic's effects subsided. Given that one of the key drivers of digital transformation, artificial intelligence, is projected to elevate its use in the global cargo drone market to 17.88 billion USD by 2030, the critical role of digital technologies in enhancing the logistics performance of nations should also be acknowledged (Statista, 2024).

In response to these developments, various indices related to digitalization, which has become a critical factor directly affecting international trade and logistics performance, have been established in recent years. These indices are utilized to measure countries' digital capacities, innovation levels, the development of information and communication technologies, the effectiveness of e-government applications, and their digital competitiveness. The establishment of indicators and datasets for measuring digitalization levels plays a crucial role in shaping global competitiveness strategies that impact national economies and logistics processes, as well as in determining the current stage of digitalization in different countries. The information related to these indices is provided below.

The Global Innovation Index (GII) has been published annually since 2011 by the World Intellectual Property Organization (WIPO), in collaboration with the Portulans Institute. The GI serves as a barometer for innovation in an economic and geopolitical environment filled with uncertainties, highlighting both strengths and weaknesses of innovation and ranking the innovation performance of approximately 132 economies. This ranking identifies the world's most innovative economies. Aiming to capture a comprehensive picture of innovation, the index comprises around 80 indicators that encompass various dimensions of each economy, including political environment, education, infrastructure, and knowledge creation (World Intellectual Property Organization-WIPO, 2024).

The Network Readiness Index (NRI) is developed in collaboration with the Portulans Institute, the University of Oxford, and the Saïd Business School. Initially published by the World Economic Forum in 2002, the NRI, as of 2023, evaluates 134 economies based on a wide range of factors related to their readiness to leverage the benefits of the digital revolution. The NRI comprises four main pillars: technology, people, governance, and impact. The technology pillar is divided into sub-indicators of access, content, and future technologies; the people pillar includes sub-indicators assessing individuals, businesses, and governments; the governance pillar encompasses trust, regulation, and inclusion sub-indicators while the impact pillar covers sub-indicators related to economy, quality of life, and Contribution to the sustainable development goals (SDG) (Network Readiness Index, 2024).

The ICT Development Index (IDI) is published by the International Telecommunication Union (ITU). The ICT Development Index (IDI), designed to measure the level of advancement in the information and communication technology (ICT) sector, was a composite indicator published by the ITU from 2009 to 2017. However, due to issues related to data availability and quality, the publication of the IDI was halted in 2018. Following a decision to develop and adopt a new methodology at the ITU's conference in Bucharest in 2022, the index was reintroduced in 2023. The 2023 IDI, based on a new methodology developed through an inclusive and iterative process, covers 169 economies and aims to assess the extent to which connectivity is universal and meaningful worldwide (International Telecommunication Union-ITU, 2024).

The World Digital Competitiveness Index (WDCI) is published by the IMD Business School. The WDCI assesses and measures the capacity and readiness of countries to adopt and explore digital technologies for economic and social transformation. It analyzes and ranks the extent to which countries integrate and explore digital technologies that drive transformation in government practices, business models, and society at large. The evaluation of global digital competitiveness is structured around three main factors: knowledge, technology, and future readiness. Under these three main factors, there are nine sub-factors and a total of 54 criteria that constitute these factors. Countries are ranked based on the total score of these nine sub-factors (IMD, 2024b).

The World Competitiveness Index (WCI) is published by the IMD Business School. First released in 1989, it serves as a comprehensive annual report on the competitiveness of 64 countries and is recognized globally as a benchmark reference. The WCI analyzes and ranks countries based on how effectively they manage their competencies to achieve long-term value creation. The index is based on 336 competitiveness criteria selected through extensive research, incorporating insights from economic literature, international, national, and regional sources, as well as feedback from businesses, government institutions, and academics. These criteria are regularly reviewed and updated to reflect new theories, research, and data as they emerge, and as the global economy evolves (IMD, 2024a).

The Government AI Readiness Index (GAIRI), published by Oxford Insights, has gained prominence in light of recent advances in generative artificial intelligence (AI), significant developments in AI regulation such as the European Union's AI Act, and a notable increase in global AI-related summits. These factors have brought AI technology to the forefront, prompting countries to compete in their preparedness for its adoption. In this context, the Government AI Readiness Index seeks to answer the question: "How ready is a particular government to implement AI in the delivery of public services to its citizens?" The index evaluates readiness across three dimensions: Government, Technology Sector, and Data & Infrastructure. These dimensions encompass a total of 10 sub-dimensions, which are further broken down into 39 indicators. In the 2022 edition of the Index, 181 countries were ranked, and this number increased to 193 in 2023 (Oxford Insights, 2024).

4. LITERATURE REVIEW

LPI is widely recognized as a critical tool for assessing countries' logistics infrastructure and service quality. This index provides a framework for comparing the effectiveness and facilitation of logistics flows between nations. Given the logistics sector's pivotal role in the global economy, countries take various measures to improve their rankings on the LPI. As a result of this, numerous analyses and evaluations are conducted to compare the logistics performance of different countries. In these analyses, Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) methods have recently gained prominence. MCDM is influential in operational decision-making processes, as it aids in evaluating multiple criteria and determining their relative importance. Additionally, digital technologies contribute significantly to making logistics operations and supply chains more efficient, transparent, and adaptable. In this context, the importance of digitalization in the logistics sector is substantial. To reveal this impact, digitalization indices published by various institutions have become crucial for comparing countries and guiding policymakers.

According to research conducted in the Web of Science database, no study has been identified that utilizes countries as alternatives based on their Logistics Performance Index (LPI) scores, examines digitalization indices as criteria, and analyzes them using Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods. Studies employing MCDM methods with the LPI adopt a variety of approaches and methodologies. Among the MCDM techniques used are hybrid MCDM (Çalık et al., 2023; Chejarla and Vaidya, 2024), genetic algorithms (Gürler et al., 2024), fuzzy AHP and ARAS-G (Yildirim and Adiguzel Mercangoz, 2020), fuzzy linear regression (Çakır, 2017), data envelopment analysis (DEA) (Markovits-Somogyi and Bokor, 2014; Martí et al., 2017), COPRAS (Adiguzel Mercangoz et al., 2020; Gürler et al., 2024; Senir, 2021), COPRAS-G (Adiguzel Mercangoz et al., 2020) and CRITIC (Çakır, 2017; Chejarla and Vaidya, 2024; Gürler et al., 2024; Ju et al., 2024; Senir, 2021; Ulutaş and Karaköy, 2019).

An examination of these studies reveals that European Union (EU) countries (Ju et al., 2024; Senir, 2021; Ulutaş and Karaköy, 2019), OECD countries (Çakır, 2017; Yıldırım and Adiguzel Mercangoz, 2020), and Central and Eastern European countries (Işık et al., 2020) are frequently selected as alternatives based on their LPI scores. Furthermore, a detailed review of the literature indicates significant variations in terms of the methods, data sources, timeframes, and criteria selected for analysis.

Digitalization indices are among the key indicators used to assess countries' digital transformation and innovation capacities, and they serve as an effective criterion for measuring logistics performance. Studies employing digitalization indices frequently utilize the GII (Alidrisi, 2021; Aytekin et al., 2022; Erdin and Çağlar, 2023; Fedajev et al., 2024; Kara et al., 2022; Kaynak et al., 2017; Marti and Puertas, 2023; Satı, 2024; Silva et al., 2020; Tunsı and Alidrisi, 2023; Tziogkidis et al., 2020; Voronenko et al., 2022), the Global

Table 2. Studies using MCDM methods with LPI and digitalization indices

No	Author(s)/Year	Article Title	Indexes Used	MCDM method(s) Used
1	Chejarla and Vaidya (2024)	A hybrid multi-criteria decision-making approach for longitudinal data	LPI	CRITIC, MULTIMOORA
2	Gürler et al. (2024)	Determining criteria weights with genetic algorithms for multi-criteria decision-making methods: The case of logistics performance index rankings of European Union countries	LPI	CRITIC, Entropy, Equal, ARAS, CoCoSo, CODAS, COPRAS, EDAS, GRA, MABAC, MARCOS, MOORA, OCRA, WASPAS
3	Ju et al. (2024)	A novel approach for the assessment of logistics performance index of EU countries	LPI	CRITIC, MEREC, Entropy, Fuzzy ROV
4	Çalık et al. (2023)	Novel integrated hybrid multi-criteria decision-making approach for logistics performance index	LPI	AHP-TOPSIS, AHP-VIKOR, AHP-CODAS
5	Manavgat et al. (2023)	Global scale integrated logistics performance analysis and its spillover effect	LPI, LSCI, ETI, AQTI	ROC-WASPAS
6	Senir (2021)	Comparison of domestic logistics performances of Turkey and European Union countries in 2018 with an integrated model	LPI	CRITIC-COPRAS
7	Adiguzel Mercangoz et al. (2020)	Time period based COPRAS-G method: Application on the logistics performance index	LPI	COPRAS-G
8	Işık et al. (2020)	The assessment of the logistics performance index of CEE countries with the new combination of SV and MABAC methods	LPI	SV, MABAC
9	Yildirim et al. (2020)	Evaluating the logistics performance of OECD countries by using fuzzy AHP and ARAS-G	LPI	ARAS-G
10	Ulutaş and Karaköy (2019)	An analysis of the logistics performance index of EU countries with an integrated MCDM model	LPI	SWARA, CRITIC, PIV
11	Çakır (2017)	Measuring logistics performance of OECD countries via fuzzy linear regression	LPI	CRITIC-SAW, TOPSIS, VIKOR
12	Martí et al. (2017)	A Dea-Logistics performance index	LPI	DEA
13	Markovits-Somogyi and Bokor (2014)	Assessing the logistics efficiency of European countries by using the DEA-PC methodology	LPI	DEA-PC
14	Bánhidi and Dobos (2024)	Measuring digital development: ranking using data envelopment analysis (DEA) and network readiness index (NRI)	NRI	DEA/WEI-CWA
15	Fedajev et al. (2024)	Western Balkan countries' innovation as determinant of their future growth and development	GII, EIS	Entropy-PROMETHEE
16	Satı (2024)	Comparison of the criteria affecting the digital innovation performance of the European Union (EU) member and candidate countries with the entropy weight-TOPSIS method and investigation of its importance for SMEs	GII, GCI, NRI	Entropy-TOPSIS
17	Amiri and Sangar (2023)	Assessing the ICT development in Iranian cities: The strategy to accelerate digital advancement	IDI	DEA-CCR, MPI

Table 2. (Continued)

No	Author(s)/Year	Article Title	Indexes Used	MCDM method(s) Used
18	Erdin and Çağlar, (2023)	National innovation efficiency: a DEA-based measurement of OECD countries	GII	DEA
19	Marti and Puertas, (2023)	Analysis of European competitiveness based on its innovative capacity and digitalization level	GII, DESI	TOPSIS
20	Tunsi and Alidrisi, (2023)	The innovation-based human development index using PROMETHEE II: The context of G8 countries	GII	PROMETHEE II
21	Aytekin et al., (2022)	Global innovation efficiency assessment of EU member and candidate countries via DEA-EATWIOS multi-criteria methodology	GII	DEA-EATWIOS
22	Kara et al., (2022)	Determination of logistics innovation performance index with Entropy and combined compromise solution techniques	GII, AEMLI	Entropy-CoCoSo
23	Lee et al., (2022)	Economic resilience in the early stage of the COVID-19 pandemic: An across-economy comparison	WCI, GCI	DEA
24	Vevera et al., (2022)	A multi-criteria approach for the calculation of a complex indicator of NCSI, Cyber Security and Digital Development	GCI, IDI, NRI	COPRAS
25	Voronenko et al., (2022)	Challenges to Ukraine's innovative development in a digital environment	GII	DEA
26	Alidrisi (2021)	The development of an efficiency-based global green manufacturing innovation index: An input-oriented DEA approach	GII	DEA
27	Silva et al., (2020)	Multicriteria decision choices for investment in innovative upper-middle income countries	GII	AHP-PROMETHEE
28	Tziogkidis et al., (2020)	A data envelopment analysis and local partial least squares approach for identifying the optimal innovation policy direction	GII	DEA
29	Ziemba and Becker, (2019)	Analysis of the digital divide using fuzzy forecasting	IDI	NEAT F-PROMETHEE
30	Kaynak et al., (2017)	Comparing the innovation performance of EU candidate countries: an entropy-based TOPSIS approach	GCI, IUS, KAM, GII	Entropy-TOPSIS

Competitiveness Index (GCI) (Kaynak et al., 2017; Lee et al., 2022; Satı, 2024; Vevera et al., 2022), the NRI (Bánhidi and Dobos, 2024; Satı, 2024; Vevera et al., 2022), and the IDI (Amiri and Sangar, 2023; Vevera et al., 2022; Ziemba and Becker, 2019) indices.

In studies utilizing these indices, the entropy method is commonly employed for weighting the criteria (Fedajev et al., 2024; Kara et al., 2022; Kaynak et al., 2017; Satı, 2024). For ranking alternatives based on these criteria, various MCDM methods are used, including DEA (Alidrisi, 2021; Amiri and Sangar, 2023; Aytekin et al., 2022; Bánhidi and Dobos, 2024; Erdin and Çağlar, 2023; Lee et al., 2022; Tziogkidis et al., 2020; Voronenko et al., 2022), PROMETHEE (Fedajev et al., 2024; Silva et al., 2020; Tunsi and Alidrisi, 2023; Ziemba and Becker, 2019), and TOPSIS (Kaynak et al., 2017; Marti and Puertas, 2023; Satı, 2024).

Upon reviewing the literature, it is observed that these studies predominantly focus on themes such as innovation, economic resilience, and cybersecurity. There is also a trend toward developing new indices, and while some studies are country-specific, focusing on nations like Iran, others target specific regions or groups of countries, such as the European Union, OECD, and the Balkans. Based on these findings, Table 2 summarizes studies that analyze the Logistics Performance Index (LPI) and digitalization indices using MCDM methods.

The findings obtained from the literature reveal that the Logistics Performance Index (LPI) and various digitalization indices are generally analyzed independently. However, considering the increasingly strategic impact of digital technologies on logistics performance, it becomes evident that studies adopting an integrated approach to examine these two domains in conjunction are rather limited. In this context, the present study aims to address this gap by offering a multi-criteria analysis of the digitalization levels of countries that rank highly in the LPI, thus making a meaningful contribution to the existing body of literature.

5. METHODOLOGY

Objective weighting techniques, such as entropy method, CRITIC, do not rely on the opinions or preferences of experts; rather, they use particular computational procedures based on the original data or decision matrix (Mazurek and Strzałka, 2022). The degree of conflict or correlation between criteria as well as the variation (standard deviation) in the criteria values are taken into account by the CRITIC method when determining the significance of criteria (Krishnan et al., 2021). This ensures objectivity by determining weights based on the inherent data structure, which makes it especially helpful when working with precise numbers.

TOPSIS was developed by Hwang and Yoon (1981) on the premise that the alternative that is selected should be the one that is most distant from the negative-ideal solution and the one that is closest to the ideal solution. TOPSIS is a practical solution for problems addressed from both normative and decision-maker perspectives (Hwang and Yoon, 1981). It is commonly known that the TOPSIS method works well in situations involving multi-criteria decision-making (MCDM), especially when the options for a decision are assessed in light of multiple conflicting criteria (Deng and Chan, 2011; Wang et al., 2016). The positive ideal solution seeks to maximize beneficial criteria while minimizing cost-related criteria, whereas the negative ideal solution aims to maximize cost criteria and minimize beneficial criteria (Behzadian et al., 2012: 13052). Shih et al. (2007) claim that TOPSIS has the benefits of strong logic, quick computation, rationality, and clear visualization. According to Lima Junior et al. (2014), TOPSIS was more adaptable to modifications than the traditional Analytic Hierarchy Process (AHP) approach in the assessment system. In order to determine the countries with the highest level of digitalization among the leading countries in terms of logistics performance, TOPSIS is used as the MCDM technique.

In this study, the digitalization levels of leading countries in logistics performance index were analyzed and evaluated using the CRITIC and TOPSIS (The Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution) methods. The CRITIC method is based on determining the significance of criteria weights. The TOPSIS method, on the other hand, stands out as one of the MCDM methods used to rank decision alternatives in terms of importance and utility. Within the scope of the study, six digitalization indices (global innovation index (GII), network readiness index (NRI), ICT development index (IDI), world digital competitiveness index (WDCI), world competitiveness index (WCI), government AI readiness index (GAIRI)) were selected as criteria. The leading 23 countries in logistics performance index were included in the analysis as alternatives. It is expected that the countries will obtain the highest values from these criteria to rank high in the digitalization. Therefore, it is accepted that the country with the highest weighted value in the analyses is at the forefront in terms of digitalization level.

5.1. CRITIC Method

In contrast to subjective methods, objective methods in MCDM do not require any initial information or decisions from the decision-makers (Mahmoody Vanolya and Jelokhani-Niaraki, 2021). Therefore, in objective methods, only the structure of the data available in the decision matrix is evaluated to determine the weights. Accordingly, in this study, which is based on the data of the digitalization indices, the CRITIC method, which aims to determine objective weights with relative importance in MCDM problems, was preferred.

The CRITIC method was first introduced among MCDM methods by a study conducted by (Diakoulaki et al., 1995). In the CRITIC method, objective weights are obtained by calculating the actual data of each evaluation criterion. In other words, the data in the decision matrix are sufficient to calculate the weights of the criteria (Ayçin, 2020: 76). The application steps of the CRITIC method, which involves a solution process consisting of a total of five steps, are as follows (Ayçin, 2020: 76-84).

CRITIC method consists of five stages:

- (1) Formation of the Decision Matrix
- (2) Normalization of the Decision Matrix
- (3) Construction of the Correlation Coefficient Matrix
- (4) Calculation of the C_j Values
- (5) Calculation of Criteria Weights

The variables involved in the application stages of the method are as follows:

A_i : decision alternative ($i = 1, 2, \dots, m$)

C_j : j^{th} evaluation criterion ($j = 1, 2, \dots, n$)

X_{ij} : the value of the i^{th} alternative according to the j^{th} evaluation criterion

X_j^{max} : the maximum value of the decision alternatives according to the j^{th} criterion

X_j^{min} : the minimum value of the decision alternatives according to the j^{th} criterion

r_{ij} : the normalized value of the i^{th} alternative according to the j^{th} evaluation criterion

ρ_{jk} : the correlation coefficients between any j^{th} and k^{th} criteria

σ_j : the standard deviation of the j^{th} criterion ($j = 1, 2, \dots, n$)

w_j : the weight of the j^{th} evaluation criterion ($j = 1, 2, \dots, n$)

Step 1: Formation of the Decision Matrix

In the first step of the method, the decision matrix, denoted by X and consisting of X_{ij} values, is formed as shown in Equation 1.

$$X = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ X_{m1} & X_{m2} & \dots & X_{mn} \end{bmatrix} \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} \quad (1)$$

Step 2: Normalization of the Decision Matrix

In decision-making problems, values related to criteria with different units should be standardized to fall within the $[0, 1]$ range through the normalization process. The normalization process is conducted using Equation 2 for benefit-oriented criteria and Equation 3 for cost-oriented criteria. In this study, the criteria considered are benefit oriented. Therefore, Equation 2 has been utilized for the normalization process.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{min}}{x_j^{max} - x_j^{min}} \dots \dots \dots j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$r_{ij} = \frac{x_j^{max} - x_{ij}}{x_j^{max} - x_j^{min}} \dots \dots \dots j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

Step 3: Construction of the Correlation Coefficient Matrix

In this step, a correlation coefficient matrix, consisting of linear correlation coefficients (ρ_{jk}), is constructed to measure the degree of relationships among the evaluation criteria. The correlation coefficients are calculated as shown in Equation 4.

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

Step 4: Calculation of C_j Values

The CRITIC method aims to derive information in MCDM problems from the contrast intensity and conflicts present in the evaluation criteria. In this context, Equations 5 and 6 should be utilized to calculate the C_j values, which combine both properties and represent the total information contained in the j^{th} criterion.

$$C_j = \sigma_j \cdot \sum_{k=1}^m (1 - \rho_{jk}) \quad j, k = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

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

Step 5: Calculation of Criteria Weights

In the final stage of the method, the weighted values (w_j) of the criteria are obtained by proportioning the C_j value of each criterion to the sum of the C_j values of all criteria. The weighted values of the criteria are calculated using Equation 7.

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

5.2. TOPSIS Method

The application of the TOPSIS method, which involves a solution process consisting of a total of seven steps, are as follows (Ayçin, 2020: 292-296; Çakir and Perçin, 2013; Hwang and Yoon, 1981: 130-133; Jahanshahloo et al., 2006):

Step 1: Construction of the decision matrix

In the decision matrix, the rows contain the decision points to be ranked, and the columns contain the evaluation criteria. The matrix A given below is referred to as the initial matrix. In this matrix, m is the number of decision alternatives and n is the number of criteria to be used in the evaluation and this equation is shown as follows (Equation 8):

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (8)$$

Step 2: Construction of the standard decision matrix

The standard decision matrix is obtained by normalizing the decision matrix. The value of each criterion (a_{ij}) in the decision matrix is squared and all values in the column where these squares are located are summed to obtain a total column value. The decision matrix is normalized by dividing each a_{ij} value by the square root of the sum of the column in which it is located in Equation 9.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (a_{ij})^2}} \quad (i = 1, \dots, m, \text{ ve } j = 1, \dots, n) \quad (9)$$

The representation of the standard decision matrix (R) created after calculating the r_{ij} values is shown in Equation 10.

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (10)$$

Step 3: Construction of weighted standard decision matrix (Equation 11)

c

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \quad (11)$$

Step 4: Determination of positive ideal (A^*) and negative ideal (A^-) solution

At this stage, the ideal solution values are determined by utilizing the weighted decision matrix. These ideal solution values are evaluated in two groups as positive ideal and negative ideal. A^* indicates the best performance (max) value in the weighted normalized matrix, while A^- indicates the worst performance (min) values. Here, A^* is the positive ideal solution (Equation 12) and A^- is the negative ideal solution (Equation 13).

$$A^* = \left\{ (\max_i v_{ij} \mid j \in J), (\min_i v_{ij} \mid j \in J') \right\} \quad A^* = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*\} \quad (12)$$

$$A^- = \left\{ (\min_i v_{ij} \mid j \in J), (\max_i v_{ij} \mid j \in J') \right\} \quad A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\} \quad (13)$$

In both formulas, J indicates maximization and J' indicates minimization values.

Step 5: Calculation of the distance to positive and negative ideal solution points

At this stage, the deviations of each criterion from the positive and negative solution points are calculated. Euclidean Distance Approach is used for this calculation. In this step, S_i^+ values, which indicate the distances of the alternatives to the positive ideal solution points, and S_i^- values, which indicate the distances to the negative ideal solution points, are calculated in Equation 14 and Equation 15.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad (14)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (15)$$

The number of positive ideal and negative ideal distance measures should be equal to the number of decision alternatives used in the matrix.

Step 6: Calculating the relative proximity to the ideal solution point

In the calculation of relative proximity, the distances to the positive ideal and negative ideal solution points are used. The purpose of this calculation is to reveal the share of the negative ideal distance measure in the total distance. The C_i^* value, which indicates the proximity of the alternatives to the positive ideal solution point, is calculated using Equation 16.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+} \quad (16)$$

The C_i^* value takes a value between, $0 \leq C_i^* \leq 1$. A value close to 1 indicates that it is close to the positive ideal solution, while a value close to 0 indicates that it is close to the negative ideal solution.

Step 7: Ranking the preference order

In the last stage, C_i^* values are ranked according to their magnitude and an evaluation between decision alternatives can be made. The one with the highest C_i^* value is the first alternative in the ranking.

6. IMPLEMENTATION

In this section, tables presenting the values obtained from calculations using the formulas specified in the methodology are provided.

6.1. Determination of Criterion Weights Using the CRITIC Method

In the application, a data set was utilized in which the 23 countries constituting the decision alternatives were evaluated based on their digitalization indices' scores and formed a decision matrix (Table 3).

Table 3. Decision matrix for the CRITIC method

<i>Criterion Direction</i>	<i>max</i>	<i>max</i>	<i>max</i>	<i>max</i>	<i>max</i>	<i>max</i>
<i>Countries / Criteria</i>	<i>GII</i>	<i>NRI</i>	<i>IDI</i>	<i>WDCI</i>	<i>WCI</i>	<i>GAIRI</i>
Australia	49.7	70.36	94.0	85.28	83.02	73.89
Austria	53.2	69.13	92.5	81.10	78.16	72.37
Belgium	49.9	67.02	88.2	85.95	89.69	67.28
Canada	53.8	71.99	87.2	91.98	86.21	77.07
China	55.3	67.31	84.4	84.41	82.10	70.94
Denmark	58.7	74.06	96.9	96.93	100.00	73.91
Finland	61.2	76.19	96.7	94.05	89.73	77.37
France	56.0	70.17	89.4	78.65	71.05	76.07
Germany	58.8	74.00	87.3	80.86	80.47	75.26
Greece	37.5	53.02	83.7	54.70	55.12	57.95
Italy	46.6	62.2	86.4	64.39	63.32	67.63
Japan	54.6	71.06	92.0	75.43	67.84	75.08
Korea Rep.	58.6	74.48	93.8	94.80	75.71	75.65
Netherlands	60.4	76.04	93.5	98.10	95.58	74.47
Norway	50.7	69.7	90.9	85.96	86.43	72.71
Singapore	61.5	76.81	97.4	97.40	97.44	81.97
South Africa	30.4	45.85	80.5	48.61	40.19	47.28
Spain	45.9	64.77	91.4	76.62	67.22	67.47
Sweden	64.2	75.68	93.9	94.12	91.86	72.55
Switzerland	67.6	74.76	91.6	96.24	99.13	68.57
United Arap Emirates	43.2	62.43	96.4	88.86	90.52	70.42
United Kingdom	62.4	72.75	92.8	83.12	75.48	78.57
USA	63.5	76.91	96.6	100.00	91.14	84.80

The normalization process in Table 4 has been conducted utilizing Equation 2 due to the benefit-oriented nature of the criteria in the study.

Table 4. Normalized decision matrix for the CRITIC method

<i>Criterion Direction</i>	<i>max</i>	<i>max</i>	<i>max</i>	<i>max</i>	<i>max</i>	<i>max</i>
<i>Countries/Criteria</i>	<i>GII</i>	<i>NRI</i>	<i>IDI</i>	<i>WDCI</i>	<i>WCI</i>	<i>GAIRI</i>
Australia	0.519	0.789	0.799	0.714	0.716	0.709
Austria	0.613	0.750	0.710	0.632	0.635	0.669
Belgium	0.524	0.682	0.456	0.727	0.828	0.533
Canada	0.629	0.842	0.396	0.844	0.769	0.794
China	0.669	0.691	0.231	0.697	0.701	0.631
Denmark	0.761	0.908	0.970	0.940	1.000	0.710
Finland	0.828	0.977	0.959	0.884	0.828	0.802
France	0.688	0.783	0.527	0.585	0.516	0.767
Germany	0.763	0.906	0.402	0.628	0.673	0.746
Greece	0.191	0.231	0.189	0.119	0.250	0.284
Italy	0.435	0.526	0.349	0.307	0.387	0.542
Japan	0.651	0.812	0.680	0.522	0.462	0.741
Korea Rep.	0.758	0.922	0.787	0.899	0.594	0.756
Netherlands	0.806	0.972	0.769	0.963	0.926	0.725
Norway	0.546	0.768	0.615	0.727	0.773	0.678
Singapore	0.836	0.997	1.000	0.949	0.957	0.925
South Africa	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Spain	0.417	0.609	0.645	0.545	0.452	0.538
Sweden	0.909	0.960	0.793	0.886	0.864	0.674
Switzerland	1.000	0.931	0.657	0.927	0.985	0.567
United Arab Emirates	0.344	0.534	0.941	0.783	0.841	0.617
United Kingdom	0.860	0.866	0.728	0.672	0.590	0.834
USA	0.890	1.000	0.953	1.000	0.852	1.000

The correlation coefficient matrix, consisting of linear relationship coefficients between criteria $[(P_{jk})]$, is presented in Table 5.

Table 5. Correlation coefficient values between criteria

<i>Criteria</i>	<i>GII</i>	<i>NRI</i>	<i>IDI</i>	<i>WDCI</i>	<i>WCI</i>	<i>GAIRI</i>
GII	1.0000	0.9445	0.6112	0.8230	0.7434	0.8002
NRI	0.9445	1.0000	0.7235	0.8948	0.8039	0.9024
IDI	0.6112	0.7235	1.0000	0.7812	0.7101	0.7212
WDCI	0.8230	0.8948	0.7812	1.0000	0.9351	0.7918
WCI	0.7434	0.8039	0.7101	0.9351	1.0000	0.6755
GAIRI	0.8002	0.9024	0.7212	0.7918	0.6755	1.0000

The weighted values calculated for all criteria and their weights are presented in Table 6. Upon examining the w_j values, it is observed that, as a result of the analysis, the three most important criteria among the eight digitalization indices for the leading 23 countries in LPI are IDI, WCI, and GII, respectively. These criteria are followed by GAIRI, WDCI and NRI. The prominence of IDI, WCI, and GII as the top three criteria can be attributed to their fundamental roles in shaping a nation's digital infrastructure, innovative capacity and competitive landscape. A nation's level of information and communication technology development is measured by the IDI. These technologies are essential for effective logistics operations, enabling real-time data interchange, and improving supply chain transparency. However, because a competitive economic structure encourages investments in digitalization and technological adaptation, the WCI highlights the strong correlation between digitalization and a nation's overall economic competitiveness, which includes elements like infrastructure, business efficiency, and innovation capabilities. These elements are all essential for developing a strong logistics sector. The importance of the GII can be explained by the fact that digitalization is directly related to innovation and that nations that prioritize innovative practices are better positioned to optimize their logistics performance through advanced technologies and processes. According to this ranking, nations looking to improve their logistics performance should give top priority to full digital development, concentrating not only on infrastructure but also on establishing competitive economic environments that encourage and stimulate innovation.

Table 6. Calculation of C_j values and determination of criteria weights (w_j)

Criteria	<i>GII</i>	<i>NRI</i>	<i>IDI</i>	<i>WDCI</i>	<i>WCI</i>	<i>GAIRI</i>
GII	0.0000	0.0555	0.3888	0.1770	0.2566	0.1998
NRI	0.0555	0.0000	0.2765	0.1052	0.1961	0.0976
IDI	0.3888	0.2765	0.0000	0.2188	0.2899	0.2788
WDCI	0.1770	0.1052	0.2188	0.0000	0.0649	0.2082
WCI	0.2566	0.1961	0.2899	0.0649	0.0000	0.3245
GAIRI	0.1998	0.0976	0.2788	0.2082	0.3245	0.0000
σ_j	0.2421	0.2490	0.2744	0.2636	0.2488	0.2057
<i>Degrees of Differentiation</i>						
C_j	0.2609	0.1820	0.3987	0.2041	0.2817	0.2281
<i>Importance Degrees of Criteria</i>						
w_j	0.1677	0.1170	0.2563	0.1312	0.1811	0.1466

6.2. Determination of Best Alternative Using the TOPSIS Method

In the second part of the analysis, the digitalization levels of the leading countries in LPI as alternatives were compared by TOPSIS method based on the criteria weight values determined by CRITIC. The first step was to use the weights of the criterion to generate a weighted normalized decision matrix. Table 7 shows the weighted normalized decision matrix.

Table 7. Weighted normalized decision matrix

Countries	<i>GII</i>	<i>NRI</i>	<i>IDI</i>	<i>WDCI</i>	<i>WCI</i>	<i>GAIRI</i>
Australia	0.032	0.025	0.055	0.027	0.038	0.031
Austria	0.034	0.024	0.054	0.026	0.036	0.031
Belgium	0.032	0.023	0.052	0.028	0.041	0.028
Canada	0.034	0.025	0.051	0.030	0.040	0.032
China	0.035	0.024	0.049	0.027	0.038	0.030
Denmark	0.037	0.026	0.057	0.031	0.046	0.031
Finland	0.039	0.027	0.057	0.030	0.041	0.033
France	0.036	0.025	0.052	0.025	0.033	0.032
Germany	0.038	0.026	0.051	0.026	0.037	0.032
Greece	0.024	0.019	0.049	0.018	0.025	0.024
Italy	0.030	0.022	0.051	0.021	0.029	0.029
Japan	0.035	0.025	0.054	0.024	0.031	0.032
Korea Rep.	0.037	0.026	0.055	0.030	0.035	0.032
Netherlands	0.039	0.027	0.055	0.031	0.044	0.031
Norway	0.032	0.024	0.053	0.028	0.040	0.031
Singapore	0.039	0.027	0.057	0.031	0.045	0.035
South Africa	0.019	0.016	0.047	0.016	0.018	0.020
Spain	0.029	0.023	0.054	0.025	0.031	0.028
Sweden	0.041	0.026	0.055	0.030	0.042	0.031
Switzerland	0.043	0.026	0.054	0.031	0.046	0.029
United Arab Emirates	0.028	0.022	0.056	0.029	0.042	0.030
United Kingdom	0.040	0.025	0.054	0.027	0.035	0.033
USA	0.041	0.027	0.057	0.032	0.042	0.036
Positive Ideal Solution	0.043	0.027	0.057	0.032	0.046	0.036
Negative Ideal Solution	0.019	0.016	0.047	0.016	0.018	0.020

The distances of alternative destinations to the positive and negative ideal solution points and their relative proximity to the ideal solution according to the criteria in the digitalization indices evaluated by TOPSIS method are given in Table 8. As a result of the calculation of the weights of the specified criteria and the calculation of the relative distances to the ideal solution, the ranking of the digitalization levels of countries included in the study is given in Table 9. Accordingly, among the leading countries in LPI, the most digitalized countries are Singapore, the USA, and Netherlands, respectively. These countries are followed by Denmark, Switzerland, Sweden, Finland, Canada, Korea Rep., and United Kingdom.

Table 8. Ideal discrimination solutions and their relative proximity to the ideal solution

<i>Countries</i>	<i>Si*</i>	<i>Si-</i>	<i>Ci*</i>	<i>Ranking</i>
Australia	0.015629	0.030664	0.662384	13
Austria	0.01629	0.029209	0.641975	16
Belgium	0.016309	0.03104	0.655558	14
Canada	0.01318	0.033492	0.717603	8
China	0.016056	0.030289	0.65355	15
Denmark	0.007443	0.040491	0.844725	4
Finland	0.00726	0.038497	0.841328	7
France	0.017896	0.028429	0.613694	18
Germany	0.01422	0.032109	0.693071	11
Greece	0.035624	0.010079	0.220527	22
Italy	0.026747	0.019079	0.416335	21
Japan	0.019519	0.027107	0.581372	19
Korea Rep.	0.013445	0.033384	0.71289	9
Netherlands	0.007064	0.039612	0.84866	3
Norway	0.014915	0.031396	0.677935	12
Singapore	0.004321	0.041975	0.906667	1
South Africa	0.045377	0	0	23
Spain	0.023652	0.022141	0.483504	20
Sweden	0.007304	0.039086	0.842551	6
Switzerland	0.007779	0.041927	0.843498	5
United Arap Emirates	0.01836	0.031389	0.630951	17
United Kingdom	0.013562	0.033432	0.71141	10
USA	0.004868	0.04153	0.89509	2

Table 9. Ranking of countries as alternatives by criteria

<i>Countries</i>	<i>Ci*</i>	<i>Ranking</i>
Singapore	0.906667133	1
USA	0.895089851	2
Netherlands	0.848659588	3
Denmark	0.844724925	4
Switzerland	0.843498348	5
Sweden	0.842550848	6
Finland	0.841328243	7
Canada	0.717602565	8
Korea Rep.	0.712889683	9
United Kingdom	0.711409947	10
Germany	0.693070548	11
Norway	0.677934714	12
Australia	0.662383693	13
Belgium	0.655558083	14
China	0.653550048	15
Austria	0.641974507	16
United Arab Emirates	0.630950729	17
France	0.613693736	18
Japan	0.581371786	19
Spain	0.48350422	20
Italy	0.416335353	21
Greece	0.220526908	22
South Africa	0	23

7. CONCLUSION

The concept of digitalization, driven by ongoing advancements in technology, has emerged as one of the most critical factors in international trade, and logistics activities and enhancing productivity in manufacturing, as well as strengthening global competitiveness. Digitalization accelerates access to information, fostering innovation and increasing the capacity of countries to adapt to rapid changes in the global economy, trade, and logistics operations. With the advent of Industry 4.0, advanced technologies such as big data analytics, artificial intelligence, the IoT, and blockchain are driving significant transformations within the logistics sector.

Digital technologies play a crucial role in making supply chains more efficient, transparent, and flexible. Integrating these technologies into logistics processes facilitates the automation and traceability of logistics operations, reduces logistics costs, and enhances customer service levels. The use of digital technologies in areas such as data collection, decision support systems, and process automation significantly contributes to the operational efficiency of logistics processes. Therefore, countries that effectively utilize these technologies are expected to experience improvements in their logistics performance.

LPI is a vital metric for assessing a country's logistics capabilities at an international level, also directly impacting the efficiency of international trade. Improving countries' logistics performance and achieving a competitive edge in the global market are closely related to assessing and analyzing their levels of digitalization. Various indices exist to measure and evaluate the digitalization levels of countries. Ranking highly on these indices can enable countries to excel in the logistics sector, where the intensive use of information and communication technologies and digitalization is critical. In line with this perspective, this study analyzes the digitalization levels of countries that rank high on the Logistics Performance Index using CRITIC and TOPSIS, two MCDM methods. The analysis focuses on the top 25 countries in the LPI, excluding Hong Kong and Taiwan due to data unavailability in some digitalization indices, resulting in a final analysis of 23 countries. These 23 countries are considered as alternatives in the study. Digitalization indicators such as the GII, NRI, IDI, WDCI, WCI, and GAIRI are included as criteria in the analysis.

The aim of this study is to rank the top 23 countries in the Logistics Performance Index (LPI) according to their levels of digitalization and to identify the most significant digitalization indices for countries leading in logistics performance. Using the CRITIC method to determine the importance levels of the criteria, the analysis reveals that among the six digitalization indices considered, the three most important indices for the top 23 countries in the LPI are, in order of significance, the IDI, the WCI, and the GII.

IDI measures a country's information and communication technology infrastructure and the extent of its usage. To enhance their logistics performance to the highest levels, countries must ensure the rapid and accurate flow of information within logistics operations. One of the most critical factors in maintaining this uninterrupted information flow is the presence of an effective and efficient digital infrastructure. This infrastructure is essential for optimizing logistics operations, enhancing the transparency of supply chains, and strengthening data-driven decision-making processes. Therefore, the IDI, which includes universal connectivity indicators and meaningful connectivity indicators, emerges as a vital data source for countries aiming to elevate their logistics performance to the forefront.

WCI is a critical indicator for assessing a country's global competitiveness and is closely linked to its logistics performance. Countries with high competitiveness are able to allocate more resources to research and development efforts aimed at enhancing their logistics services. Nations ranking higher on the WCI possess advantages in terms of the digitalization of customs processes and the integration of digital technologies into shipment tracking and traceability infrastructures. This leads to more efficient and effective logistics processes within these countries. Moreover, nations with a global competitive edge are better positioned to attract more investments into their logistics sector and strengthen international collaborations. Therefore, the WCI emerges as a significant criterion among the digitalization parameters for countries that lead in logistics performance indices.

GII reflects a country's capacity for innovation, its technological outputs, and the ability to transform these outputs into economic value. The logistics sector constantly requires innovation to optimize processes, reduce costs, enhance efficiency, and develop sustainable logistics solutions. Therefore, countries with high GII scores are likely to excel in effectively leveraging digital technologies in logistics processes and developing innovative business models. Accordingly, GII emerges as the third most critical criterion for countries that rank highly in the LPI.

Based on the weight values of the criteria, the leading countries in the LPI were ranked according to their levels of digitalization using the TOPSIS method. The results indicate that among the leading countries in the LPI, Singapore, the United States, and the Netherlands have the highest digitalization levels, respectively. Singapore ranks second in the IDI index, fourth in the WCI, and fifth in the GII in 2023. Singapore's consistent top-five positioning across these indices, alongside its generally high ranking in the LPI, underscores the nation's significant emphasis on digital technologies. The continuous development of Singapore's digital infrastructure is attributed to strong public policies on digitalization, government incentives for ICT advancements in both private and public sectors, and a skilled workforce in the ICT sector (Erh, 2023). The integration of digital technologies into logistics management significantly enhances logistics performance. The Port of Singapore is one of the busiest container ports globally, offering rapid and efficient services through its high-tech terminals. Additionally, Changi Airport serves as a crucial hub for passenger and cargo transport, ranking first among the world's top 100 airports in 2023 (Skytrax, 2024). A country's leading position in maritime and air transport is closely linked to the integration of digital

technologies into the logistics sector. Therefore, Singapore's prominence in digitalization indices reflects the widespread adoption of digital technologies by logistics businesses in the country.

The United States ranks seventh in the IDI index, ninth in the WCI, and third in the GII in 2023. The United States' presence in the top ten of these digitalization indices aligns with the North American logistics market surpassing USD 2 trillion by 2020, positioning it as the second-largest logistics market after the Asia-Pacific region. The market's projection to quadruple by 2050 (Placek, 2023), combined with the significant role of U.S. companies as major exporters of information technologies, positions the United States as a favorable environment for achieving high logistics performance levels.

The Netherlands ranked twentieth in the IDI index, fifth in the WCI, and seventh in the GII in 2023. The Netherlands' strong performance in the WCI and GII can be attributed to a high percentage (79%) of its population possessing digital skills, 7.2% of the employed workforce being ICT specialists, exceeding the EU average, and the country's leadership in the semiconductor equipment industry, critical for digital technologies. Furthermore, the Netherlands outperforms EU averages in indicators related to big data, cloud computing, and artificial intelligence, supported by government efforts to digitize public services (European Commission, 2024: 4). In the Port of Rotterdam, the digitalization of customs processes significantly reduces handling times by accelerating container processing. Additionally, the digitalization of rail transport linked to the port facilitates efficient management of container-train traffic by enhancing information flow among shippers, rail operators, and terminals (Rotterdam Port, 2024). In terms of gross weight of maritime freight handled at main EU ports, the Netherlands led EU countries in the third and fourth quarters of 2023, with approximately 130 million tons of goods transported each quarter (Eurostat, 2024). The presence of the Port of Rotterdam, one of the busiest container ports in the world, and the country's initiatives in integrating digital technologies into the logistics sector underscore the significant role of digitalization in enhancing logistics performance in the Netherlands.

As with many studies, this research also has certain limitations. First, only six indices were selected for the chosen countries within the scope of digitalization indices. This number could be increased by incorporating additional indices, such as the Digital Economy and Society Index (DESI), particularly for studies involving EU countries. Second, it is possible to achieve different results using various weighting and multi-criteria decision-making (MCDM) methods. Third, if the indices used in this study are updated with new data in the future, repeating these analyses may yield different outcomes. Fourth, by utilizing indices data from different years, the study results can be compared over time with a focus on more specific country groups. Lastly, the results obtained using multiple MCDM methods can be compared to provide a more comprehensive understanding.

Conflict of Interest

No potential conflict of interest was declared by the author.

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 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 that scientific and ethical principles have been followed in this study and all the sources used have been properly cited.

REFERENCES

- Adiguzel Mercangoz, B., Yildirim, B. and Kuzu Yildirim, S. (2020). "Time Period based COPRAS-G Method: Application on the Logistics Performance Index", *Logforum*, 16(2), 239-250. <https://doi.org/10.17270/J.LOG.2020.432>
- Alidrisi, H. (2021). "The Development of an Efficiency-Based Global Green Manufacturing Innovation Index: An Input-Oriented DEA Approach", *Sustainability*, 13(22), 22. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122904>
- Amiri, E. and Sangar, A. B. (2023). "Assessing the ICT Development in Iranian Cities: The Strategy to Accelerate Digital Advancement", *Technological Forecasting and Social Change*, 197, 122904. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122904>
- Ayçin, E. (2020). "Çok Kriterli Karar Verme: Bilgisayar Uygulamalı Çözümler", Nobel Yayınevi, Ankara.
- Aytekin, A., Ecer, F., Korucuk, S. and Karamaşa, Ç. (2022). "Global Innovation Efficiency Assessment of EU Member and Candidate Countries via DEA-EATWIOS Multi-criteria Methodology", *Technology in Society*, 68, 101896. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.101896>
- Bánhidi, Z. and Dobos, I. (2024). "Measuring Digital Development: Ranking Using Data Envelopment Analysis (DEA) and Network Readiness Index (NRI)", *Central European Journal of Operations Research*. <https://doi.org/10.1007/s10100-024-00919-y>
- 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.
- Chejarla, K.C. and Vaidya, O.S. (2024). "A Hybrid Multi-Criteria Decision-Making Approach for Longitudinal Data", *OPSEARCH*, 61(3), 1013-1060. <https://doi.org/10.1007/s12597-023-00736-y>
- Çakır, S. (2017). "Measuring Logistics Performance of OECD Countries via Fuzzy Linear Regression", *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 24(3-4), 177-186. <https://doi.org/10.1002/mcda.1601>
- Çakır, S. and Perçin, S. (2013). "Çok Kriterli Karar Verme Teknikleriyle Lojistik Firmalarında Performans Ölçümü", *Ege Akademik Bakış*, 13(4), 449-459.
- Çalık, A., Erdebilli, B. and Özdemir, Y. S. (2023). "Novel Integrated Hybrid Multi-Criteria Decision-Making Approach for Logistics Performance Index", *Transportation Research Record*, 2677(2), 1392-1400. <https://doi.org/10.1177/0361198122111331>
- Deng, Y. and Chan, F.T. (2011). "A New Fuzzy Dempster MCDM Method and Its Application in Supplier Selection", *Expert Systems with Applications*, 38(8), 9854-9861.
- Diakoulaki, D., Mavrotas, G. and Papayannakis, L. (1995). "Determining Objective Weights in Multiple Criteria Problems: The CRITIC Method", *Computers & Operations Research*, 22(7), 763-770.
- Erdin, C. and Çağlar, M. (2023). "National Innovation Efficiency: A DEA-Based Measurement of OECD Countries", *International Journal of Innovation Science*, 15(3), 427-456. <https://doi.org/10.1108/IJIS-07-2021-0118>
- Erh, J. (2023). "Singapore's Digital Transformation Journey", *Journal of Southeast Asian Economies*, 40(1), 4-31.
- European Commission. (2024). 2030 "Digital Decade—Annex:The Netherlands". <https://www.nlconnect.org/files/knowledgebase/2023/10/Netherlands-KvScfRYoOrO7mrK8JBMawkv0mWc-98660.pdf>, (Accessed: 25.07.2024).
- Eurostat. (2024). "The Netherlands, Italy and Spain Each Handled More Than 100 Million Tonnes of Goods in the Fourth Quarter of 2023", *Maritime Transport of Goods - Quarterly Data*, [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Gross_weight_of_seaborne_goods_handled_in_main_ports_2022Q4_2023Q3_and_2023Q4_\(million_tonnes\).png](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Gross_weight_of_seaborne_goods_handled_in_main_ports_2022Q4_2023Q3_and_2023Q4_(million_tonnes).png) (Accessed: 31.07.2024).
- Fedajev, A., Panić, M. and Živković, Ž. (2024). "Western Balkan Countries' Innovation as Determinant of their Future Growth and Development", *Innovation: The European Journal of Social Science Research*, 0(0), 1-29. <https://doi.org/10.1080/13511610.2024.2339939>
- Foma, A. A.K. and Mohammed, I. (2018). "Digital Transformation in the Logistics Industry", Unpublished Master's Thesis, Jönköping University International Business Scholl, Jönköping, Sweden.
- Gültekin Yıldırım, Z. (2015, May 8). "Türkiye Lojistik Sektörü ve Demiryolu Taşımacılığına İlişkin Araştırma Sonuçları ve Hedefler", *Elektrikli Raylı Ulaşım Sistemleri Sempozyumu*, Eskişehir. http://www.emo.org.tr/ekler/b2622eb706641a5_ek.pdf, (Accessed: 05.08.2024).
- Gürler, H. E., Özçalıcı, M. and Pamucar, D. (2024). "Determining Criteria Weights with Genetic Algorithms for Multi-Criteria Decision Making Methods: The Case of Logistics Performance Index Rankings of European Union Countries", *Socio-Economic Planning Sciences*, 91, 101758. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2023.101758>
- Hwang, C.L. and Yoon, K.P. (1981). "Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications", Springer-Verlag, New York.
- IMD. (2024a). "World Competitiveness Ranking", <https://www.imd.org/centers/wcc/world-competitiveness-center/rankings/world-competitiveness-ranking/>, (Accessed: 15.07.2024).

- IMD. (2024b). "World Digital Competitiveness Ranking", <https://www.imd.org/centers/wcc/world-competitiveness-center/rankings/world-digital-competitiveness-ranking/>, (Accessed: 15.07.2024).
- International Telecommunication Union (ITU). (2024). "The ICT Development Index", <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/IDI/default.aspx>, (Accessed: 15.07.2024).
- Işık, Ö., Aydın, Y. and Koşarolu, Ş. (2020). "The Assessment of the Logistics Performance Index of CEE Countries with the New Combination of SV and MABAC Methods", *Logforum*, 16(4), 549-559. <https://doi.org/10.17270/J.LOG.2020.504>
- Jahanshahloo, G.R., Lotfi, F.H. and Izadikhah, M. (2006). "An Algorithmic Method to Extend TOPSIS for Decision-Making Problems with Interval Data", *Applied Mathematics and Computation*, 175(2), 1375-1384.
- Ju, M., Mirović, I., Petrović, V., Erceg, Ž. and Stević, Ž. (2024). "A Novel Approach for the Assessment of Logistics Performance Index of EU Countries", *Economics*, 18(1), 20220074. <https://doi.org/10.1515/econ-2022-0074>
- Kara, K., Yalcin, G.C. and Kaygisiz, E.G. (2022). "Determination of Logistics Innovation Performance Index with Entropy and Combined Compromise Solution Techniques", *Symmetry: Culture and Science*, 33(4), 387-408. <https://doi.org/10.26830/symmetry.2022.4.387>
- Kaynak, S., Altuntas, S. and Dereli, T. (2017). "Comparing the Innovation Performance of EU Candidate Countries: An Entropy-Based TOPSIS Approach", *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 30(1), 31-54.
- Krishnan A. R., Kasim M. M., Hamid R. and Ghazali M. F. (2021). "A Modified CRITIC Method to Estimate the Objective Weights of Decision Criteria", *Symmetry*, 13(6), 973. <https://doi.org/10.3390/sym13060973>
- Lee, C-T., Hu, J-L. and Kung, M-H. (2022). "Economic Resilience in the Early Stage of the COVID-19 Pandemic: An Across-Economy Comparison", *Sustainability*, 14(8), 8. <https://doi.org/10.3390/su14084609>
- Lima Junior, F.R., Osiro, L. and Carpinetti, L.C.R. (2014). "A Comparison between Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS Methods to Supplier Selection", *Applied Soft Computing*, 21, 194-209. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2014.03.014>
- Mahmoody Vanolya, N. and Jelokhani-Niaraki, M. (2021). "The Use of Subjective-Objective Weights in GIS-based Multi-Criteria Decision Analysis for Flood Hazard Assessment: A Case Study in Mazandaran, Iran", *GeoJournal*, 86(1), 379-398. <https://doi.org/10.1007/s10708-019-10075-5>
- Manavgat, G., Demirci, A., Korkmaz, O. and Koluman, A. (2023). "Global Scale Integrated Logistics Performance Analysis and its Spillover Effect", *Logforum*, 19(2), 245-262.
- Markovits-Somogyi, R. and Bokor, Z. (2014). "Assessing the Logistics Efficiency of European Countries by Using the DEA-PC Methodology", *Transport*, 29(2), 2. <https://doi.org/10.3846/16484142.2014.928787>
- Martí, L. and Puertas, R. (2023). "Analysis of European Competitiveness based on its Innovative Capacity and Digitalization Level", *Technology in Society*, 72, 102206. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2023.102206>
- Martí, L., Martín, J.C. and Puertas, R. (2017). "A DEA-Logistics Performance Index", *Journal of Applied Economics*, 20(1), 169-192. [https://doi.org/10.1016/S1514-0326\(17\)30008-9](https://doi.org/10.1016/S1514-0326(17)30008-9)
- Martí, L., Puertas, R. and García, L. (2014). "The Importance of the Logistics Performance Index in International Trade", *Applied Economics*, 46(24), 2982-2992. <https://doi.org/10.1080/00036846.2014.916394>
- Mazurek, J. and Strzałka, D. (2022). "On the Monte Carlo Weights in Multiple Criteria Decision Analysis", *Plos One*, 17(10), e0268950. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0268950>
- Ministry of Customs and Trade. (2017). "Lojistik Performans Endeksi 2016", http://risk.gtb.gov.tr/data/52c5898e487c8eca94a7c695/LPI_2016_01_03_2017.pdf, (Accessed: 20.06.2022).
- Network Readiness Index. (2024). "Network Readiness Index". <https://networkreadinessindex.org/>, (Accessed: 15.07.2024).
- Ojala, L. and Celebi, D. (2015, March 9). "The World Bank's Logistics Performance Index (LPI) and Drivers of Logistics Performance", *International Transport Forum*, Quretaro. <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/ojala.pdf>, (Accessed:03.08.2024).
- Oxford Insights. (2024). "Government AI Readiness Index", <https://oxfordinsights.com/ai-readiness/ai-readiness-index/>, (Accessed:15.07.2024).
- Öztemiz, H.H. (2023). "Deniz Ticaretinde Dijital Teknolojiler ve Akıllı Limanlar: Dış Ticaret Bağlamında Bir İnceleme Singapur Limanı", *Deniz İşletmeciliği ve Yönetiminde Güncel Yaklaşımlar* (Editor: M. Yorulmaz), Efe Akademi Yayınları, İstanbul, 147-167.
- Placek, M. (2023, December 18). "U.S. Logistics Industry—Statistics & Facts", *Statista*, <https://www.statista.com/topics/1417/logistics-industry-in-the-us/>, (Accessed: 31.07.2024).
- Rotterdam Port. (2024). "Introduction—Digital Report 2023", <https://publications.portofrotterdam.com/digital-report/introduction>, (Accessed: 31.07.2024).
- Satı, Z.E. (2024). "Comparison of the Criteria Affecting the Digital Innovation Performance of the European Union (EU) Member and Candidate Countries with the Entropy Weight-TOPSIS Method and Investigation of Its Importance for

- SMEs", *Technological Forecasting and Social Change*, 200, 123094. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.123094>
- Senir, G. (2021). "Comparison of Domestic Logistics Performances of Turkey and European Union Countries in 2018 with an Integrated Model", *Logforum*, 17(2), 193-204. <https://doi.org/10.17270/J.LOG.2021.576>
- Shih, H.S., Shyur, H.J. and Lee, E.S. (2007). "An Extension of TOPSIS for Group Decision Making", *Mathematical and Computer Modelling*, 45(7-8), 801-813. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2006.03.023>
- Silva, M. do C., Gomes Costa, H. and Simões Gomes, C. F. (2020). "Multicriteria Decision Choices for Investment in Innovative Upper-middle Income Countries", *Innovation & Management Review*, 17(3), 321-347. <https://doi.org/10.1108/INMR-02-2019-0016>
- Skytrax. (2024). "World's Top 100 Airports 2023", <https://www.worldairportawards.com/worlds-top-100-airports-2023/>, (Accessed: 25.07.2024).
- Statista. (2024). "AI in Logistics—Statistics & Facts", <https://www.statista.com/topics/11469/ai-in-logistics/#topicOverview>, (Accessed: 21.07.2024).
- Tunsi, W. and Alidrisi, H. (2023). "The Innovation-Based Human Development Index Using PROMETHEE II: The Context of G8 Countries", *Sustainability*, 15(14), 14. <https://doi.org/10.3390/su151411373>
- Tziogkidis, P., Philippas, D., Leontitsis, A. and Sickles, R.C. (2020). "A Data envelopment Analysis and Local Partial Least Squares Approach for Identifying the Optimal Innovation Policy Direction", *European Journal of Operational Research*, 285(3), 1011-1024. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.02.023>
- Ulutaş, A. and Karaköy, Ç.K. (2019). "An Analysis of the Logistics Performance Index of EU Countries with an Integrated MCDM Model", *Economics and Business Review*, 5(4), 4. <https://doi.org/10.18559/eb.2019.4.3>
- UNCTAD. (2023, July 28). "Handbook on Measuring Digital Trade", <https://unctad.org/publication/handbook-measuring-digital-trade>, (Accessed: 22.07.2024).
- Vevera, A-V., Cîrnu, C.E. and Radulescu, C.Z. (2022). "A Multi-criteria Approach for the Calculation of a Complex Indicator of Cyber Security and Digital Development", *Romanian Journal of Information Technology and Automatic Control-Revista Romana De Informatica Si Automatica*, 32(4), 19-32. <https://doi.org/10.33436/v32i4y202202>
- Voronenko, I., Klymenko, N. and Nahorna, O. (2022). "Challenges to Ukraine's Innovative Development in a Digital Environment", *Management and Production Engineering Review*, 13(4), 48-58. <https://doi.org/10.24425/mper.2022.142394>
- Wang, P., Zhu, Z. and Wang, Y. (2016). "A novel hybrid MCDM model combining the SAW, TOPSIS and GRA Methods Based on Experimental Design", *Information sciences*, 345, 27-45. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2016.01.076>
- West, J.K. (2019). "An Introduction to Online Platforms and their Role in the Digital Transformation", *OECD*, https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4669281, (Accessed: 30.07.2024).
- World Bank. (2024). "About LPI", <https://lpi.worldbank.org/about>, (Accessed: 22.07.2024).
- World Intellectual Property Organization [WIPO]. (2024). "Global Innovation Index", https://www.wipo.int/global_innovation_index/en/, (Accessed: 15.07.2024).
- Yildirim, B.F. and Adiguzel Mercangoz, B. (2020). "Evaluating the Logistics Performance of OECD Countries by Using Fuzzy AHP and ARAS-G", *Eurasian Economic Review*, 10(1), 27-45. <https://doi.org/10.1007/s40822-019-00131-3>
- Yılmaz, B. (2024). "Dijitalleşmenin Uluslararası Ticaret ve Lojistik Performansa Etkisi: AB, APEC ve MERCOSUR Ülkelerinin Karşılaştırmalı Analizi", Unpublished PhD thesis. Akdeniz University Social Sciences Institute, Antalya.
- Ziemba, P. and Becker, J. (2019). "Analysis of the Digital Divide Using Fuzzy Forecasting", *Symmetry*, 11(2), 2. <https://doi.org/10.3390/sym11020166>

İstatistiki Bölge Birimleri Sınıflandırması (İBBS) Düzey 1'e göre Sağlık Hizmetleri Etkinliğinin Çift Amaçlı Çok Kriterli Veri Zarflama Analizi (ÇA-ÇKVZA) ile ÖlçülmesiTalip Arsu¹ , Burcu Çatal² , Melika Altınok² **ÖZET**

Amaç: Bu çalışma, İstatistiki Bölge Birimleri Sınıflandırması (İBBS) Düzey 1'e göre illerin sağlık hizmetleri etkinliğini Çift Amaçlı Çok Kriterli Veri Zarflama Analizi (ÇA-ÇKVZA) yöntemi ile ölçmeyi amaçlamaktadır.

Yöntem: Araştırmada, Türkiye'nin sağlık hizmetleri sunumundaki eşitsizlikler ve bu eşitsizliklerin nedenleri ele alınmıştır. İBBS Düzey 1 bölgeleri için 6 girdi ve 5 çıktı değişkeni kullanılarak sağlık hizmetleri etkinliği değerlendirilmiştir. Girdi değişkenleri, sağlık hizmetlerinin sağlanmasında kullanılan kaynakları temsil ederken, çıktı değişkenleri bu kaynakların kullanım oranlarını yansıtmaktadır. ÇA-ÇKVZA modeli ile elde edilen etkinlik değerleri, bölgelerin sıralamasını belirlemiştir.

Bulgular: Analiz sonuçları, her yıl için etkin olan bölgelerin (Güneydoğu Anadolu, Doğu Marmara) sabit kaldığını, diğer bölgelerin ise yıllara göre değişkenlik gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu çalışma, Türkiye'deki sağlık hizmetleri etkinliğinin değerlendirilmesinde ÇA-ÇKVZA yönteminin uygulanabilirliğini göstermekte ve sağlık hizmetleri sunumundaki eşitsizliklerin giderilmesine yönelik öneriler sunmaktadır.

Özgünlük: Ayrıntılı literatür taramasında İBBS Düzey 1'e göre sağlık performansının klasik VZA'ya göre ayırım gücü yüksek bir model olan ÇA-ÇKVZA ile ölçümünün yapıldığı bir araştırmaya rastlanamamıştır. Bu açıdan bu çalışma, sağlık hizmetleri performansı ölçümünde VZA literatürüne uygulama açısından katkı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Sağlık Hizmetleri Etkinliği, İBBS Düzey 1, Çift Amaçlı Çok Kriterli Veri Zarflama Analizi (ÇA-ÇKVZA).

JEL Kodları: I18, C67.

Measurement of Health Services Efficiency of Provinces by Bi-Objective Multi-Criteria Data Envelopment Analysis (BiO-MCDEA) according to The Nomenclature of Territorial Units for Statistics (NUTS) Level 1**ABSTRACT**

Purpose: This study aims to measure the health service efficiency of provinces according to Level 1 of The Nomenclature of Territorial Units for Statistics (NUTS) using the Bi-Objective Multi-Criteria Data Envelopment Analysis (BiO-MCDEA).

Methodology: In the research, inequalities in the provision of health services in Turkey and the reasons for these inequalities were discussed. Health service efficiency was evaluated using 6 input and 5 output variables for NUTS Level 1 regions. While the input variables represent the resources used in the provision of health services, the output variables reflect the usage rates of these resources. The efficiency values obtained with the BiO-MCDEA model determined the ranking of the regions.

Findings: The analysis results revealed that the regions that were effective for each year (Southeastern Anatolia, and East Marmara) remained constant, while the other regions varied according to the years. This study demonstrates the applicability of the BiO-MCDEA method in evaluating the effectiveness of health services in Turkey and offers suggestions for eliminating inequalities in the provision of health services.

Originality: In the detailed literature review, no study was found in which health performance was measured with MCDA-MCDA, which is a model with high discrimination power compared to classical DEA, according to NUTS Level 1. In this respect, this study will contribute to the DEA literature in terms of application in health care performance measurement.

Keywords: Health Services Efficiency, NUTS Level 1, Bi-Objective Multi-Criteria Data Envelopment Analysis (BiO-MCDEA).

JEL Codes: I18, C67.

¹ Aksaray Üniversitesi Sosyal Bilimler MYO, Turizm ve Otel İşletmeciliği Programı, Aksaray, Türkiye

² Aksaray Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Sağlık Kurumları İşletmeciliği Programı, Aksaray, Türkiye

Sorumlu Yazar-Corresponding Author: Talip Arsu, taliparsu@aksaray.edu.tr

DOI: 10.51551/verimlilik.1603709

Araştırma Makalesi / Research Article | Geliş / Submitted: 18.12.2024 | Kabul / Accepted: 21.03.2025

Atıf/Cite: Arsu, T., Çatal, B. ve Altınok, M. (2025). "İstatistiki Bölge Birimleri Sınıflandırması (İBBS) Düzey 1'e göre Sağlık Hizmetleri Etkinliğinin Çift Amaçlı Çok Kriterli Veri Zarflama Analizi (ÇA-ÇKVZA) ile Ölçülmesi", *Verimlilik Dergisi*, 59(2), 453-466.

EXTENDED ABSTRACT

Health services play a vital role in enhancing individuals' quality of life. A well-functioning health system ensures not only the treatment of illness but also preventive care and long-term wellness. As populations grow and expectations for quality healthcare rise, evaluating the efficiency of health services has become increasingly essential. In this context, measuring the performance and efficiency of health systems is critical for identifying regional disparities and improving service delivery.

Despite improvements in Turkey's healthcare infrastructure, inequalities persist in access to and use of health services across regions. These disparities arise due to differences in resource allocation, infrastructure quality, and population density. The purpose of this study is to evaluate the efficiency of health services across NUTS Level 1 regions in Turkey using the Bi-Objective Multi-Criteria Data Envelopment Analysis (BiO-MCDEA) method. Unlike classical DEA, this approach offers greater discriminatory power by integrating two optimization objectives. The main research objective is to rank the regions based on healthcare efficiency and identify underperforming regions to offer targeted improvement strategies.

The study covers the 12 NUTS Level 1 regions of Turkey over a five-year period (2018–2022). Six input variables (e.g., number of doctors, nurses, beds, and medical devices) and five output variables (e.g., number of hospital visits, surgical procedures, and bed occupancy rate) were used to represent healthcare capacity and utilization. The BiO-MCDEA model, which enhances the classic DEA by focusing on minimizing both the maximum and total deviations, was employed to calculate efficiency scores for each region annually. The model's ability to provide stronger discrimination among decision-making units makes it a valuable tool for performance assessment in health services.

The findings revealed that Southeastern Anatolia and East Marmara were consistently the most efficient regions throughout the study period. Other regions showed variable performance across the years, indicating fluctuating utilization of healthcare resources. For example, the West Marmara region showed moderate but improving efficiency, whereas regions like Central Anatolia and Eastern Anatolia exhibited less stability. The results also highlight that while some regions maintain a constant level of effectiveness, others struggle to achieve optimal resource utilization. Efficiency scores ranged from 0.74 to 1.00, with the BiO-MCDEA method identifying fewer efficient units compared to the classical DEA, thus confirming its higher discriminatory power.

This study demonstrates that significant regional disparities exist in the efficiency of healthcare services in Turkey. The BiO-MCDEA method proved effective in identifying these disparities and can guide policymakers in designing region-specific health policies. The consistent performance of regions like Southeastern Anatolia and East Marmara suggests better resource management and healthcare infrastructure. On the other hand, fluctuating efficiency scores in other regions underline the need for strategic investments in human resources, infrastructure, and technological capacity.

To improve healthcare efficiency in underperforming areas, the study suggests optimizing workforce distribution, expanding bed capacity, and tailoring healthcare policies based on regional socio-economic profiles. Enhancing data collection systems and integrating private healthcare institutions into national planning can also support more balanced service delivery.

The study contributes to the literature by applying a rarely used yet robust BiO-MCDEA model to healthcare performance evaluation at a regional level. Future research could explore alternative input-output configurations or test different DEA-based models to validate and extend these findings.

1. GİRİŞ

İnsan yaşamının önemli bir parçası olan sağlık, bireyin yaşam kalitesinin ölçülmesinde büyük bir rol oynamaktadır. Yaşam kalitesinin yükselmesi ve bireyin yaşamını uzun vadede sürdürebilmesi yalnızca “sağlıklı olmak” ile mümkündür (Çelikay ve Gümüş, 2010). Sağlıklı olmanın en etkili yolu sağlık hizmetlerinden yeterince faydalanmaktan geçmektedir. Sağlıklı olmak tek başına yeterli değildir. Bunun yanı sıra, bireyin iyi ve sağlıklı halinin sürdürülebilir olması yaşam kalitesi açısından büyük önem taşımaktadır (Temür ve Bakırcı, 2008). Sağlıklı olmak, bireyi hem bedenen hem de ruhen etkiler. Artan nüfus, salgın hastalıklar, virüs gibi insan yaşamını tehdit altına alan hastalıklar arttıkça toplum tarafından sağlığa verilen önem de artmaktadır. Bireylerin sağlığa verdikleri önem arttıkça sağlık hizmetlerinden beklentileri de artış göstermektedir (Pehlivan ve Yiğit, 2022). Sağlık sektörü tarafından sağlığa dair yapılan faaliyetlerin tümü sağlık hizmetleri olarak tanımlanmaktadır. Bireyleri hastalıklardan korumak, hasta olanları tedavi etmek, sakatlık durumlarında gerekli rehabilitasyon hizmetlerini sağlamak sağlık hizmetlerinin görevidir (Temür ve Bakırcı, 2008). Sağlık hizmetlerine ihtiyaç duyulmasının temel sebebi, bireyleri bulundukları hastalık hallerinden kurtarmak, hastalığın getirdiği ağrı ve acıyı en aza indirmek ve sağlıklı, üretken, çalışkan bir toplum elde etmektir (Temür ve Bakırcı, 2008). İnsan yaşamı için büyük bir öneme sahip olan sağlık hizmetleri, 2000’li yıllardan itibaren sağlık alanındaki gelişmelerle birlikte ilerleyerek günümüze kadar varlığını sürdürmüştür (Avaner ve Fedai, 2017). Türkiye’de sağlık hizmetlerinin etkili ve verimli şekilde sunulması için 2003 yılından bu yana çeşitli reform hareketleri görülmektedir (Avcı ve Şenel, 2019). Sağlık alanında birtakım değişimlerin devam etmesi insanların yaşam kalitelerini yüksek tutmalarıyla doğru orantılıdır. Bu kapsamda bireylerin sağlıklı olması yalnızca sunulan sağlık hizmetlerinin erişilebilir olması ile mümkündür (Çelikay ve Gümüş, 2010). Sunulan sağlık hizmetine duyulan güven önemli bir konuma sahiptir. Sunulan hizmetlerin değerlendirilmesi; sağlık çalışanları ve kurumlar açısından olduğu kadar, hizmetin sürdürülebilirliğinin sağlanması bakımından da önem arz etmektedir (Avcı ve Şenel, 2019).

Sağlık sistemleri bireye ve topluma nitelikli hizmet sunmanın yanında toplumlar arası oluşan eşitsizliği de gidermeyi hedeflemektedir (Başak, 2007). Sağlık hizmetlerinin temelinde bireyin en başta hasta olmasını engellemek vardır. Bireyin hasta olmasına engel koyulamayan durumlarda ise bireye gerekli tedavi hizmetini sunarak, var olan tüm sağlık hizmetlerinden yararlanmasını sağlayarak, bireyin iyi olma haline kavuşturulması sağlık hizmetlerinin birincil amaçları arasındadır (Temizer, 2019). Sağlık hizmetlerinin topluma gerekli olan faydayı sağlayabilmesi hizmetin kalitesi ve performansı ile doğru orantılıdır. Sağlık hizmetleri performansında önemli olan verilen hizmetin kalitesidir. Sağlık hizmetinin kalitesi bölgelere, şehirlere ve yıllara göre değişim göstermektedir (Keleş, 2023). Bu değişimin temel sebebi bölgelerde bulunan sağlık kuruluşlarının sunduğu hizmet kalitesindeki performans ve yapısal farklılıklardan kaynaklanmaktadır (Anell ve Willis, 2000).

Sağlık kurumlarının sunduğu hizmetin kalitesini ölçmek performans ölçümüyle mümkündür. Performans ölçümü tüm sağlık kurumlarının mevcut durumlarının ne olduğunu, kurumun hedeflerine ulaşmış olup olmadığını ortaya çıkaran bir ölçüm aracıdır (Yenice, 2006). Performans ölçümü yalnızca kurumun ekonomik değerini değil sunduğu hizmetin verimliliğini ve etkinliğini de ölçmeyi amaçlamaktadır (Mettler ve Rohner, 2009). Sağlık hizmetlerinde etkinlik ve kaynakların verimli bir şekilde kullanılıp kullanılmadığı performans ölçümü sayesinde belirlenir, bunun sonucunda sağlık hizmetlerine pozitif ve negatif getirisi olan faktörler belirlenerek sağlık hizmetinin kalitesi yükseltilebilmektedir (Çilhoroz, 2021). Kaliteli sağlık hizmeti her alanda önemli görülmektedir. Ancak sağlık söz konusu olduğunda bu bir zorunluluk hâline gelmektedir. Sağlık hizmetinde kalitenin zorunlu hale gelmesinin nedeni, sağlığın bozulmasının geri dönüştürülemeyecek hatalara yol açabilmesidir. Bu yüzden sağlık alanında etkinlik sunan tüm sağlık örgütlerinin yenilikleri takip etmesi ve kaliteli hizmet sunmak için çalışmalar yapması gereklilik değil zorunluluktur (Oksay, 2016).

Sağlık hizmetleri performansının değerlendirilmesindeki asıl amaç, günümüz sağlık kuruluşlarının gösterdiği faaliyetlerin ölçülmesi için stratejik bir denetim sağlamaktır (Demirci ve diğerleri, 2020). Değerlendirme sonucunda ortaya çıkan performans analizi hem bölgelerin hem de ülkelerin kalkınmışlık derecesinin ortaya çıkmasında yararlanabilecek verileri sunmaktadır (Keleş, 2023). Performans sonuçları sağlık hizmetlerindeki kaliteyi iyileştirmeyi ve sistem yönetimi kullanımını daha etkin kılmayı sağlayan bir göstergedir (Braithwaite ve diğerleri, 2017). Verilerinden elde edilen sonuçlar tüketicilerin (hastaların) ihtiyaçlarını belirlemek ve önceliklerin neler olduğu hakkında bir yol gösterici olarak kullanılmaktadır (Pransky ve diğerleri, 2001).

Sağlık hizmetleri performansını ölçmek için oran analizi, regresyon analizi, toplam faktör verimliliği gibi yöntemlerden yararlanılırken etkinlik ölçümünde birtakım parametrik olmayan yöntemler kullanılmaktadır. Bunlardan en sık kullanılan yöntem veri zarflama analizi (VZA) yöntemidir (Ozcan, 2008). Charnes ve diğerleri (1978) tarafından önerilen klasik VZA özellikle sosyal bilimler literatüründe yaygın kullanım alanı olan parametrik olmayan bir etkinlik ölçme aracı olmasına rağmen, düşük ayırım gücü dezavantajı bulunmaktadır. Düşük ayırım gücü dezavantajından kaçınmak için Li ve Reeves (1999) üç bağımsız

amaçtan oluşan Çok Kriterli Veri Zarflama Analizini (ÇKVZA) önermiştir. Fakat Li ve Reeves'in (1999) ÇKVZA modelindeki ilk amaç Klasik VZA modeli ile aynı anlama gelmektedir. Bu amacın ayırım gücü dezavantajını olumsuz yönde etkileyebileceği düşüncesi ile Ghasemi ve diğerleri (2014) yalnızca iki amaçtan oluşan Çift Amaçlı Çok Kriterli Veri Zarflama Analizini (ÇA-ÇKVZA) modelini önermiştir. Bölgelerarası sağlık hizmetleri performansının ayırım gücünü artırmak adına bu araştırmada ÇA-ÇKVZA kullanılmıştır.

Sağlık hizmetleri performansı, şehirler ile bölgeler arasında büyük farklılıklar göstermektedir. Bu araştırmada performans değerlendirilirken ölçek farklılıklarından dolayı şehirler ayrı ayrı değerlendirilmemiştir. Ayrıca coğrafi bölgelere göre yapılacak bir değerlendirme de bazı bölgelerdeki çok büyük şehirlerin değerlendirmeyi etkileyeceği düşüncesi ile tercih edilmemiştir. Bunun yerine İstatistiki Bölge Birimleri Sınıflandırmasında (İBBS) Düzey 1 kullanılmıştır. İBBS'nin üç kademeli bölge sistemi oluşturulurken, 81 il Düzey 3 olarak tanımlanmıştır. Ekonomik, sosyal ve coğrafi yönden benzerlik gösteren komşu iller ise bölgesel kalkınma planları ve nüfus büyüklükleri de dikkate alınarak Düzey 2 (26 adet) ve Düzey 1 (12 adet) bölgeleri olarak belirlenmiştir (Kalkınma Ajansları, 2025). İBBS, bölgesel kalkınma, ekonomi, vb. birçok alanda olduğu gibi sağlık hizmetleri alanında da bölgelerarası benzerlik ve farklılıkları belirlemek amacıyla kullanılan bir sınıflandırmadır (Özdemir, 2020). İBBS Düzey 1 sınıflandırması, Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1. İBBS Düzey 1 sınıflandırması

Kod	Bölge Adı	İller
TR1	İstanbul	İstanbul
TR2	Batı Marmara	Edirne, Kırklareli, Tekirdağ, Balıkesir, Çanakkale
TR3	Ege	İzmir, Aydın, Denizli, Muğla, Afyonkarahisar, Kütahya, Manisa, Uşak
TR4	Doğu Marmara	Bilecik, Bursa, Eskişehir, Bolu, Düzce, Kocaeli, Sakarya, Yalova
TR5	Batı Anadolu	Ankara, Karaman, Konya
TR6	Akdeniz	Antalya, Burdur, Isparta, Adana, Mersin, Hatay, Kahramanmaraş, Osmaniye
TR7	Orta Anadolu	Aksaray, Kırıkkale, Kırşehir, Niğde, Nevşehir, Kayseri, Sivas, Yozgat
TR8	Batı Karadeniz	Bartın, Karabük, Zonguldak, Çankırı, Kastamonu, Sinop, Amasya, Çorum, Samsun, Tokat
TR9	Doğu Karadeniz	Artvin, Giresun, Gümüşhane, Ordu, Rize, Trabzon
TRA	Kuzeydoğu Anadolu	Bayburt, Erzincan, Erzurum, Ağrı, Ardahan, Iğdır, Kars
TRB	Ortadoğu Anadolu	Bingöl, Elazığ, Malatya, Tunceli, Bitlis, Hakkari, Muş, Van
TRC	Güneydoğu Anadolu	Adıyaman, Gaziantep, Kilis, Diyarbakır, Şanlıurfa, Batman, Mardin, Şırnak, Siirt

Türkiye, Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) tarafından yürütülen Genel Sağlık Sigortası (GSS) kapsamında vatandaşlarına sağlık hizmetleri sunan ve sağlık hizmetleri konusunda birçok ülkeye göre daha kapsamlı şekilde hizmet sağlayan bir ülkedir. Özel sağlık kuruluşları da dikkate alındığında vatandaşların sağlık hizmetlerine erişimi konusunda son yıllarda büyük bir aşama kaydedilmiştir. Fakat sağlık hizmetlerinin her bölgede eşit şartlarda sunulması; olanaklar, nüfus yoğunluğu, maliyetler gibi unsurlardan dolayı mümkün olamamaktadır. Bu çalışmada, bölgelerin sağlık hizmetleri etkinliği incelenerek, etkin olmayan bölgelerin nasıl daha etkin hale getirilebileceğine dair öneriler sunulmuştur.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Sağlık hizmetleri kalite ve etkinliğini ölçmek için birçok çalışmada ÇKKV (Çok Kriterli Karar Verme) yöntemleri kullanılmıştır. Doğan ve Gencan (2014), Ankara'da bulunan 26 kamu hastanesini VZA ve AHP yöntemleriyle; Pehlivan ve Yiğit (2022), Türkiye'de büyükşehir statüsüne sahip illerin (30 Büyükşehir) performansını ölçmek için VZA ve Malmquist Toplam Faktör Verimliliği Endeksini (MTFVE); Keleş (2023), çalışmada Türkiye'nin 81 şehrinin performansını ölçmek için MEREC, LOPCOW, CRITIC, Entropi, COPRAS, EDAS, TOPSIS, MOORA, MOOSRA, CODAS, OCRA, ROV ve Borda yöntemlerini; Pekkaya ve Dökmen (2019), Türkiye'nin de üyesi olduğu OECD ülkeleri için sağlık hizmeti performansının ölçülmesinde VZA, TOPSIS, GRA yöntemlerini; Çilhoroz (2021), istatistiki bölge birimlerinin sağlık hizmetleri etkinliğini ölçmek ve etkinliğe/etkinsizliğe etki eden faktörleri belirlemek için VZA yöntemini; Durur ve diğerleri (2022), Türkiye'de Sağlık Bakanlığı tarafından oluşturulan 30 Sağlık Hizmet Bölgesinin (SHB) performanslarının değerlendirilmesi için VZA yöntemini; Sevimli (2013), İBBS'de yer alan 12 bölgenin performansını ölçmek için VZA yöntemini; Öksüzkaya (2017), İBBS'de yer alan 12 bölgenin sağlık sektörü performansını ölçmek için VZA yöntemini; Temür ve Bakırcı (2008), çalışmada Sağlık Bakanlığına bağlı 846 hastanenin performans ölçümü için VZA yöntemini; Kar ve diğerleri (2016), çalışmalarında İBBS'ye göre kadın doğum hastanelerinin performans ölçümü için VZA yöntemini; Hu ve diğerleri (2012), Çin'de bulunan 30 eyaletin hastane performanslarının ölçümü için VZA yöntemini; Rezaee ve Karimdadi (2015), İran'da 31 ilde bulunan 288 hastanenin performans ölçümünü VZA yöntemiyle; Kaya Samut ve Cafri (2016), OECD ülkelerinin

sağlık hizmetleri kapasite ve performans ölçümünü VZA yöntemiyle; Ketabi (2011), İran'da 23 hastanenin performans ölçümünü VZA yöntemiyle; Yiğit ve Esen (2017), Pabon Lasso Modeli ve VZA ile hastanelerde performans ölçümünü; Aytekin (2011) yatak işgal oranı düşük olan Sağlık Bakanlığı hastanelerinin performans ölçümünü VZA yöntemiyle; Açık Taşar ve diğerleri (2019), sağlık kurumlarında finansal performans ölçümünü VZA yöntemiyle; Güler ve diğerleri (2017), sağlık kuruluşları performansını VZA yöntemiyle; Özata ve Sevinç (2011), Konya'daki sağlık ocaklarının etkinlik düzeylerini VZA yöntemiyle; Dokumacı (2017), üniversite eğitim uygulama araştırma hastanelerinde VZA ile finansal performans ölçümünü; Pekkaya ve Dökmen (2019), OECD ülkeleri kamu sağlık harcamalarının ÇKKV yöntemleri ile performans değerlendirmesini yapmışlardır. Yapılan ayrıntılı literatür taramasında İBBS Düzey 1'e göre sağlık performansının klasik VZA'ya göre ayırım gücü yüksek bir model olan ÇA-ÇKVZA ile ölçümünün yapıldığı bir araştırmaya rastlanamamıştır. Bu açıdan bu çalışma, sağlık hizmetleri performansı ölçümünde VZA literatürüne uygulama açısından katkı sağlayacaktır.

3. YÖNTEM

ÇA-ÇKVZA, Ghasemi ve diğerleri (2014) tarafından geliştirilen ve ÇKVZA modelinin ayırım gücünü geliştirmeyi amaçladığı hedef programlama tabanlı bir etkinlik belirleme modelidir. Bal ve diğerleri (2010) hedef programlama tabanlı, ÇKVZA modelinin ayırım gücü ve ağırlık dağılımı sorununu ortadan kaldıracak bir model önermiştir. Hedef Programlama Veri Zarflama Analizi (HPVZA) olarak adlandırılan model istenmeyen sapmaların eşit ağırlık kullanılarak çözülmesi temeline dayanmaktadır. Bu çalışmada ÇA-ÇKVZA kullanılmasının sebebi düşük ayırım gücü dezavantajından kaçınmak için klasik VZA'nın model dışında bırakılması ve ÇA-ÇKVZA modelinin çözüm aşamalarının daha kolay olmasıdır.

3.1. Çok Kriterli Veri Zarflama Analizi (ÇKVZA)

Klasik VZA özellikle sosyal bilimler alanında etkinlik analizi için yaygın bir şekilde kullanılan non-parametrik bir analizdir. Charnes ve diğerleri (1978) tarafından önerilen klasik CCR-VZA yönteminin doğrusal programlama formuna dönüştürülmüş şekli Eşitlik 1-5'te gösterilmiştir.

$$\text{Max } h_0 = \sum_{r=1}^s u_r y_{r0} \quad (1)$$

s. t.

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1 \quad (2)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0, \quad j = 1, \dots, n \quad (3)$$

$$u_r \geq 0 \quad (4)$$

$$v_i \geq 0 \quad (5)$$

Burada; j karar verme birimi (KVB) sayısını, s çıktı sayısını, m girdi sayısını, y_{rj} j . KVB için r . çıktının değerini, x_{ij} j . KVB için i . girdinin değerini, u_r r . çıktının ağırlığını, v_i i . girdinin ağırlığını, h_0 ise göreceli etkinliği ifade etmektedir. Bu modelde herhangi bir KVB'nin etkin olabilmesi için $h_0 = 1$ olması gerekmektedir (Charnes ve diğerleri, 1978).

Klasik VZA bir etkinlik ölçüm yöntemi olmakla birlikte Li ve Reeves (1999)'ün ÇKVZA modeli etkisizlikler üzerine kurulmuştur. $[0, 1]$ aralığı ile sınırlanan d_0 , "etkisizlik" ölçüsü olarak kabul edilebilir ve $h_0 = 1 - d_0$ olarak tanımlanır. Yani d_0 değeri ne kadar küçük olursa, KVB_0 daha az etkisizdir (ve dolayısıyla daha etkin) denilebilir. Li ve Reeves (1999)'ün yönteminde, etkisizliğin ölçüsü olan d_0 'ı en aza indirmenin yanında maksimum sapmayı en aza indirmek ve sapmaların toplamını en aza indirmek gibi bağımsız iki amaç fonksiyonu daha bulunmaktadır. Söz konusu model aşağıdaki gibidir (Eşitlik 6-12).

$$\text{Min } d_0 \text{ (veya max } h_0 = \sum_{r=1}^s u_r y_{r0}) \quad (6)$$

$$\text{Min } M \quad (7)$$

$$\text{Min } \sum_{j=1}^n d_j \quad (8)$$

s. t.

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1 \quad (9)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + d_j = 0 \quad j = 1, \dots, n \quad (10)$$

$$M - d_j \geq 0 \quad j = 1, \dots, n \quad (11)$$

$$u_r, v_i, d_j \geq 0 \quad (12)$$

Burada; M tüm sapma değişkenlerinin maksimum miktarını temsil etmektedir.

ÇKVZA modeli öncelikle klasik VZA modelinin ayrımcılık gücünün geliştirilmesi için bir araç olarak önerilmiştir. Çözüm prosedüründe, ÇKVZA üç amacı çözmek için etkileşimli bir yaklaşım olarak önerilmiştir. İlk amaç veya kriter ÇKVZA çözümlerinin kümesi içinde klasik VZA çözümünü barındırmaktadır. Diğer iki amaç olan Minimax ve Minsum amaçları sırasıyla daha kısıtlayıcı veya gevşek etkinlik çözümleri sunmaktadır. Bu model ile daha makul girdi ve çıktı ağırlıkları elde etmek için daha geniş bir çözümün mümkün olduğu kanıtlanmaktadır (Ghasemi ve diğerleri, 2014: 641).

3.2. Çift Amaçlı Çok Kriterli Veri Zarflama Analizi (ÇA-ÇKVZA)

ÇA-ÇKVZA modeli 3 bağımsız amaç fonksiyonundan oluşmaktadır: $\min d_0$, $\min M$ ve $\min \sum_j d_j$ Model 2'de tanımlandığı gibi. Ağırlıklandırılmış bir modelde, ÇA-ÇKVZA'nın üç bağımsız amaç fonksiyonu $w_1 d_0 + w_2 M + w_3 \sum_j d_j$ şeklinde ağırlıklandırılarak tek amaçlı bir problem haline dönüştürülebilir. Ağırlıklar $w_i (i = 1, 2, 3)$ değiştirilerek farklı etkinlik skorlarına ulaşılabilir. Bununla birlikte, ilk amaç olan w_1 klasik CCR modeli ile aynı anlamı ifade ettiğinden ÇA-ÇKVZA modelinden kaldırılabilir. Çünkü, $\min M$ ve $\min \sum_j d_j$ amaçlarının ayırım gücünün $\min d_0$ amacından daha yüksek olduğu kanıtlanmıştır (Li ve Reeves, 1999; San Cristobal, 2011; Hatami-Marbini ve Toloo, 2017). Bu nedenle Ghasemi ve diğerleri (2014)'nin önerdiği ÇA-ÇKVZA modelinde sadece $\min M$ ve $\min \sum_j d_j$ amaçları ağırlıklandırılmıştır. ÇA-ÇKVZA modeli aşağıda gösterilmiştir (Eşitlik 13-19).

$$\min h = (w_2 M + w_3 \sum_j d_j) \quad (13)$$

s. t.

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{ij0} = 1 \quad (14)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + d_j = 0 \quad j = 1, \dots, n \quad (15)$$

$$M - d_j \geq 0 \quad j = 1, \dots, n \quad (16)$$

$$u_r \geq \varepsilon, \quad r = 1, 2, \dots, s \quad (17)$$

$$v_i \geq \varepsilon, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (18)$$

$$d_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (19)$$

ÇA-ÇKVZA modelinin kısıtları Li ve Reeves (1999)'in ÇA-ÇKVZA modeli ile aynı kısıtlardan oluşmaktadır. Sadece u_r ve v_i değişkenleri ε sabiti ile kısıtlanmıştır. Ghasemi ve diğerleri (2014) çözdüğü örneklerde $\varepsilon = 0,0001$ kullanmış olmasına rağmen, ε sabitine uygun bir değer bulmak için bir yaklaşım önermemiştir. Ayrıca farklı bir veri seti kullanarak çözülen örnekte $\varepsilon = 0$ olması durumunda da ÇA-ÇKVZA modelinin hala sağlam olduğunu göstermiştir.

4. VERİ

Bölgeler arası etkinlik farklılıkları incelenirken İBBS Düzey 1 kullanılmıştır. İBBS'nin üç kademeli bölge sistemi oluşturulurken, 81 il Düzey 3 olarak tanımlanmıştır. Ekonomik, sosyal ve coğrafi yönden benzerlik gösteren komşu iller ise bölgesel kalkınma planları ve nüfus büyüklükleri de dikkate alınarak Düzey 2 (26 adet) ve Düzey 1 (12 adet) bölgeleri olarak belirlenmiştir (Kalkınma Ajansları, 2025). Coğrafi bölgeler görece olarak homojen olmayan (farklı nüfus, nüfus yoğunluğu, gelir düzeyi vb. sahip illerden oluşması) iller barındırması sebebiyle tercih edilmemiştir.

KVB sayısının belirlenmesi, isabetli ve etkin sonuçlara ulaşabilmek için büyük önem taşımaktadır. Girdi ve çıktı sayılarının toplamı, KVB sayısından az olmalıdır (Cooper ve diğerleri, 2002: 103). VZA modelinin ayrıştırma yeteneğinin yüksek olabilmesi için girdi ve çıktı sayısının mümkün olduğunca fazla olması tercih edilir. Eğer seçilen girdi sayısı m ve çıktı sayısı s ise araştırmanın güvenilirliği açısından en az $m+s+1$ KVB bulunması gerekmektedir (Atan, 2003). Bu yüzden İBBS düzey 1 bölgelerinin sağlık hizmetleri değerlendirilirken altı girdi beş çıktı olmak üzere on bir değişken kullanılmıştır. Bu değişkenlerin çoğu mevcut literatürde sağlık hizmetleri performansının değerlendirildiği çalışmalarda da kullanılmıştır. Girdiler sağlık hizmetlerinin verilmesini mümkün kılan unsurların niceliğinden, çıktılar ise bu mevcut unsurlar ile fiili olarak gerçekleşen kullanım oranlarından oluşmaktadır. Söz konusu girdi ve çıktı değişkenleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Analizde kullanılan girdi ve çıktı değişkenleri

Girdi/Çıktı	v/u	Tanım	Kaynak
Hekim Sayısı ¹	v ₁	Sağlık Bakanlığı bünyesinde çalışan pratisyen ve uzman hekim sayılarını kapsamaktadır (Aile hekimleri de dahildir).	Durur ve diğerleri (2022), Sevimli (2013), Öksüzkaya (2017), Temür ve Bakırcı (2008), Kar ve diğerleri (2016), Pakdil ve diğerleri (2010), Bal ve Bilge (2013), Çakmak ve diğerleri (2009), Yeşilyurt (2007), Bayraktutan ve diğerleri (2010), Bayraktutan ve Pehlivanoğlu (2012), Beylik ve diğerleri (2015)
Eczacı Sayısı ¹	v ₂	Sağlık bakanlığı bünyesinde çalışan bulunan eczacı sayılarını kapsamaktadır.	Keleş (2023), Aydın (2021), Berk ve Çerçioğlu (2019), Çağlar ve Ketan (2019), Dirik ve Şahin (2020)
Diş Hekimi Sayısı ¹	v ₃	Sağlık bakanlığı bünyesinde çalışan diş hekimi sayılarını kapsamaktadır.	Keleş (2023), Yüksel (2020), Yılmaz ve diğerleri (2019), Demirci ve diğerleri (2021), Aydın (2021)
Diğer Sağlık Personeli Sayısı ¹	v ₄	Sağlık bakanlığı bünyesinde çalışan diğer personellerini (Ebe-Hemşire dahil) kapsamaktadır.	Pehlivan ve Yiğit (2022), Rezaee ve Karimdadi (2015), Bayraktutan ve Pehlivanoğlu (2012), Keleş (2023), Çalışkan ve Girginer (2016), Pınarbaşı ve Mansur (2022), Aytekin (2011), Dirik ve Şahin (2020)
Yatak Sayısı ¹	v ₅	Sağlık bakanlığı bünyesindeki hastanelerde yer alan hasta yatağı ve yoğun bakım yatağı sayısını kapsamaktadır.	Keleş (2023), Pehlivan ve Yiğit (2022), Pekkaya ve Dökmen (2019), Çilhoroz (2021), Durur ve diğerleri (2022), Sevimli (2013), Öksüzkaya (2017), Temür ve Bakırcı (2008), Kar ve diğerleri (2016), Hu ve diğerleri (2012), Rezaee ve Karimdadi (2015), Kaya Samut ve Cafri (2016), Ketabi (2011), Bal ve Bilge (2013), Yeşilyurt (2007), Bayraktutan ve diğerleri (2010), Bayraktutan ve Pehlivanoğlu (2012), Beylik ve diğerleri (2015), Çakmak ve Örkcü (2016), Yüksel (2022), Ömürbek ve diğerleri (2021), Ersoy (2022)
Görüntüleme ve Hemodiyaliz Cihazı Sayısı ¹	v ₆	Sağlık bakanlığına ait tüm hastanelerdeki görüntüleme cihazlarının (MR, BT, ULTRASON, DOPPLER, EKO, MAMOGRAFİ) ve hemodiyaliz cihazlarının sayılarını kapsamaktadır.	Aydın (2021), Pekkaya ve Dökmen (2019), Boz ve Önder (2017), Çeçen ve Akbulut (2023)
Hastanelere Müracaat Sayısı ²	u ₁	Sağlık bakanlığı bünyesinde hastanelere başvuran hasta sayılarını kapsamaktadır.	Keleş (2023), Pehlivan ve Yiğit (2022), Çilhoroz (2021), Ergülen ve diğerleri (2020), Özdemir (2020), Deviren ve Duran (2018), Torun ve diğerleri (2020), Dedecan ve Torun (2023)
Diş Hekimine Müracaat Sayısı ²	u ₂	Sağlık bakanlığı bünyesindeki diş polikliniklerine başvuran hasta sayılarını kapsamaktadır.	Keleş (2023), Özdemir (2020), Çilhoroz (2021), Yılmaz ve diğerleri (2019)
Yatak Doluluk Oranı	u ₃	Bir yıl içinde sağlık bakanlığı bünyesindeki hastanelerdeki yatakların ne oranda hasta tarafından kullanıldığını göstermektedir.	Pehlivan ve Yiğit (2022), Rezaee ve Karimdadi (2015), Hu ve diğerleri (2012), Ketabi (2011), Beylik ve diğerleri (2015)
İstenilen Görüntüleme Sayısı ³	u ₄	Sağlık bakanlığı bünyesinde hastanelerde muayene sırasında istenilen görüntüleme (MR, BT, ULTRASON, DOPPLER, EKO, MAMOGRAFİ) sayılarını kapsamaktadır.	Pekkaya ve Dökmen (2019)
Yapılan Ameliyat Sayısı ³	u ₅	Sağlık bakanlığı bünyesindeki hastanelerde yapılan ameliyat sayılarını kapsamaktadır.	Doğan ve Gencan (2014), Pehlivan ve Yiğit (2022), Çilhoroz (2021), Durur ve diğerleri (2022), Sevimli (2013), Kar ve diğerleri (2016)

Not: 1, 100000 kişiye düşen sayılar; 2, Kişi başı ortalama sayılar; 3, 1000 kişiye düşen sayılar

Lewin ve diğerleri (1982), girdi ve çıktılar arasında çok yüksek korelasyon olmaması gerektiğini savunmuştur. Verdikleri örnekte, 0.80'in üzerindeki korelasyon değerine sahip değişkenlerden birinin model dışında bırakıldığını belirtmişlerdir. Bu çalışmada kullanılan girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki korelasyonlar Tablo 3'te gösterilmiştir. Tablo 3'teki sonuçlara göre herhangi bir girdi çıktı çifti arasında çok yüksek korelasyona rastlanmamıştır.

Tablo 3. Girdi ve çıktılar arası korelasyonlar

		U_1	U_2	U_3	U_4	U_5
v_1	Pearson Korelasyon	-0,060	-0,189	-0,091	0,385*	0,467*
	p	0,650	0,148	0,487	0,002	0,000
v_2	Pearson Korelasyon	0,097	-0,107	0,043	0,191	0,586*
	p	0,460	0,415	0,747	0,144	0,000
v_3	Pearson Korelasyon	0,043	-0,154	0,059	0,344*	0,565*
	p	0,743	0,240	0,654	0,007	0,000
v_4	Pearson Korelasyon	-0,166	-0,007	-0,625*	0,155	-0,042
	p	0,205	0,957	0,000	0,236	0,748
v_5	Pearson Korelasyon	-0,139	-0,091	-0,488*	0,232	0,117
	p	0,289	0,487	0,000	0,075	0,373
v_6	Pearson Korelasyon	0,156	0,165	-0,066	0,022	0,404*
	p	0,235	0,207	0,618	0,868	0,001

Araştırmada kullanılan girdi ve çıktı değişkenine ait tanımlayıcı istatistiki bilgiler Tablo 4'te gösterilmiştir. Tanımlayıcı istatistiki bilgilere analize konu olan tüm yıllar (2018, 2019, 2020, 2021, 2022) dahil edilerek ulaşılmıştır.

Tablo 4. Tanımlayıcı istatistiki bilgiler

	<i>Min</i>	<i>Maks</i>	<i>Ort.</i>	<i>Std. Sap.</i>
v_1	191,00	503,00	286,7833	67,22895
v_2	27,00	52,40	40,7567	6,60460
v_3	21,00	69,00	39,4000	11,12365
v_4	248,00	433,00	342,7667	43,52376
v_5	283,00	470,00	356,7000	37,93987
v_6	28,70	53,44	43,7362	6,20428
u_1	3,60	6,50	5,4017	0,88805
u_2	0,28	0,86	0,5633	0,16419
u_3	42,60	72,20	57,2467	8,67852
u_4	158,40	241,90	191,9050	18,55638
u_5	30,00	83,80	56,0833	11,53921

Araştırma verilerine Sağlık Bakanlığı, Sağlık Hizmetleri Daire Başkanlığı tarafından her yıl düzenli olarak yayınlanan "Sağlık İstatistikleri Yıllığı" raporlarından ulaşılmıştır. En güncel Rapor 2022 yılına ait olduğundan dolayı 2022 ile 2018 yılları arasındaki 5 yıl analize dahil edilmiştir. ÇA-ÇKVZA modelinde $Min M$ ve $Min \sum_j d_j$ amaçlarının ağırlıkları (w_2 ve w_3) 0,5 alınarak eşit olarak kullanılmıştır.

5. BULGULAR

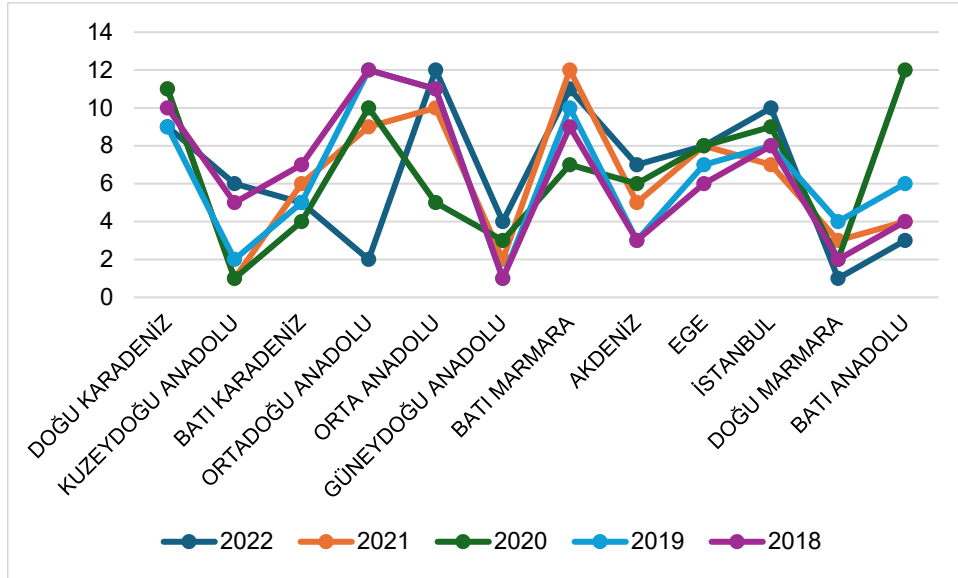
Bölgelerin ÇKVZA ve ÇA-ÇKVZA etkinlik skorları LINDO w32 yazılımı ile hesaplanmıştır. Tablo 5'teki ilk üç sütun ÇKVZA modeli çözümünde ortaya çıkan etkinlik sonuçlarıdır. Dördüncü sütun ise ÇA-ÇKVZA modeli çözümü sonucunda elde edilen etkinlik değerlerinden oluşmaktadır. Son sütun, ÇA-ÇKVZA modeli çözümüne göre bölgelerin sıralamasını göstermektedir. Etkin olan bölgeler birinci sırada yer alırken diğer bölgeler geriye doğru sıralanmıştır.

Tablo 5'te yer alan sıralamalar ham çözüm değerlerine göre yapılmıştır. Tablo değerleri yalnızca virgülden sonra iki basamak içerdiğinden, sıralamalar asıl çözüm değerlerine göre yapılmıştır. Tüm yıllar boyunca ÇA-ÇKVZA sonuçlarına göre etkin olan iki bölge belirlenmiştir: Güneydoğu Anadolu ve Doğu Marmara. Bu bölgeler ÇKVZA amaçlarının tamamına göre de etkin KVB'ler olarak bulunmuştur. Diğer bölgelerin ÇA-ÇKVZA modeline göre sıralamaları yıllara göre farklılık göstermiştir. Örneğin Edirne, Kırklareli, Tekirdağ, Balıkesir, Çanakkale illerini içine alan Batı Marmara bölgesi 2018 yılında 0,85 etkinlik değerine sahipken, 2019 yılında 0,85, 2020 yılında 0,87, 2021 yılında 0,77 ve 2022 yılında 0,89 etkinlik değerine ulaşmıştır. Yapılan etkinlik değerlendirmesinde girdi değişkeni olarak kapasite kriterleri yer alırken, çıktı değişkeni olarak söz konusu kapasitenin kullanım miktarları yer almıştır. Kapasitenin etkin kullanımına dayanan bu değerlendirmede, bölgelerin yıllara göre farklı sıralamalara sahip olması beklenen bir durumdur. Ancak, sadece birkaç bölge dışında sıralamalarda büyük değişimler olmamıştır. Grafik 1'de görüldüğü üzere Ortadoğu Anadolu, Orta Anadolu ve Batı Anadolu bölgeleri haricinde yıllara göre büyük sıçramalar gözlenmemiştir.

Tablo 5. ÇKVZA ve ÇA-ÇKVZA etkinlik değerleri ve sıralamalar

İBBS 1 Bölgeler	2022					2021					2020					2019					2018				
	a	b	c	d	R	a	b	c	d	R	a	b	c	d	R	a	b	c	d	R	a	b	c	d	R
Doğu Karadeniz	0,95	0,91	0,92	0,92	9	0,86	0,85	0,85	0,85	11	0,86	0,85	0,85	0,84	11	0,91	0,88	0,86	0,86	9	0,92	0,87	0,84	0,84	10
Kuzeydoğu Anadolu	1,00	0,97	1,00	1,00	6	1,00	1,00	1,00	1,00	1	1,00	0,88	1,00	1,00	1	1,00	0,87	1,00	1,00	2	1,00	0,99	0,90	0,92	5
Batı Karadeniz	1,00	1,00	1,00	1,00	5	0,99	0,92	0,92	0,92	6	0,96	0,91	0,96	0,95	4	1,00	0,96	0,95	0,95	5	0,99	0,93	0,89	0,89	7
Ortadoğu Anadolu	1,00	0,92	1,00	1,00	2	1,00	0,93	0,85	0,87	9	1,00	0,79	0,84	0,84	10	1,00	0,86	0,83	0,83	12	1,00	0,85	0,78	0,78	12
Orta Anadolu	0,99	0,90	0,87	0,88	12	0,97	0,87	0,85	0,86	10	0,96	0,85	0,94	0,94	5	0,96	0,88	0,85	0,85	11	0,97	0,87	0,77	0,83	11
Güneydoğu Anadolu	1,00	1,00	1,00	1,00	4	1,00	1,00	1,00	1,00	2	1,00	1,00	1,00	1,00	3	1,00	1,00	1,00	1,00	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1
Batı Marmara	0,97	0,92	0,89	0,89	11	0,91	0,84	0,77	0,77	12	0,96	0,84	0,94	0,87	7	0,96	0,89	0,85	0,85	10	0,92	0,87	0,83	0,85	9
Akdeniz	1,00	0,92	0,99	0,99	7	1,00	0,87	0,94	0,94	5	1,00	0,91	0,88	0,89	6	1,00	0,95	1,00	1,00	3	1,00	0,87	0,99	0,95	3
Ege	1,00	0,92	0,94	0,94	8	1,00	0,89	0,90	0,90	8	1,00	0,86	0,85	0,85	8	0,97	0,89	0,87	0,87	7	0,97	0,88	0,88	0,89	6
İstanbul	1,00	0,90	0,91	0,91	10	1,00	0,88	0,91	0,91	7	1,00	0,87	0,89	0,85	9	1,00	0,88	0,87	0,87	8	1,00	0,87	0,92	0,85	8
Doğu Marmara	1,00	1,00	1,00	1,00	1	1,00	1,00	1,00	1,00	3	1,00	1,00	1,00	1,00	2	1,00	1,00	1,00	1,00	4	1,00	1,00	1,00	1,00	2
Batı Anadolu	1,00	0,92	1,00	1,00	3	1,00	0,87	0,99	0,99	4	0,96	0,87	0,74	0,83	12	1,00	0,90	0,94	0,94	6	1,00	0,93	1,00	0,93	4

Not: a: Klasik VZA/ Min d₀, b: Min M, c: Min $\sum d$, d: ÇA-ÇKVZA, R: ÇA-ÇKVZA'ya göre sıralamalar



Şekil 1. ÇA-ÇKVZA modeline göre sıralamalar

Analize dahil edilen 12 bölge için, 5 yıllık etkinlik modelleri hem ÇKVZA alt amaçları hem de ÇA-ÇKVZA ile çözüldüğünde, her bir modelde toplam 60 etkinlik değeri hesaplanmıştır. Tüm etkinlik değerleri 0,74 ile 1 arasında değerler almıştır. En yüksek ortalama etkinlik değeri $Min d_0$ veya klasik CCR-VZA modeli için elde edilirken (0,9818), en düşük ortalama etkinlik değerine $Min M$ modelinde ulaşılmıştır. Elde edilen bulgular Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6. VZA modellerine göre tanımlayıcı istatistikler ve etkin KVB sayıları

	Minimum	Maksimum	Ortalama	Std. Sapma	Etkin KVB
$Min d_0$ veya klasik CCR-VZA	0,86	1,00	0,9818	0,03327	39
$Min M$	0,79	1,00	0,9120	0,05538	12
$Min \sum_j d_j$	0,74	1,00	0,9202	0,07354	19
ÇA-ÇKVZA	0,77	1,00	0,9192	0,06793	18

Bu çalışma sağlık hizmetleri etkinliğini İBBS düzey 1'e göre sıralayan bir uygulama araştırması olmasının yanında aynı zamanda farklı VZA modellerinin kullanılması açısından da araştırmacılara yol gösterici olması amacıyla dizayn edilmiştir. ÇKVZA yöntemi Klasik CCR-VZA yöntemine göre ayırım gücü avantajı sağlamasına rağmen üç farklı etkinlik skoru vermesi bu yöntemin dezavantajını oluşturmaktadır. Her ne kadar Hedef Programlama VZA (Örcü ve Bal, 2011) ve Global ÇKVZA (Arsu ve Umarusman, 2020) gibi modeller, Li ve Reeves'in (1999) modelini tek bir etkinlik skoruna dönüştürmek amacıyla önerilmiş olsa da, bu modellerin Klasik CCR-VZA'yı içermesi nedeniyle ayırım gücünün geliştirilmesi konusunda Ghasemi'nin (2014) çalışması kadar etkili olmamıştır. Tablo 6'da görüldüğü gibi üzere etkin KVB sayısı Klasik CCR-VZA'da 39 iken ÇA-ÇKVZA'da 18'e düşmüştür. $Min M$ amacı için yapılan çözümde daha düşük sayıda etkin KVB'ye ulaşılmışna rağmen ÇA-ÇKVZA modelinde $Min M$ ve $Min \sum_j d_j$ amaçlarının her ikisi de çözüme dahil edildiğinden çözüm daha sağlam bir yapıya kavuşmuştur.

6. SONUÇ ve TARTIŞMA

Bu araştırma, İstatistiki Bölge Birimleri Sınıflandırması (İBBS) Düzey 1'e göre Türkiye'deki illerin sağlık hizmetleri etkinliğini Çift Amaçlı Çok Kriterli Veri Zarflama Analizi (ÇA-ÇKVZA) yöntemiyle ölçmeyi amaçlamıştır. Elde edilen bulgular, sağlık hizmetleri performansının bölgeler arasında farklılıklar gösterdiğini ve bu farklılıkların sağlık hizmetlerinin etkinliğini etkileyen önemli unsurlar olduğunu ortaya koymaktadır.

Araştırmanın sonuçları, Güneydoğu Anadolu ve Doğu Marmara bölgelerinin sürekli olarak etkin bölgeler olarak sıralandığını göstermektedir. Diğer bölgelerin etkinlik değerleri ise yıllara göre değişiklik göstermektedir; bu durum, sağlık hizmetlerinin kapasite kullanımında dalgalanmaların olduğunu ve COVID-19 pandemisinin bu kapasiteyi olumlu yönde etkilediği yönündeki bulgularla da desteklenmektedir.

Elde edilen bulgular doğrultusunda, etkin olmayan bölgelerde sağlık hizmetlerinin iyileştirilmesi için kaynakların daha verimli dağıtılması gerekmektedir. Özellikle sağlık personelinin eğitimi ve yatak kapasitesinin optimize edilmesi önerilmektedir. Ayrıca, sağlık hizmetleri, coğrafi ve sosyoekonomik

farklılıklar göz önünde bulundurularak özelleştirilmiş politikalarla desteklenmelidir. Bu doğrultuda her bölgenin ihtiyaç ve potansiyeline uygun stratejiler geliştirilmelidir. Bölgelerin daha etkin hale gelmesinde operasyonel iyileştirmelerin yanı sıra veri toplama ve işleme süreçlerinde de iyileştirmeler yapılmalıdır. Bu araştırma verilerinden de anlaşılacağı üzere Sağlık Bakanlığı'nın son açıkladığı veri 2022 yılına aittir. Buradan hareketle, sağlık hizmetleri performansının sürekli izlenebilmesi için veri toplama süreçlerinin standardize edilmesi ve analiz yöntemlerinin güncellenmesi gerekmektedir. Bu, sağlık hizmetleri etkinliğinin daha doğru bir şekilde ölçülmesini sağlayacaktır. Ek olarak toplumun sağlık bilincinin artırılması, sağlık hizmetlerine başvuruları etkileyen önemli bir faktördür. Bu nedenle, halk sağlığı eğitim programlarının yaygınlaştırılması ve sağlık hizmetleri hakkında doğru bilgilendirme yapılması önerilmektedir. Son olarak, özel sağlık kuruluşları ile iş birliği yapılması, sağlık hizmetlerinin kalitesini artırabilir. Kamu- özel ortaklıkları, kaynakların etkin kullanılması ve hizmet çeşitliliğinin artırılması konusunda önemli bir rol oynayacaktır. Bu önerilerin hayata geçirilmesi, Türkiye'de sağlık hizmetlerinin etkinliğini artırmaya ve bölgeler arası sağlık hizmetlerinin eşitsizliklerini azaltmaya katkı sağlayacaktır.

Sağlık hizmetleri altyapısının etkinliğini ölçmek için bu çalışmada ÇA-ÇKVZA kullanılmıştır. Gelecek çalışmalarda ayırım gücü yüksek diğer VZA modelleri de kullanılarak etkinlik değerlendirmeleri yapılabilir. Ayrıca farklı girdi ve çıktı kombinasyonları ile yapılacak gelecekteki çalışmalar farklı etkinlik sonuçları ortaya çıkarabileceğinden bu konudaki literatüre katkı sağlayacaktır.

Yazar Katkıları /Author Contributions

Talip Arsu: Literatür Taraması, Kavramsallaştırma, Metodoloji, Veri Derleme, Analiz, Makale Yazımı-orijinal taslak, Modelleme, Makale Yazımı-inceleme ve düzenleme. *Burcu Çatal:* Literatür Taraması, Veri Derleme, Makale Yazımı-orijinal taslak, Makale Yazımı-inceleme ve düzenleme. *Melika Altınok:* Literatür Taraması, Veri Derleme, Makale Yazımı-orijinal taslak, Makale Yazımı-inceleme ve düzenleme. *Talip Arsu:* Literature Review, Conceptualization, Methodology, Data Curation, Analysis, Writing-original draft, Modelling, Writing-review and editing. *Burcu Çatal:* Literature Review, Data Curation, Writing-original draft, Writing-review and editing. *Melika Altınok:* Literature Review, Data Curation, Writing-original draft, Writing-review and editing.

Çatışma Beyanı /Conflict of Interest

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

Fon Desteği / Funding

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

Etik Standartlara Uygunluk / Compliance with Ethical Standards

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

Etik Beyanı / Ethical Statement

Yazarlar tarafından bu çalışmada bilimsel ve etik ilkelere uyulduğu ve yararlanılan tüm çalışmaların kaynakçada belirtildiği beyan edilmiştir.
It was declared by the 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

- Anell, A. ve Willis, M. (2000). "International Comparison of Health Care Systems Using Resource Profiles", *Bulletin of the World Health Organization*, 78(6), 770-778.
- Arsu, T., ve Umarusman, N. (2020). "Global Criterion Approach for the Solution of Multiple Criteria Data Envelopment Analysis Model: An Application at Packaging Waste Collection and Separation Facilities", *Alphanumeric Journal*, 8(1), 79-96. <https://doi.org/10.17093/alphanumeric.625946>
- Atan M. (2003). "Türkiye Bankacılık Sektöründe Veri Zarflama Analizi İle Bilanço'ya Dayalı Mali Etkinlik ve Verimlilik Analizi", *Ekonomik Yaklaşım Dergisi*, 48(14), 71-86.
- Avaner, T. ve Fedai, R. (2017). "Sağlık Hizmetlerinde Dijitalleşme: Sağlık Yönetiminde Bilgi Sistemlerinin Kullanılması", *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 22(Kayfor 15 Özel Sayısı), 1533-1542.
- Avcı, K. ve Şenel, F.Ç. (2019). "Sağlık Hizmetleri Akreditasyonu: Faydası, Önemi ve Etkisi Nedir?", *Online Turkish Journal of Health Sciences*, 4(2), 221-234. <https://doi.org/10.26453/otjhs.525436>
- Aydın, G.Z. (2021). "CRITIC ve TOPSIS Yöntemleriyle Türkiye'de Bölgesel Sağlık Hizmetlerinin Değerlendirilmesi", *Uluslararası Sağlık Yönetimi ve Stratejileri Araştırma Dergisi*, 7(2), 412-433.
- Aytekin, S. (2011). "Yatak İşgal Oranı Düşük Olan Sağlık Bakanlığı Hastanelerinin Performans Ölçümü: Bir Veri Zarflama Analizi Uygulaması", *Uludağ Üniversitesi İİBF Dergisi*, 11(1), 113-138.
- Bal, H., Örkücü, H.H. ve Çelebioğlu, S. (2010). "Improving the Discrimination Power and Weights Dispersion in the Data Envelopment Analysis", *Computers & Operations Research*, 37(1), 99-107. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2009.03.028>
- Bal, V. ve Bilge, H. (2013). "Eğitim ve Araştırma Hastanelerinde Veri Zarflama Analizi İle Etkinlik Ölçümü", *Manas Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 2(2), 1-14.
- Başak, O. (2007). "Basamaklandırılmış Sağlık Hizmeti Sunumu ve Birinci Basamak", *Türkiye Aile Hekimliği Dergisi*, 11(3), 135-139.
- Bayraktutan, Y. ve Pehlivanoglu, F. (2012). "Sağlık İşletmelerinde Etkinlik Analizi: Kocaeli Örneği", *Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 23, 127-162.
- Bayraktutan, Y., Arslan, İ. ve Bal, V. (2010). "Sağlık Bilgi Sistemlerinin Hastane Performanslarına Etkisinin Veri Zarflama Analizi İle İncelenmesi: Türkiye'deki Göğüs Hastalıkları Hastanelerinde Bir Uygulama", *Gaziantep Tıp Dergisi*, 16(3), 13-18.
- Berk, E. ve Çerçioğlu, H. (2019). "Türkiye'deki Sağlık Hizmetleri Sektörünün Şehirlerin Panel Verilerine Dayalı Olarak Etkinlik ve Verimliliklerinin Ölçümü", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(2), 929-943. <https://doi.org/10.17341/gazimimfd.460491>
- Beylik, U., Kayral, İ.H. ve Naldöken, Ü. (2015). "Sağlık Hizmet Etkinliği Açısından Kamu Hastane Birlikleri Performans Analizi", *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 39(2), 203-224.
- Boz, C. ve Önder, E. (2017). "OECD Ülkelerinin Sağlık Sistemi Performanslarının Değerlendirilmesi", *Sosyal Güvence*, 11, 24-61. <https://doi.org/10.21441/squz.2017.54>
- Braithwaite, J., Hibbert, P., Blakely, B., Plumb, J., Hannaford, N., Long, J.C. ve Marks, D. (2017). "Health System Frameworks and Performance Indicators in Eight Countries: A Comparative International Analysis", *SAGE Open Medicine*, <https://doi.org/10.1177/2050312116686516>
- Charnes, A., Cooper, W.W. ve Rhodes, E. (1978). "Measuring the Efficiency of Decision-Making Units", *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429-444. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)
- Cooper, W.W., Seiford, L.M. ve Tone, K. (2002). "Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software", Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Çağlar, A. ve Keten, N.D. (2019). "İllerin Sağlık Endeksi: Bileşik Endeks Yaklaşımı İle Bir Deneme", *Düzce Tıp Fakültesi Dergisi*, 21(1), 42-53. <https://doi.org/10.18678/dtdf.521027>
- Çakmak, E. ve Örkücü, H.H. (2016). "Türkiye'deki İllerin Etkinliklerinin Sosyo-Ekonomik Temel Göstergelerle Veri Zarflama Analizi Kullanarak İncelenmesi", *Karabük Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 6(1), 30-48.
- Çakmak, M., Öktem, M.K. ve Ömürgönülşen, U. (2009). "Türk Kamu Hastanelerinde Teknik Verimlilik Sorunu: Veri Zarflama Analizi Tekniği İle Sağlık Bakanlığı'na Bağlı Kadın Doğum Hastanelerinin Teknik Verimliliklerinin Ölçülmesi", *Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi*, 12(1), 1-36.
- Çalışkan, S. ve Girginer, N. (2016). "Türkiye'deki Hastanelerin Performanslarının Veri Zarflama Analizi İle Değerlendirilmesi", https://london2016.econworld.org/papers/Caliskan_Girginer_Evaluation.pdf, (Erişim Tarihi: 17.03.2021).
- Çeçen, Z. ve Akbulut, F. (2023). "Düşük Gelir Grubunda Yer Alan Ülkelerin Sağlık Göstergelerinin VZA Yöntemiyle İncelenmesi", *Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 14(1), 241-254.

- Çelikay, F. ve Gümüş, E. (2010). "Türkiye'de Sağlık Hizmetleri ve Finansmanı", *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 11(1), 177-216.
- Çilhoroz, Y. (2021). "İstatistiki Bölge Birimlerinin Sağlık Hizmetleri Etkinliğinin Ölçülmesi", *Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi*, 24(3), 589-602.
- Dedecan, M. ve Torun, N. (2023). "Yoğun Bakım Ünitelerinin Etkinliklerinin Değerlendirilmesi: Bir Üniversite Hastanesi Örneği", *Verimlilik Dergisi*, 57(1), 103-120. <https://doi.org/10.51551/verimlilik.1137264>
- Demirci, Ş., Konca, M. ve İlgün, G. (2021). "Sağlık Hizmetlerinin Performansının Değerlendirilmesinde Kullanılan Değişkenlerin Birlikte Kuralları Analizi İle İncelenmesi", *Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi*, 24(3), 507-532.
- Demirci, Ş., Konca, M., ve İlgün, G. (2020). "Sağlık Finansmanının Sağlık Sistemleri Performansına Etkisi: Avrupa Birliği Üyesi ve Adayı Ülkeler Üzerinden Bir Değerlendirme", *Sosyoekonomi*, 28(43), 229-242. <https://doi.org/10.17233/sosyoekonomi.2020.01.13>
- Deviren, N.V. ve Duran, T. (2018). "Türkiye'de Düzey 3 Bölgesi Kamu Yatırımları Etkinliğinin Veri Zarflama Analizi (VZA) Yöntemiyle Ölçülmesi: Aydın, Denizli ve Muğla İlleri Örneği", *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 17(65), 262-277. <https://doi.org/10.17755/esosder.321744>
- Dirik, C. ve Şahin, S. (2020). "Türkiye'deki Sağlık Hizmetlerinin Etkinlik ve Verimlilik Analizi: Radyal ve Radyal Olmayan VZA ve MVE Modellerinin Karşılaştırması", *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi*, 11(28), 790-814. <https://doi.org/10.21076/vizyoner.659548>
- Doğan, N.Ö. ve Gencan, S. (2014). "VZA/AHP Bütünleşik Yöntemi İle Performans Ölçümü: Ankara'daki Kamu Hastaneleri Üzerine Bir Uygulama", *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 16(2), 88-112.
- Dokumacı, T.R. (2017). "Üniversite Eğitim Uygulama Araştırma Hastanelerinde Veri Zarflama Analizi Yöntemi İle Finansal Performans Ölçümü", Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Denizli.
- Durur, F., Günlaltay, M.M. ve Işıklı, F. (2022). "Sağlık Hizmet Bölgelerinin Performansının Veri Zarflama Analizi İle Değerlendirilmesi", *Verimlilik Dergisi*, 2, 165-182. <https://doi.org/10.51551/verimlilik.900142>
- Ergülen, A., Bolayır, B., Ünal, Z., ve Harmankaya, İ. (2020). "Covid-19 Sürecinde Türkiye'nin Etkinliğinin Veri Zarflama Analizi İle Değerlendirilmesi", *Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Elektronik Dergisi*, 11, 275-286.
- Ersay, T.H. (2022). "Kamu Hastanelerinde Veri Zarflama Analizi İle Etkinlik Ölçümü", Yüksek Lisans Tezi, Kapadokya Üniversitesi, Nevşehir.
- Ghasemi, M.R., Ignatius, J. ve Emrouznejad, A. (2014). "A Bi-Objective Weighted Model for Improving the Discrimination Power in MCDEA", *European Journal of Operational Research*, 233(3), 640-650. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.08.041>
- Güler, M., İpekgil Doğan, Ö. ve Erdem, S. (2017). "Sağlık Kuruluşları Performansının Veri Zarflama Analizi İle İncelenmesi ve Bir Uygulama", *Verimlilik Dergisi*, 4, 169-185.
- Hatami-Marbini, A. ve Toloo, M. (2017). "An Extended Multiple Criteria Data Envelopment Analysis Model", *Expert Systems with Applications*, 73, 201-219. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.12.030>
- Hu, H.H., Qi, Q. ve Yang, C.H. (2012). "Analysis of Hospital Technical Efficiency in China: Effect of Health Insurance Reform", *China Economic Review*, 23(4), 865-877. <https://doi.org/10.1016/j.chieco.2012.04.008>
- Kalkınma Ajansları, (2025). "Kalkınma Planlamasında İstatistiki Bölge Birimleri Sınıflandırması", <https://ka.gov.tr/sayfalar/kalkinma-planlamasinda-istatistiki-bolge-birimleri-siniflandirmasi-24>, (Erişim Tarihi: 25.02.2025)
- Kar, A., Şantaş, F., Kahraman, G. ve Gürvardar, Y. (2016). "Technical Efficiency of Gynecology and Obstetrics Hospitals in Turkey: Measurement by Data Envelopment Analysis", *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 4(34), 372-382. <http://dx.doi.org/10.16992/ASOS.6581>
- Kaya Samut, P. ve Cafri, R. (2016). "Analysis of the Efficiency Determinants of Health Systems in OECD Countries by DEA and Panel Tobit", *Social Indicators Research*, 129, 113-132. <https://doi.org/10.1007/s11205-015-1094-3>
- Keleş, N. (2023). "Türkiye'nin 81 İlinin Sağlık Performansının Güncel Karar Verme Yöntemleriyle Değerlendirilmesi", *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 75, 120-141. <https://doi.org/10.51290/dpusbe.1134082>
- Ketabi, S. (2011). "Efficiency Measurement of Cardiac Care Units of Isfahan Hospitals in Iran", *Journal of Medical Systems*, 35(2), 143-150. <https://doi.org/10.1007/s10916-009-9351-0>
- Lewin, A. Y., Morey, R. C., & Cook, T. J. (1982). "Evaluating the Administrative Efficiency of Courts", *Omega*, 10(4), 401-411. [https://doi.org/10.1016/0305-0483\(82\)90019-6](https://doi.org/10.1016/0305-0483(82)90019-6)
- Li, X.B. ve Reeves, G.R. (1999). "A Multiple Criteria Approach to Data Envelopment Analysis", *European Journal of Operational Research*, 115(3), 507-517. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(98\)00130-1](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00130-1)
- Mettler, T. ve Rohner, P. (2009). "Performance Management in Health Care: The Past, the Present, and the Future", <https://www.alexandria.unisg.ch/214579/>, (Erişim Tarihi: 20.02.2024).

- Oksay, A. (2016). "Sağlık Hizmetlerinde Kalite Tam Olarak Ne Demek?", *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 8(14), 181-192. <https://doi.org/10.20875/sb.86063>
- Ozcan, Y. A. (2008). "Health Care Benchmarking and Performance Evaluation", Springer US, New York. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-75448-2>
- Öksüzkaya, M. (2017). "Sağlık Sektöründe Bölgeler Arası Etkinliğin İncelenmesi", *Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 4(10), 280-300.
- Ömürbek, N., Altın, F.G., Şimşek, A. ve Eren, H. (2021). "Entropi Tabanlı Veri Zarflama Analizi Yöntemi Türkiye'deki İllerin Sağlık Göstergeleri Açısından Etkinliğinin Belirlenmesi", *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi*, 12(29), 16-45. <https://doi.org/10.21076/vizyoner.754640>
- Örkcü, H.H. ve Bal, H. (2011). "Goal Programming Approaches for Data Envelopment Analysis Cross Efficiency Evaluation", *Applied Mathematics and Computation*, 218(2), 346-356. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2011.05.070>
- Özata, M. ve Sevinç, İ. (2011). "Konya'daki Sağlık Ocaklarının Etkinlik Düzeylerinin Veri Zarflama Analizi Yöntemiyle Değerlendirilmesi", *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 24(1), 77-87.
- Özdemir, A. (2020). "Türkiye'deki İBBS-1 Bölgelerinin Sağlık Hizmeti Sunum Etkinliğinin Veri Zarflama Analizi Kullanılarak Ölçülmesi", *Adıyaman Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 6(2), 231-242. <https://doi.org/10.30569/adiyamansaglik.708826>
- Pakdil, F., Akgül, S., Doruk, T.Ç. ve Keçeci, B. (2010). "Kurumsal Performans Yönetiminde Veri Zarflama Analizi Sonuçlarının Kullanımı: Üniversite Hastaneleri Karşılaştırması", *II. Uluslararası Sağlıkta Performans ve Kalite Kongresi*, Antalya, Türkiye, 133-144.
- Pehlivan, D. ve Yiğit, A. (2022). "Türkiye'de Büyükşehir Statüsüne Sahip İllerin Sağlık Hizmetleri Performansının Değerlendirilmesi", *Giresun Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 8(2), 194-211. <https://doi.org/10.46849/guibd.1191919>
- Pekkaya, M. ve Dökmen, G. (2019). "OECD Ülkeleri Kamu Sağlık Harcamalarının Çkkv Yöntemleri İle Performans Değerlendirmesi", *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 15(4), 923-950. <https://doi.org/10.17130/ijneb.2019456391>
- Pınarbaşı, M.B. ve Mansur, F. (2022). "Türkiye'deki İkinci Basamak Kamu Hastanelerinde Teknik Etkinlik ve Belirleyicileri: Bir VZA-TOBİT Çalışması", *Verimlilik Dergisi*, 4, 611-624. <https://doi.org/10.51551/verimlilik.1015158>
- Pransky, G., Benjamin, K. ve Dembe, A.E. (2001). "Performance and Quality Measurement in Occupational Health Services: Current Status and Agenda for Further Research", *American Journal of Industrial Medicine*, 40(4), 295-306. <https://doi.org/10.1002/ajim.1104>
- Rezaee, M.J. ve Karimzadeh, A. (2015). "Do Geographical Locations Affect Hospitals' Performance? A Multi-Group Data Envelopment Analysis", *Journal of Medical Systems*, 39(85), 1-11. <https://doi.org/10.1007/s10916-015-0232-8>
- San Cristóbal, J.R. (2011). "A Multi Criteria Data Envelopment Analysis Model to Evaluate the Efficiency of the Renewable Energy Technologies", *Renewable Energy*, 36(10), 2742-2746. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.03.008>
- Sevimli, Ö. (2013). "Sağlık Kurumlarında Veri Zarflama Analizi Tekniği İle Verimlilik Analizi", Yüksek Lisans Tezi, Beykent Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Temizer, A. (2019). "Namık Kemal Üniversitesi Sağlık Bilimleri Öğrencilerinde Algılanan Sağlık Hizmeti Kalitesi ve Sağlık Hizmeti Kullanımı", Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Tekirdağ.
- Temür, Y. ve Bakırcı, F. (2008). "Türkiye'de Sağlık Kurumlarının Performans Analizi: Bir VZA Uygulaması", *Sosyal Bilimler Dergisi*, 10(3), 262.
- Torun, N., Atan, M. ve Ayanoğlu, Y. (2020). "İstatistikî Bölge Sınıflamasına Göre Kamu Hastanelerinin Finansal Etkinliklerinin Değerlendirilmesi", *Muhasebe Bilim Dünyası Dergisi*, 22(3), 476-505. <https://doi.org/10.31460/mbdd.672704>
- Yenice, E. (2006). "Kamu Kesiminde Performans Değerlendirmesi", *Maliye Dergisi*, 150(1), 122-132.
- Yeşilyurt, M.E. (2007). "Türkiye'de Eğitim Hastanelerinin Etkinlik Analizi", *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 21(1), 61-74.
- Yılmaz, F., Şenel, İ.K. ve İnce, Ö.Z. (2019). "Ağız ve Diş Sağlığı Hastaneleri ve Ağız ve Diş Sağlığı Merkezlerinin Etkinliklerinin Veri Zarflama Analizi İle Değerlendirilmesi", *Journal of Management and Economics Research*, 17(4), 72-90. <https://doi.org/10.11611/yead.569522>
- Yiğit, V. ve Esen, H. (2017). "Pabon Lasso Modeli ve Veri Zarflama Analizi İle Hastanelerde Performans Ölçümü", *Süleyman Demirel Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 8(2), 26-32.
- Yüksel, O. (2020). "Türkiye'de Ağız ve Diş Sağlığı Merkezlerinin Verimlilik Analizi: Marmara Bölgesi Örneği", Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Isparta.
- Yüksel, O. (2022). "Türkiye'de Bebek Ölüm Hızının Bölgearası Değerlendirilmesi", *Munzur Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 11(2), 117-131.

Deri Atölyesinde Değer Akış Haritalama ve Yalın Tekniklerle Verimlilik Yönetimi

Esma Kılıç¹ , Büşra Yaman¹ , Muharrem Ünver¹ 

ÖZET

Amaç: Bu çalışma, değer akış haritalama ve Kaizen önerileriyle deri kemer üretiminde israf kaynaklarını tespit edip, katma değer yaratmayan faaliyetleri azaltarak verimliliği artırmayı amaçlamaktadır.

Yöntem: Yalın üretim yöntemlerinden değer akış haritalama (VSM), toplam ekipman etkinliği (OEE) ve 5S teknikleri ile bir deri atölyesinde kemer imalat sürecinde uygulamalar yapılacaktır.

Bulgular: Yalın üretim teknikleri uygulanmadan önce, deri üretim atölyesindeki mevcut durum değer akış haritalama tekniği ile analiz edilmiştir. Üretim süreçlerindeki israflar ve verimsizlikler tespit edilmiştir. Plakalama da ve kurutma fırınında sorunlar belirlenmiş, yan ürün üretimiyle kaynak kullanımı optimize edilmiştir. Bu iyileştirmeler sonucunda, OEE oranı %79,99'dan %86,66'ya yükselmiştir. Ayrıca, üretim süreçlerindeki fireler ürüne dönüştürülerek israflar minimize edilmiş ve işletmenin operasyonel verimliliği güçlenmiştir. Yalın üretim uygulamaları, işletmenin rekabet gücünü artırmıştır.

Özgünlük: Deri imalat sektöründe yalın teknikler kullanılması çalışmanın özgünlüğü olarak nitelendirilmiştir. Literatürdeki benzer çalışmalardan farkı, sadece değer akış haritalama değil, atölye içi tasarımların da bu yöntemlerle geliştirilip, verimliliklerinin OEE ile ölçülerek somut sonuçlar elde edilmesidir. Böylelikle, sadece teorik değil, pratik olarak da ölçülebilir sonuçlar ortaya konulmuştur. Bu bağlamda, deri imalat sektöründe öncü nitelikte değerlendirilebilecek bu çalışma, sektöre yeni bir perspektif ve pratik uygulama örneği sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yalın Üretim, İsraf, Verimlilik, Değer Akış Haritalama, 5S.

JEL Kodları: D24, O4, D61.

Value Stream Mapping and Lean Techniques for Productivity Management in A Leather Workshop

ABSTRACT

Purpose: This study aims to identify sources of waste in leather belt production through value stream mapping and kaizen proposals, reducing non-value-adding activities and improving efficiency.

Method: Lean production methods such as Value Stream Mapping (VSM), Overall Equipment Effectiveness (OEE), and 5S techniques will be applied to the belt manufacturing process in a leather workshop.

Findings: Before implementing lean production techniques, the current state of the leather production workshop was analyzed using the value stream mapping technique. Wastes and inefficiencies in production processes were identified. Issues were detected in plating and drying ovens, and resource utilization was optimized through by-product production. As a result of these improvements, the OEE rate increased from 79.99% to 86.66%. Additionally, production waste was converted into usable products, minimizing waste and strengthening the operational efficiency of the business. Lean production practices have enhanced the company's competitive advantage.

Originality: The use of lean techniques in the leather manufacturing sector has been highlighted as the originality of this study. Unlike similar studies in the literature, this research not only employs value stream mapping but also improves in-workshop designs through these methods, measuring their efficiency using OEE to obtain tangible results. Thus, the study provides not only theoretical but also practically measurable outcomes. In this context, this study, which can be considered pioneering in the leather manufacturing sector, offers a new perspective and a practical application example to the industry.

Keywords: Lean Manufacturing, Waste, Efficiency, Value Stream Mapping, 5S.

JEL Codes: D24, O4, D61.

¹ Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Karabük, Türkiye

Sorumlu Yazar-Corresponding Author: Esma Kılıç, esmakilic8293@gmail.com

DOI: 10.51551/verimlilik.1525133

Araştırma Makalesi / Research Article | Geliş / Submitted: 31.07.2024 | Kabul / Accepted: 27.01.2025

Atrif/Cite: Kılıç, E., Yaman, B. ve Ünver, M. (2025). "Deri Atölyesinde Değer Akış Haritalama ve Yalın Tekniklerle Verimlilik Yönetimi", *Verimlilik Dergisi*, 59(2), 467-480.

EXTENDED ABSTRACT

In the introduction, the importance of exhaustion of production techniques to protect losses and wastes in leather products production will be emphasized. In order to make this possible, the sector-specific effects of the sections made in the production components of methods such as value data mapping, 5S and OEE are detailed separately.

This study aims to address the gaps in the literature regarding the integrated application of lean manufacturing techniques in the leather manufacturing sector, particularly by demonstrating how the integration of methods such as value stream mapping, Overall Equipment Effectiveness (OEE), and 5S can lead to increased productivity in the sector. To achieve this goal, sources of waste in leather belt production will be identified, non-value-added activities will be reduced, and production efficiency will be improved. Additionally, this research aims to contribute to sustainable production processes by supporting environmental and economic efficiency, while demonstrating the applicability of lean techniques specific to the sector. Ultimately, the study seeks to enhance productivity in leather production processes, minimize waste, and ensure long-term sustainability.

In this study, Value Stream Mapping and Total Equipment Effectiveness methods from lean production techniques were mainly used. With VSM, waste sources in production processes were determined, the duration of each step was measured and inefficiencies in the workshop were determined. OEE, on the other hand, was analyzed by evaluating the efficiency of machinery and equipment, and bottlenecks and weak points in the production line. Data were collected to measure production times in the belt production process, and in the light of this data, the current production status was visualized as a status map.

In the study, operational problems and productivity decreases in leather belt production were addressed and solution suggestions were developed. The dyeing process was a process carried out by two workers, which led to non-ergonomic conditions. The workers' constant bending and kneeling reduced productivity. In order to solve this problem, cutting was done with scales placed on the table instead of rulers, and the workforce was reduced to one worker. In addition, additional parts were added to the table legs to fix the leather, and the durability of the cutting blades was increased. With the improvements made, the dyeing time was reduced from 12 seconds to 8 seconds.

The drying oven process was also improved. Each collection process took approximately 45 seconds, which caused a loss of 1 hour per day. With the arrangement made to the drying oven, the belts were quickly placed and the collection time was shortened. As a result of these improvements, the production process was accelerated, productivity increased, and an ergonomic environment was created for the workers.

This study comprehensively examined the current situation before the implementation of only production techniques in the leather production workshop and the changes experienced after these techniques. Using the value data mapping system, wastes in production components were identified and steps causing efficiency losses were determined. In particular, ergonomic problems in dyeing and cutting processes, inefficiency of the conveyor and drying oven were emphasized. With the life of lean production techniques, these problems were solved and a significant improvement was achieved in the production range. The OEE rate increased from 79.99% to 86.66% as a result of the growth outlook and reduction of wastes. In addition, resource usage is optimized, product variety is increased thanks to by-product production and customer satisfaction is ensured.

1. GİRİŞ

Deri ürünleri üretimi hem geleneksel hem de modern üretim yöntemlerinin kullanıldığı bir sektördür. Bu alanda verimliliği artırmak ve israfları minimize etmek, üretim süreçlerini daha sürdürülebilir ve rekabetçi hale getirebilmek için gereklidir. Ancak, birçok deri üretim atölyesi, verimsizlik ve israf nedeniyle operasyonel performanslarını tam olarak optimize edememektedir. Üretim işletmeleri, rekabet seviyelerini artırmak için birim maliyetlerini düşürmek, verimlilik ve üretim kapasitelerini yükseltmek zorundadır. Bu bağlamda, yalın üretim teknikleri israfı azaltarak işletmelerin verimliliğini artırma potansiyeli sunmaktadır. Bu çalışmada, deri kemer üretim sürecinde değer akış haritalama, toplam ekipman etkinliği ve 5S teknikleri kullanılarak israf kaynakları tespit edilmiş ve verimlilik artırıcı iyileştirmeler uygulanmıştır. Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde, teorik çerçeve, uygulama aşamaları ve elde edilen sonuçlar ele alınacaktır. (Güngör ve Akkaya, 2012)

5S yöntemi, değer akış haritalama ve toplam ekipman etkinliği teknikleri kullanılarak deri atölyesinde kemer imalat sürecinin mevcut durumu ve gelecek durumu haritalandırılmıştır. Bu tekniklerin uygulanmasıyla, atölye içi yerleşim düzenlenmiş, israflar minimize edilmiş ve üretim verimliliği artırılmıştır. Çalışma, yalın üretim yöntemlerinin deri atölyesi gibi üretim ortamlarında nasıl uygulanabileceğine dair örnekler sunarak, üretim süreçlerinde israfı azaltma, verimliliği artırma ve kaliteli bir üretim ortamı sağlama hedeflerini desteklemektedir.

Deri ürünleri atölyesinde başlıca muda (israf) türleri; yarı mamul stoklarının birikmesi, darboğazların oluşması, kullanılan iş gücünün verimsizliği ile hatalı mamul üretimi ve bekleme süreleri şeklinde sıralanabilir. Muda (israf), mura (dengesizlik) ve muri (aşırı yükleme) olarak sınıflandırılan kayıplar, yalın üretim teknikleri kullanılarak minimize edilmeye ya da tamamen ortadan kaldırılmaya çalışılır.

Yalın düşüncenin asıl amacı ise bu üç israf türünü ortadan kaldırmak olsa da komple hepsini kaldırmak pek mümkün değildir. Ele alınan deri atölyesinde fazla stok, bekleme, hareket ve hatalı parça üretimi gibi durumlar söz konusu olduğundan muriler ve murlar üzerine yoğunlaşıp mudaları ortadan kaldırmak hedeflenmektedir.

Dericilik sektörü, birçok sektörde olduğu gibi israflar nedeniyle verimlilik kayıpları yaşamaktadır. Atölyede belirlenen imalat yöntemleri doğrultusunda iyileştirme çalışmalarının gerçekleştirilmesi planlanmıştır. Bu çalışma, deri imalat sektöründe yalın üretim tekniklerinin uygulanması ile verimliliğin artırılmasının yanı sıra, bu yöntemlerin sektördeki uygulamalarını somut sonuçlarla ortaya koymayı hedeflemektedir. Literatürde, yalın üretim tekniklerinin bir arada kullanıldığı benzer çalışmalara nadiren rastlanmaktadır. Mevcut çalışmalar genellikle yalın üretimin çeşitli yönlerine odaklanmış, ancak bu yöntemlerin sektöre özgü uygulamalarına dair somut veriler sunmamıştır. Özellikle değer akışı haritalama ve diğer yalın yöntemlerin entegrasyonu konusunda sınırlı sayıda araştırma bulunmaktadır. Bu nedenle, yapılan bu araştırma, sektöre özgü uygulamaların verimliliği nasıl dönüştürebileceğini göstermesi açısından önemli bir katkı sağlamaktadır. Çalışmamız, yalnızca teorik değil, pratikte de ölçülebilir sonuçlar elde edilmesini sağlayarak, sektördeki benzer çalışmalara yeni bir bakış açısı kazandırmaktadır.

Çalışmanın amacı, deri üretim süreçlerinde tespit edilen israfın ortadan kaldırılması, makine kullanımının daha verimli hale getirilmesi ve genel üretim kapasitesinin artırılmasıdır. Bu doğrultuda, elde edilen sonuçlar, teorik değil, aynı zamanda pratik ölçümlerle doğrulanmıştır ve işletmenin operasyonel verimliliğini artırmayı hedeflemektedir. Bu çalışmada, deri ürünleri üreten bir atölyede verimlilik artırma amacıyla, değer akış haritalama, 5S ve OEE yöntemleri kullanılmıştır. Değer akış haritalama yöntemi, üretim süreçlerinde yer alan israfı ve verimsizliği tespit etmek amacıyla uygulanmış, 5S ile atölye düzeni ve iş yerinde temizlik, düzen, ayıklama gibi iyileştirmeler gerçekleştirilmiştir. OEE yöntemi ise, makine ve ekipman verimliliğini ölçerek üretim hattındaki zayıf noktaları belirlemeye yönelik kullanılmıştır.

Çalışmanın devamında, ikinci bölümde yalın üretim ve değer akış haritalama konularına ilişkin literatür incelenmekte, bu tekniklerin üretim süreçlerindeki etkileri ele alınmaktadır. Üçüncü bölümde, araştırmanın yöntemi açıklanarak deri kemer üretim sürecinde uygulanan değer akış haritalama, toplam ekipman etkinliği ve 5S teknikleri detaylandırılmaktadır. Dördüncü bölümde, yalın üretim uygulamaları öncesinde ve sonrasında elde edilen bulgular karşılaştırılarak iyileştirme sonuçları sunulmaktadır. Son bölümde ise çalışma bulguları değerlendirilmekte, sektöre katkıları tartışılmakta ve gelecekte yapılabilecek araştırmalara yönelik öneriler sunulmaktadır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Yalın üretim, kaynak israfını en aza indirerek üretkenliği artırmayı hedefleyen etkili bir yaklaşımdır. Bu yaklaşımın bir parçası olarak, değer akış haritalama ve diğer yalın üretim teknikleri birlikte kullanılarak, üretim süreçleri detaylı bir şekilde analiz edilir, verimsizlik ve israf belirlenir. Literatürde, bu tekniklerin farklı sektörlerde başarılı uygulamalarına sıkça rastlanmaktadır. Bu çalışmada, bir deri atölyesinde yalın üretim

ve değer akış haritalama teknikleri kullanılarak israfı azaltmak için yenilikçi tasarımlar ve uygulamalar gerçekleştirilmiştir.

Vaghasia ve Fuse (2019), çalışmalarında KOBİ'lerin yalın teknikleri günlük işlemlerinde nasıl kullanabileceklerine dair önemli bir inceleme yapmıştır. Çalışmalarında, Toyota'nın yalın üretim tekniklerindeki öncülüğünü vurgulamış ve birçok KOBİ'nin, yalın araçların üretim sistemlerine entegrasyonunun maliyetli olduğunu düşündüğünü, ancak uzun vadede bu tekniklerin büyük faydalar sağladığını ortaya koymuşlardır. Ayrıca, muda ve mura gibi yalın tekniklerin başarıyla uygulandığı bazı KOBİ vaka çalışmaları sunmuşlardır. Bu bulgular, KOBİ'lerin yalın üretim tekniklerini benimsemeleri gerektiğini ve uzun vadede sürdürülebilir başarılar elde edebileceklerini göstermektedir.

Günümüzde rekabet koşulları altında, işletmeler en az maliyetle en yüksek kalitedeki ürünleri zamanında iletmelidir. Bu bağlamda, yalın üretim israflarını ve gereksiz maliyetleri azaltarak işletmelere avantaj sağlar. Sağbaş ve diğerleri (2018), ısı yalıtım malzemesi üreten bir KOBİ'de müşteri beklentilerini karşılamak ve maliyetleri azaltmak için iş etüdü, kapasite planlama, 5S, Kaizen ve değer akış haritalama gibi tekniklerle yalın üretim uygulanmış, OEE artırılarak sürdürülebilir bir iyileştirme modeli geliştirilmiştir.

Koca (2023) çalışmasında, Kaizen yaklaşımı ile süreç iyileştirmeleri yapılmış ve OEE analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın amacı, üretim sürecindeki israfları tespit edip, OEE analiziyle verimliliği artırmaktır. Kaizen yaklaşımının küçük ama sürekli iyileştirmelerle büyük farklar yaratabileceğini ve bu iyileştirmelerle makine kullanım oranlarını artırarak, üretim maliyetlerini düşürdüğünü göstermektedir.

Birgün ve diğerleri (2006), değer akışı haritalandırma yönteminin kullanıldığı bir yalın üretime geçiş projesini araştırmıştır. Bu haritalandırma sürecinde, değer akışı boyunca değer nasıl sürdüğü, israf ve israf kaynakları incelenmiştir. Mevcut sistemi analiz eden araştırmacılar, sistem performansını optimum yapacak çalışmalar önermiştir. Yöneticilerin çekme sisteminin kurulmasını gerçekleştirmeleri durumunda, temin süresinin 21 günden 3,5 güne düşürülmesi ve envanter devrinin 6 kat artırılmasının mümkün olduğunu göstermişlerdir.

Adalı ve diğerleri (2017), traktör sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın sac işleme atölyesindeki darboğazın montaj hatlarına olan olumsuz etkisini incelemiştir. Değer akış haritalama yöntemi kullanılarak yapılan iyileştirme çalışmalarında, üretim sürecinin işleyişi, süreç üzerindeki israf ve israf kaynakları belirlenmeye çalışılmıştır. Tasarlanan süreç iyileştirme projesinde, mevcut durum haritasına göre toplam akış süresi 13,08 gün olarak tespit edilmiştir. Gelecek durum haritası ile bu süre 4,35 güne düşürülmüştür. Atölyede uygulamaya geçirilen yeni yerleşim planı ile akış süresinde %66,7'lik bir iyileştirme sağlanmıştır. Platform imalatında çevrim süresi 6.360 saniye iken, %8'lik bir iyileştirme ile bu süre 5.880 saniyeye indirilmiştir.

Doğan ve Şimşek Yağlı (2019), yalın felsefesi ve değer akışı haritalaması yöntemini ele almıştır. Değer akışı haritalaması, yalın üretimin uygulanmasında ilk adım olarak, süreçlerin bütünsel bir şekilde görülmesini sağlar ve israfı ortadan kaldırmaya yönelik çözümler sunar. Çalışma, değer akışı haritalamasının avantajları ve zorluklarını tartışmış, ayrıca diğer yalın yöntemlerle birlikte kullanılarak etkinliğinin artırılabilceğini önermektedir.

Bilici ve Kosanoğlu (2021), yaptıkları çalışmada, tekstil fabrikasında yalın üretim tekniklerinden olan değer akış haritalama yöntemi kullanılarak belirlenen darboğazları ortadan kaldırmak için yalın yöntemleri sürece dahil ederek iyileştirme yapmayı amaçlamıştır. Bunun için her bir istasyon incelenerek problemler tespit edilmiştir. Mevcut durum analizi yapıldıktan sonra toplam akış süresi 1,76 gün toplam çevrim süresi 66 saniye olarak hesaplanmıştır. Hata ve israfların tespiti yapılarak gelecek durum haritası çizilmiştir. Toplam akış süresi 0,82 güne toplam çevrim süresi 37,8 saniyeye düşürülmüştür.

Kökten (2021), çalışmasında, bir işletmenin üretim sürecinde değer akışı analizi kullanılarak israfın ortadan kaldırılması ve üretim etkinliğinin artırılması hedeflenmiştir. Mevcut durum haritası oluşturulmuş, iyileştirme noktaları belirlenmiş ve gelecekteki durum için yeni bir harita geliştirilmiştir. İyileştirme faaliyetleri sonucunda üretim akış süresi, işlem süresi ve stok düzeylerinde azalma sağlanmış ve üretim sürecindeki hataların azaltıldığı tespit edilmiştir.

Değer akış haritalama, üretim süreçlerini görselleştirmek ve müşteriye değer katmayan faaliyetleri ortadan kaldırmak için kullanılan popüler bir araçtır. Salwin ve diğerleri (2021), çelik boru üretiminde değer akış haritalama kullanımını inceleyen bir vaka çalışması sunmaktadır. Süreç haritalanmış, israflar belirlenmiş ve gelecekteki süreçler planlanmıştır. Sonuç olarak, süreç iyileştirilmiş ve mali tasarruflar elde edilmiştir. Çalışma ayrıca belirli bir şirket için iyileştirme projesinin geliştirilmesi için temel oluşturmaktadır.

Dinesh ve diğerleri (2022) tarafından yapılan çalışmalar doğrultusunda, karton üreten bir firmada verimliliği artırmak amacıyla katma değeri olan ve katma değeri olmayan süreçlerin hesaplanarak israflar ve darboğazların değerlendirildiği bir değer akış haritası oluşturulmuştur. Mevcut durum haritalama ve gelecek

durum haritaları çizildikten sonra çevrim süreleri ve teslim süreleri hesaplanmıştır. Oluklu mukavva prosesi verimliliği %5,83, yapıştırma ünitesinin verimliliği %11,75, dikiş ünitesinin verimliliği ise %58,2 oranında artış sağlamıştır.

Mansor ve Anuar (2022), değer akışı haritalama yöntemi kullanarak otomotiv endüstrisinde değer yaratmayan faaliyetleri tespit etmiştir. Mevcut süreçler haritalanmış ve israf ile darboğazlar belirlenmiş, değer ekleyen ve değer eklemeyen süreler hesaplanmıştır. Yapılan analizler sonucunda teslimat süresi %67 oranında iyileştirilmiş ve israf %74 oranında azaltılmıştır.

Coşkun ve Özcan (2023), ayakkabı yan sanayisinde yaptıkları çalışmada, değer akışı haritalama yöntemini kullanarak üretim sürecindeki darboğazları tespit etmiştir. ABC analizi ile ürün ailesi seçilmiş ve değer akışı haritalama yöntemi ile mevcut durum haritası oluşturulmuştur. Yapılan iyileştirmeler sonucunda üretim süresi 32,25 günden 23,5 güne, malzeme dolaşımı ise 262,25 metreden 233,8 metreye düşürülmüştür.

Duzdar Argun ve Çelik (2023), otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir firmada değer akışı haritalama yöntemi kullanarak üretim süreçlerindeki israfı tespit etmiştir. Yapılan iyileştirmelerle kesim hattında iş gücü dengelenmiş, yürüme israfı ortadan kaldırılmış ve akış süresi kısaltılmıştır. Ayrıca, personel sayısı bir kişi azaltılmıştır. Gelecek durumda yapılan tasarımlar ile yürüme mesafesi %16,66, akış süresi %0,08 ve personel sayısı %66,66 oranında iyileştirilmiş, bu iyileştirmeler sonucunda işletme 144.000 Euro işçilik tasarrufu sağlamış ve teslimat süresi 14,97 saat kısaltılmıştır.

Yurtseven ve diğerleri (2024), değer akış haritalama tekniğini kullanarak teslimat süresini %52 oranında kısaltmayı başarmıştır. ABC analizi ile ürün ailesi seçilmiş, zaman etüdü yapılmış ve stoklar sayılmıştır. Mevcut durum haritası çizilerek yoğun stok ve taşımalar tespit edilmiştir. NVA/VA analizleri ve spagetti diyagramı ile değer katan ve katmayan işlemler belirlenmiş, montaj hattındaki yürüme israfları incelenmiştir. Ayrıca, ideal durum haritası çizilerek teslim süresinin %93 oranında daha da kısaltılabileceği gösterilmiştir.

Uçar ve Turanoğlu Şirin (2024), çalışmalarında bir gıda firmasının iç lojistik süreçlerinde yalın tekniklerin uygulanarak verimliliğin artırılmasını hedeflemiştir. Çalışmanın amacı, değer yaratmayan adımları ortadan kaldırarak süreçleri daha verimli hale getirmektir. Değer akışı haritalama yöntemi ile mevcut süreçler analiz edilmiş ve manuel işlemler ortadan kaldırılarak yeni bir sistem önerilmiştir. Bu iyileştirme ile malzeme transfer süresi 434 dakikadan 284 dakikaya düşürülmüştür. Ayrıca, PUKÖ döngüsü ve spagetti diyagramı kullanılarak taşımalar minimize edilmiş, yıllık taşımalar için harcanan süre 470 saatten 50,1 saate indirilmiştir.

Bu araştırma, deri imalat sektöründe yalın üretim tekniklerinin birleşik bir şekilde uygulanmasının literatürdeki eksik yönlerini tamamlamaktadır. Çalışmamız, özellikle değer akışı haritalama, toplam ekipman etkinliği ve 5S gibi yöntemlerin entegrasyonunun sektör için nasıl verimlilik artışı sağladığını ortaya koyarak literatürdeki önemli bir boşluğu doldurmaktadır.

3. YÖNTEM

Bu çalışmanın en önemli amaçlarından biri, literatür taramaları sonucunda belirlenen işletme içi israflar ve verimsiz duruşların, değer akışı haritalama yöntemiyle tespit edilmesidir. Ayrıca, OEE ve 5S teknikleri kullanılarak performansın artırılması için uygulanabilir yöntemler hakkında öneriler sunulmaktadır.

Çalışma, kemer üretimi yapan bir deri atölyesinde katma değer yaratmayan faaliyetlerin en aza indirilmesi ve gereksiz işlemlerin tamamen ortadan kaldırılması yoluyla üretim süreçlerinde israfı önlemeyi amaçlamaktadır. Temel hedefler arasında, araç ve gereçlerin kolaylıkla bulunmasını sağlamak, gereksiz hareketleri azaltmak, olumsuz durumların hızlıca tespit edilmesini kolaylaştırmak ve hatasız üretim ile verimliliği artırmak bulunmaktadır.

Bu doğrultuda, kemer atölyesinde gereksiz malzemelerin ortadan kaldırılması, düzenleme, temizleme, standartlaştırma ve disiplin gibi unsurları içeren 5S yöntemi uygulanmıştır. Ayrıca, Toyota'nın 3M modeli (Muda, Mura, Muri) kullanılarak atölyede israfa yol açan unsurlar tespit edilmiş ve bu unsurların azaltılmasına yönelik çalışmalar yürütülmüştür. Tablo 1, 5S uygulamalarına ilişkin yapılan iyileştirmeleri ve her bir adımın nasıl gerçekleştirildiğini göstermektedir. Elde edilen bulgular, süreç iyileştirme ve yalın üretim tekniklerinin etkin bir şekilde kullanılmasının önemini ortaya koymaktadır.

Tablo 1. 5S adımları

5S Uygulama Adımları	Açıklama
Seiri Ayıklama-Sınıflandırma	Çalışma ortamında ihtiyaç duyulmayan araç ve gereçlerin uzaklaştırılması
Seition Düzen	İhtiyaç duyulan materyallerin kolayca bulunabilmesi
Seiso Temizlik	Kullanılan malzemelerin ve ortamın temiz tutulması
Seiketsu Standartlaştırma	Hazırlanan düzenin devamlılığının sağlanması
Shitsuke Disiplin	5S'in günlük olarak kalıcı bir şekilde uygulanması

İşletmede Değer Akış Haritalama Tekniğinin Uygulanması

Değer akış haritalama, girdilerin çıktılara dönüştürüldüğü süreçteki bir dizi işlemi tanımlar. Bu işlemler arasında, ürüne değer katan faaliyetler kadar değer katmayan faaliyetler yani israflar da bulunmaktadır. Değer akış haritalama metodu, yalın üretim tekniklerinden biri olup, ürün üretilirken oluşan israf adımlarını gösteren bir harita sunar. Yöntem, prosesleri teker teker iyileştirmek yerine sistem genelinde iyileştirmeyi hedefler. Bu metodun amacı, fazla elleçlemeyi azaltmak, kaynakları en etkin şekilde kullanmak, hammaddeyi zamanında ürüne dönüştürmek, teslim sürelerini kısaltmak, maliyetleri düşürmek ve işletmenin karlılığını artırmaktır.

Değer akışı haritalandırma, ürünün tasarımından sevkiyatına kadar olan sürecin takip edilerek malzeme ve bilgi akışının her aşamasının sembolize edilmesini amaçlar. Ardından, gelecek durumu gösteren bir harita çizmek için gerekli anahtar sorular sorulacaktır. Bu çalışma, ürün ailesinin belirlenmesi, mevcut durumların analiz edilmesi, gerekli iyileştirmelerin düşünülmesi ve gelecek durumun düşünülmesi ile ilgili faaliyet planının hazırlanması adımlarıyla değer akışı haritalandırmanın temelini oluşturur (Yalçın ve diğerleri, 2018).

Değer Akış Haritalama Adımları

Değer akış haritalama, ürünün üretiminden müşteriye teslimine kadar olan süreçteki malzeme ve bilgi akış süreçlerinin görsel bir şekilde çizilmesidir. Bu çizim dört aşamalıdır (Rother ve Shook, 1999):

- Ürün Ailesi Seçilmesi
- Mevcut Durum Haritalama
- Gelecek Durum Haritalama
- Uygulama

Ürün Ailesi Seçimi

Değer akış haritalama yönteminin üretilen tüm ürünlerde uygulanması süreci zorlaştırır, bu sebeple tek bir ürün ailesi seçilmeli ve sürece onunla başlanılmalıdır. Ürün ailesi seçilirken iş aşamaları üzerinde zaman kayıpları, en çok katma değersiz süreçleri almak önemlidir. Ürün ailesini seçtikten sonra bu ürün grubunun firma içindeki akışı incelenerek veriler toplanır ve ardından mevcut durum haritası çizilir. Bunun için öncelikle çizimler konusunda değer akış yöneticisi ve ekibi kurulmalıdır.

Mevcut Durum Haritalama

Mevcut durum değer akış haritaları darboğazları ve katma değeri olmayan işlemleri belirler, bu israfın azaltılması veya mümkünse yok edilmesi için süreçte iyileştirme çalışmaları yapılır. Yapılan iyileştirmeler ile gelecek durum haritaları oluşturulur. Bu haritalar mevcut durum haritalarının incelenmesiyle ve bu haritalara bakıldığında kafada oluşan soruların cevaplanmasıyla oluşturulur. Bu sorular başlıca şu şekildedir (Güneşlik, 2012):

- Müşterilerin istekleri tam olarak nelerdir?
- Hangi proseslerin sürece katkısı var, hangileri israflardan oluşur?
- Akıştaki durmalar nasıl azaltılır?
- Hangi iş aşamalarında iyileştirme gereklidir?

Oluşturulan gelecek durum haritaları için uygulama kısmına geçilir. İyileştirilen her proses süreci mevcut duruma çevireceği için değer akış haritalama tekrarlanmalıdır. Haritalandırma sürecinde kullanılacak olan hesaplamalar aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

Çevrim Süresi: Bir prosesin üreteceği ürünü tamamlama sıklığıdır.

Katma Değer Süresi: Müşterinin istediği şekilde ürünü dönüştüren iş elemanlarının süresidir.

Katma Değeri Olmayan Süresi: Müşterinin istediği ürünün üretilmesinde değer katmayan işlemlerin toplamıdır.

Akış Süresi: Bir ürünün ortaya çıkış sürecindeki dönüşümün toplam zamanıdır.

Gelecek Durum Haritalama

Mevcut durum haritası, süreçteki israfları ve karmaşıklıkları açıkça gözlemlene olanağı sağlar. Daha etkin bir akış elde etmek için gelecek durum haritası çizilmektedir. Değer akışının doğru bir şekilde uygulanması, gelecek durum haritasının temelini oluşturur.

Bu haritanın çizilebilmesi için belirli sorulara yanıt aranmaktadır. Aşağıda yer alan sorulara verilen cevaplar ışığında gelecek durum haritası oluşturulmaktadır (Çakırkaya ve Acar, 2016):

- Müşterilerin asıl ihtiyaçları nelerdir?
- Müşterinin ihtiyaçlarına erişebilmek için performans hangi aralıklarla kontrol edilmelidir?
- Hangi süreçler değer katar, hangi süreçler değer katmaz?
- Daha az duruşlarla iş nasıl ilerler?
- Duruşlar sırasında iş nasıl kontrol edilebilir ve işlerin öncelik sırası nasıl oluşturulur?
- İş gücü ve diğer operasyonların seviyeleri nasıl belirlenir?
- Hangi iş akışı iyileştirmeye gereksinim duymaktadır?

Yapılan iyileştirmeler dahilinde yalın üretim tekniklerinden OEE, 5S tekniğinin kullanılması mevcut durum ile gelecek durum arasındaki farkı görebilmek açısından fayda sağlamıştır.

OEE, bir üretim tesisinin verimliliğini değerlendiren önemli bir performans göstergesidir ve kullanılabilirlik, performans ve kalite olmak üzere üç bileşenden oluşur. Kullanılabilirlik, ekipmanın planlanan üretim süresine göre ne kadar süre faal olduğunu gösterirken; performans, ekipmanın planlanan hızda ne kadar verimli çalıştığını; kalite ise üretilen ürünlerin müşteri taleplerine uygunluk oranını belirler. OEE, bu üç bileşenin çarpımı ile hesaplanır ve ideal değer %85'in üzerindedir. Bu analiz, ekipmanın kullanımını optimize etmek, üretim süreçlerindeki aksamaları gidermek ve operasyonel verimliliği artırmak için sürekli uygulanır, böylece üretim sürecinde israflar en aza indirilir ve tesisin genel üretkenliği artırılır. Toplam ekipman etkinliği Eşitlik 1-4'teki gibi hesaplanır.

$$OEE = \text{Kullanılabilirlik} \times \text{Performans} \times \text{Kalite} \quad (1)$$

$$\text{Kullanılabilirlik} = (\text{Net Çalışma Süresi} / \text{Çalışma Süresi}) \times 100 \quad (2)$$

$$\text{Performans} = (\text{Üretim İçin Geçen Süre} / \text{Net Çalışma Süresi}) \times 100 \quad (3)$$

$$\text{Kalite} = (\text{Kaliteli Ürün Miktarı} / \text{Üretilen Ürün Miktarı}) \times 100 \quad (4)$$

4. BULGULAR

Bu çalışmada, deri kemer üretimi yapan bir firmanın uygulamadığı yalın üretim ve teknikleri incelenmiştir. Çalışmaya yönelik olarak ilgili kısımlar gözlemlenmiş ve çalışan kişilere konuyla ilgili sorular yöneltilerek gerekli veriler elde edilmiştir. Bunun ardı sıra çalışmanın yapılacağı alanlarda ölçümler yapılarak mevcut durum haritası çizilmiştir. İşletmenin üretim hattında yapılan gözlemler ve verilerin toplanması, değer akış haritalaması için temel bir adım olmuştur. Bu süreçlerin ardından, gelecek durum haritalaması yapılarak yapılan iyileştirmelerin etkileri değerlendirilmiştir. Gelecek durum haritası, işletmenin yalın üretim ilkelerini ne kadar başarılı bir şekilde uyguladığını göstermiş ve gelecekteki potansiyel gelişim alanlarını belirlemiştir.

4.1. Mevcut Durum Haritasının Çizilmesi

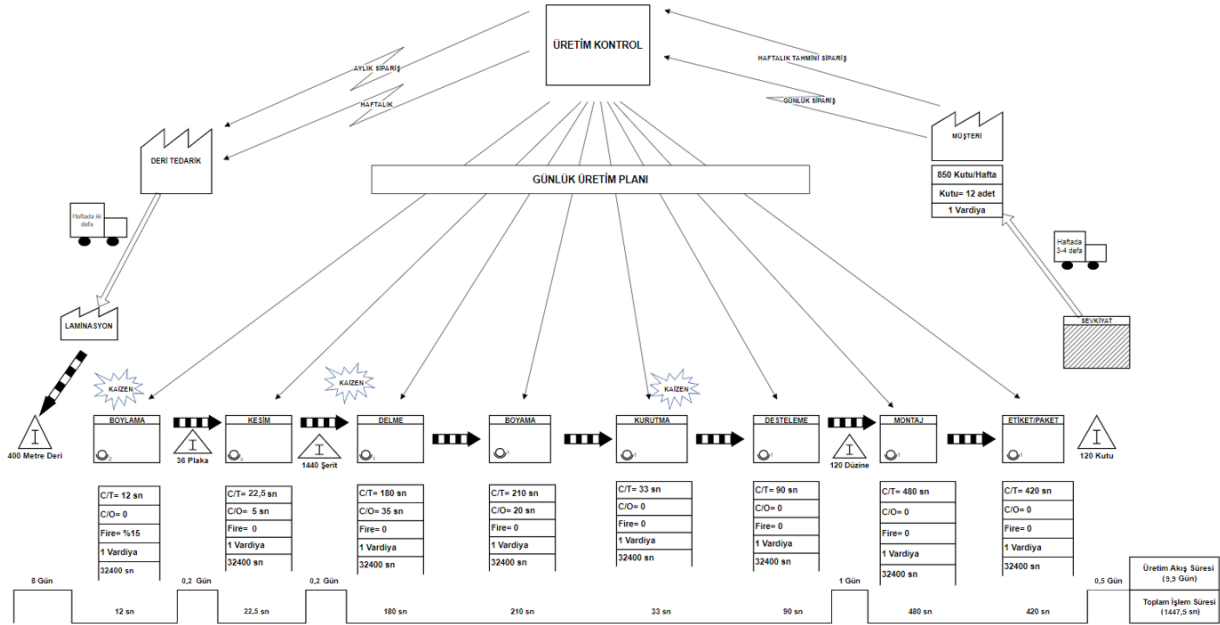
Bu aşamada elde edilen verilerin analiziyle işletmenin mevcut durumu detaylı bir şekilde incelenmiş ve bir durum haritası oluşturulmuştur. Kemer üretimi yapan işletmede 3 çeşit kemer üretim modeli bulunmaktadır. Bu üretim modelleri dikişli, dikişsiz ve bombeli; 3,5 cm, 4 cm ve 4,5 cm kemer şeklindedir. Haritalamada baz alınan ürün ailesi seçimi 3,5 cm dikişsiz kemerdur.

Tablo 2. Üretim adımları

No	Üretim Adımları	Açıklama
1	Laminasyon	Kemerdeki üst deri ile alt deriyi ara malzeme (salpa) ile birleştirme (yapıştırma) yapılmaktadır.
2	Boylama	Üretim Hattı / Lamineden gelen yarı mamul bedene göre boyplanarak ve ene göre kesilerek şerit haline getirilmektedir. Ardından üç kafa makinesinde delme, baskı ve bedenleme işlemi yapılmaktadır. Kemerler tek tek boyanarak kurutma fırınına asılmaktadır.
3	Plakalama	
4	Kesim	
5	Delme	
6	Dikiş	
7	Boyama	Bir yandan da kemere takılmak için köprü ve kravat yarı mamulleri hazırlanmaktadır. Kravata toka takılarak dikim işlemi gerçekleştirilir. Köprünün ise iki ucu kanca veya zımba kullanılarak birleştirilmektedir.
8	Kurutma	
9	Desteleme	Kurutma fırınından toplanılan şeritler her bedenden ikişer adet alınarak düzine haline getirilmektedir.
10	Montaj	Şerit halindeki kemerler kravat ve köprü ile birleştirilir. Kravat vidaları matkap yardımıyla birleştirilmektedir.
11	Etiketleme	Marka görünürlüğü ve iki köprüsü olan kemerlerin birbirinden ayrılmaması için yapılmaktadır.
12	Paketleme	Kartonlar kutu haline getirilerek düzinelenmiş kemerler kutuya yerleştirilmektedir.

Tablo 2’de elde edilen veriler ışığında aşağıdaki analiz çalışmaları yapılmış ve mevcut durum haritası bu analizler sonucu oluşturulmuştur.

Plakalama işleminde 50 metre deri kumaştan beden ortalamaları hesabıyla yaklaşık 36 plaka çıktığı gözlemlenmiştir. Beden haricinde kemerlerin en ölçüsü de adet sayısında etkilidir. Kesim makinesinde 3,5 cm enindeki kemerin plakasından 40 adet kemer, 4 cm enindeki kemerin plakasından 36 adet kemer ve 4,5 cm enindeki kemer plakasından 32 adet kemer çıkmaktadır. Hesaplamalar, 1 kutunun içerisinde yer alan 12 adet kemer baz alınarak yapılmıştır. Şekil 1’de mevcut durum haritası yer almaktadır.



Şekil 1. Mevcut durum haritası

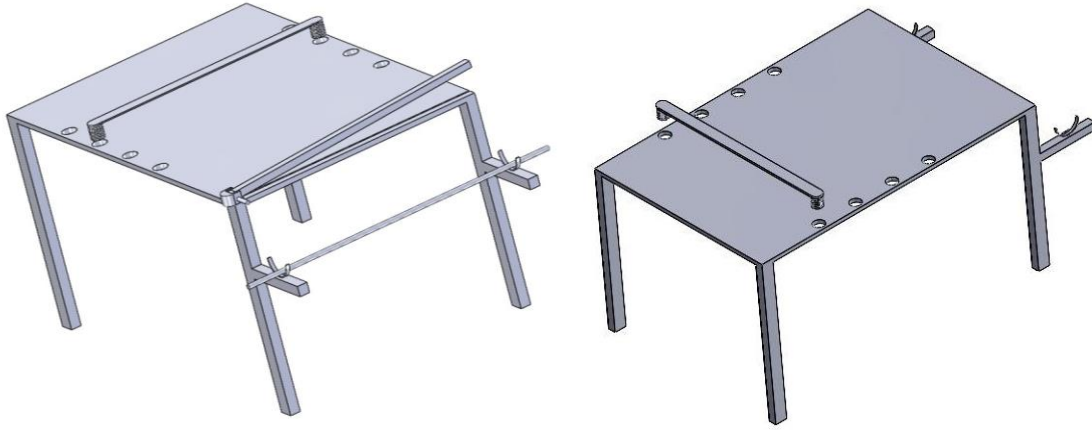
4.2. Gelecek Durum Haritası

Mevcut durum sonrası çalışma şartlarını zorlaştıran faaliyetler tespit edilerek operasyonel sorunlar üzerine çalışılmıştır. Atölyede mevcut durum haritasında da belirtildiği gibi iyileştirilmesi gereken proseslerin başında boylama işlemi gelmektedir. Burada boylama işleminin optimize edilmesi ve kurutma fırınının verimliliğinin artırılması üzerine odaklanılmıştır.

Mevcut durumda boylama işlemi, iki çalışan tarafından top halinde gelen derinin yere serilerek kesilmesiyle gerçekleştirilmektedir. Bu işlem cetvel, gönye, bıçak gibi çeşitli aletler kullanılarak yapılmakta ve işçiler ergonomik olmayan pozisyonlarda çalışmak zorunda kalmaktadır. İşçilerin sürekli eğilerek, diz kırarak çalışmaları ve kesim aletlerine erişimde yaşadıkları zorluklar, hem iş sağlığı ve güvenliği açısından risk oluşturmakta hem de verimliliği düşürmektedir. Ayrıca, derinin her seferinde yerinin değiştirilmesi, işlemin etkinliğini azaltan ek bir problem teşkil etmektedir.

Bu amaçla Şekil 2’deki tasarım geliştirilmiş ve atölye çalışanlarının da büyük destekleriyle en kullanışlı ve optimum çalışma ortamı oluşturulmaya çalışılmıştır. Tasarımların bir parçası olarak, cetvel kullanımının her kesim için şart olmadığı belirlenmiş ve bunun yerine masaya ölçek konularak istenilen ölçüde kesim yapılması sağlanmıştır, böylelikle çalışan sayısı da bire düşürülerek iş gücünden verimlilik elde edilmiştir. Bu ölçek, masaya kemer ölçülerine göre açılan delikler ile bu deliklere yerleştirilebilecek bir sınır çubuğu kullanılarak tasarlanmıştır. Rulo halindeki derinin masaya sabitlenmesi için ise bir direğe geçirilerek sabitlenmesi yöntemi araştırılmış ve deri kumaşın aşağıdan yukarıya doğru çıkacak şekilde düzenlenmesi uygun görülmüştür. Bu düzenlemeyi gerçekleştirmek için masanın ayaklarına ek parçalar (kaynak motoruyla) ilave edilmiş ve rulo direği bu parçalara eklenmiştir.

Kesim işlemini kolaylaştırmak amacıyla, masaya cetvel şeklinde açılıp kapanabilen bir parça ilave edilmiştir. Bu parça, deri kumaşın doğru bir şekilde kesilmesine yardımcı olurken, açılıp kapanabilmesi de kumaşın masaya yerleştirilmesi konusunda avantaj sağlamaktadır. Ayrıca, yerde yapılan kesim işlemlerinde kesim bıçağının (maket bıçağı) yer ile sürekli temas etmesi nedeniyle bıçağın körelmesi, kırılması ve zedelenmesi gibi sorunların önüne geçilmesi için masa tasarımında bıçak ucunun boşluğa gelecek şekilde kullanılacağı hesaplanmıştır. Bu şekilde, alet edevatın kullanılabilirliği artırılmıştır. Yapılan iyileştirmeler sonucu, 12 adet kemer için boylama işlemi 12 saniyeden 8 saniyeye düşürülmüştür.



Şekil 2. Boylama masası

Kurutma fırını kısmında, boyadan çıkan kemerler doğrudan kurutma askılarına asılmakta ve fırından çıktıktan sonra veya askı haznesi azaldığında kemerler toplanarak eşek standına konmaktadır. Kurutma fırınının kapasitesi 110 kemer olup, her toplamada yaklaşık 16 kemer standı konulmaktadır.

Bir fırın kapasitesi baz alındığında bu işlem yaklaşık 7 kez tekrarlanmakta ve her toplama işlemi 45 saniye sürdüğünden, bir fırın için yaklaşık 315 saniye toplama işlemi yapılmaktadır. Bu da 5 dakikalık bir kayıp anlamına gelmektedir. Gün bazında hesaplandığında, günde yaklaşık 1 saatlik kayıp zaman oluşmaktadır. Bu kayıp, her tekrarlandığında büyümekte ve fırından önceki işlem olan boyama sürecini etkilemektedir.

Bu sorunların çözümü için yapılan görüşmeler ve beyin fırtınaları sonucunda, kurutma fırınının çalışma mekanizmasında değişiklikler yapılarak iyileştirmeler gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalarda, fırın haznesinden çıkan kemerlerin engele takılarak askıdan çıkması hedeflenmiştir. Eşek stant mantığıyla, fırın boşlukları arasına stant yerleştirilmiş ve engele takılarak kemerlerin standı düşmesi sağlanmıştır.



Şekil 3. Kurutma fırınının önceki hali



Şekil 4. Kurutma fırınının sonraki hali

Şekil 3'te kurutma fırının iyileştirmelerden önceki hali görülmektedir. Burada kemerler fırına girdiği gibi çıkarak başlangıç yerine dönmekteydi. Şekil 4'te yapılan iyileştirmeler ile kurutma fırını çıkışına eklemeler yapıldığı görülmektedir. Üst kısma konulan beyaz aparat, kemerin askıdan çıkmasını sağlayarak alttaki standı düşürür. Kurutma işleminde toplama süresi 12 kemer için 33 saniye sürmekteydi, yapılan çalışma ile toplama işlemi tamamen ortadan kaldırılarak verimlilik sağlanmıştır.

Mevcut durumda son işlem olan etiketleme işleminin montajdan sonra yapıldığı fark edilmiştir. Yapılan gözlemler sonucu işlemin süreci uzattığı tespit edilmiş, bu aşamanın montaj ile birlikte yapılabilirliği üstünde durulmuştur. Montaj aşamasında yapılan etiket, işlem tekrarını ortadan kaldırarak sürenin 12 adet kemer için 420 saniyeden 60 saniyeye düşürülmesine katkı sağlamıştır.

Bu iyileştirmeler sonucunda hem boylama hem de kurutma fırını süreçlerindeki verimsizlik giderilmiş, çalışma koşulları iyileştirilmiş ve operasyonel verimlilik artırılmıştır. Ayrıca atölyede mevcut durumdaki fire oranının azaltılmasına yönelik yapılan çalışmada artan deri kullanımıyla kemerlerin yanı sıra Şekil 5'te ve Şekil 6'da görselleri verilen deriden üretilen bardak altlığı ve anahtarlıkların üretilmesi, atölyenin verimliliği ve ürün çeşitliliği açısından önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir. Bu uygulama ile kaynaklar daha etkin kullanılmakta, aynı zamanda müşterilere sunulan ürün çeşitliliğini artırarak pazar payını genişletme ve müşteri memnuniyetini artırma potansiyeli sunulmaktadır. Bu sayede sürdürülebilirlik açısından da önemli bir adım atılmış olunacaktır.

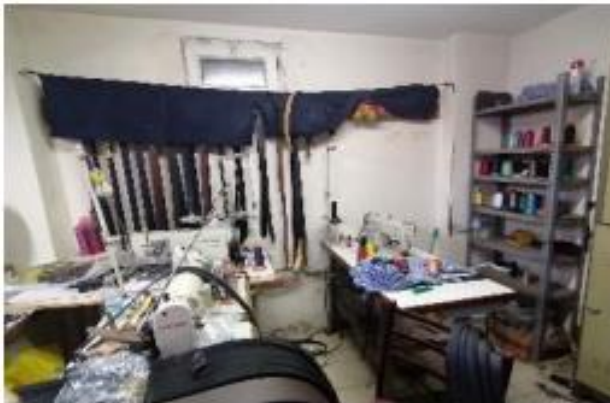


Şekil 5. Deriden üretilen bardak altlığı



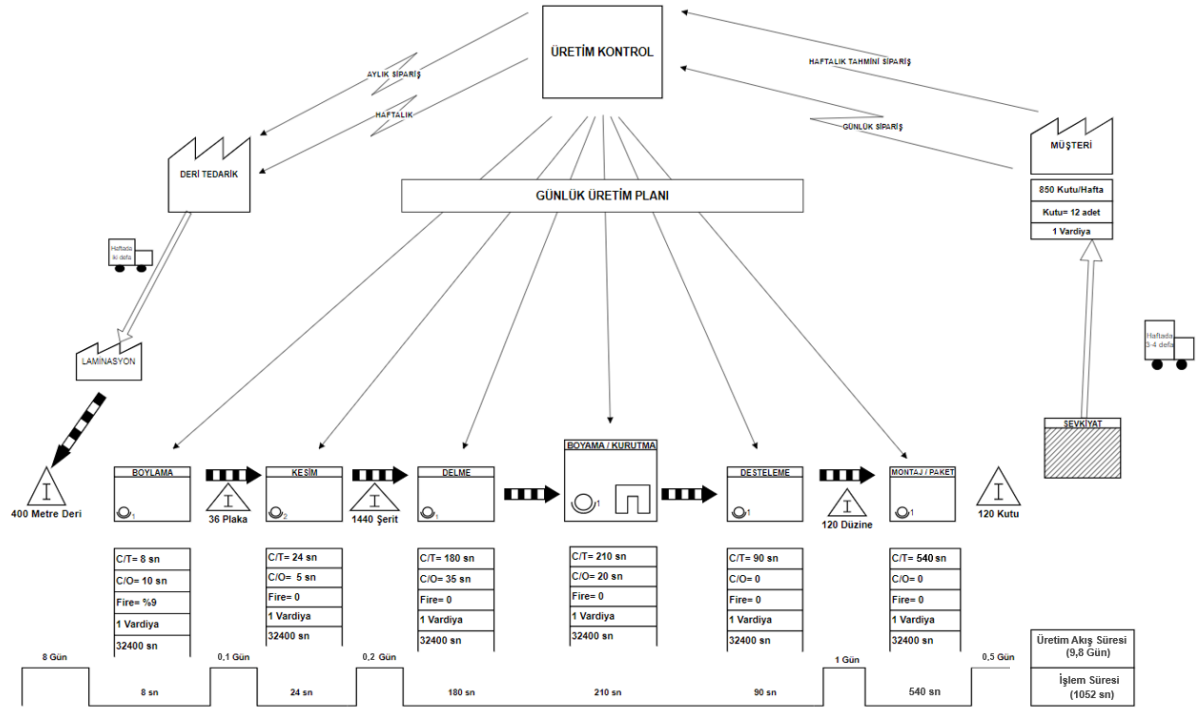
Şekil 6. Deriden üretilen anahtarlık

Atölyede 5S çalışması için 5S denetimi yapılmıştır. 5S öncesi atölyenin 5S'e uygun olmayan kısımları not alınarak fotoğraflanmıştır. Öncelikle 5S uygulamasına temizleme adımıyla başlanılarak gereksiz tüm eşyalar ortamdaki uzaklaştırılmıştır. Şekil 7'de üretim alanındaki fazla ve karmaşık halde bulunan, işi bitmesine rağmen kaldırılmayan kemer tokaları ve köprüleri renk ve şekline göre sınıflandırılmıştır. Kullanılabilir olanlar hatalı ve hurdalardan ayrılarak görünür ve el altında bulunabilecek bir konuma getirilmiştir. Kullanılamayacak durumda olan hatalı tokalar ise hurda olarak ayrılmış ve geri dönüşüme gönderilmiştir.



Şekil 7. 5S öncesi ve sonrası

Yapılan düzenlemeler kapsamında, işlemi biten ürünler alandan kaldırılmış, ipler kullanım sıklığı ve renklerine göre raflara yerleştirilmiştir. Kullanılmayan veya nadiren kullanılan ip çeşitleri ayıklanarak üretim alanından çıkarılmıştır. Ayrıca, ortamı kalabalık gösteren ve kullanılmayan askılıklar kaldırılarak daha ferah bir çalışma ortamı oluşturulmuştur. Şekil 8'de gelecek durum haritası yer almaktadır.



Şekil 8. Gelecek durum haritası

Mevcut durumda 1447,5 saniye olan işlem süresi, süreç iyileştirme çalışmaları sonucunda 1052 saniyeye düşürülmüştür. Ayrıca belirlenen prosesler stratejik planlar doğrultusunda birleştirilerek zamandan ve iş gücünden verimlilik elde edilmiştir.

Atölyenin mevcut durumunu analiz etmek amacıyla atölyede geçen süre, planlı ve plansız duruşlar gibi önemli veriler incelenmiştir. Atölyede toplam çalışma süresi 10,5 saat olarak belirlenirken, planlı duruşlar 1,5 saat ve plansız duruşlar ise 20 dakika olarak kaydedilmiştir. Bu verilere dayanarak, net çalışma süresi şu şekilde hesaplanmaktadır:

Toplam çalışma süresinden planlı ve plansız duruşların toplam süresi çıkarılarak 520 dakika net çalışma süresi elde edilmiştir.

Üretim miktarında işletmenin 24 dakikada 36 plaka ürettiği bilgisi ile çalışma süresi olan 540 dakikada toplam 810 plaka üretebileceği hesabı yapılmıştır.

Üretim için geçen sürede alınan karar, 1 plakanın yapılmasının 32 saniye sürmesi ile hesaplanan 810 plakanın toplamda 432 dakika süreceği yönündedir.

Kaliteli ürün miktarını tespit etmek için hurda miktarının sıfır olduğu ve dolayısıyla 810 plakanın kaliteli olduğu belirlenmiştir.

Bu durumda;

Kullanılabilirlik= $(520/540) * 100 = \%96,29$;

Performans= $(432/ 520) * 100 = \%83,08$;

Kalite= $(810/810) * 100 = \%100$ ve

OEE= $(0,9629 * 0,8308 * 1) * 100 = \%79,99$ olarak elde edilmiştir.

Gelecek durumu analiz etmek için de yine aynı şekilde işletmenin çalışma süresi, planlı ve plansız duruşlar gibi kritik veriler detaylı bir şekilde incelenmiştir. İşletmenin günlük çalışma süresi, planlı duruşlar için ayrılan süre, plansız duruşlar için tahsis edilen zaman verilerine dayanarak, net çalışma süresini hesaplamak için, toplam çalışma süresinden planlı ve plansız duruşların süresi çıkarılarak 520 dakika net çalışma süresi elde edilmiştir.

Üretilen miktar hesabı için 18 dakikada 36 plaka üretildiği ve 540 dakikada toplam 1080 plaka üretebileceği belirlenmiştir.

Üretim süresi için 1 plakanın 26 saniyede yapıldığı bilgisi üzerine, belirlenen 1080 plakanın 468 dakikada üretilebileceği bulunmuştur. Üretim için geçen süreyi hesaplamak amacıyla, bir plakanın kesilme süresi dikkate alınmıştır. Bu durumda, 1080 plakanın kesilmesinin toplamda 468 dakika sürdüğü tespit edilmiştir. Bu veriler, işletmenin gelecek durumunu analiz etmek ve üretim süreçlerini iyileştirmek için önemli bir temel oluşturmuştur.

Bu durumda;

Kullanılabilirlik= $(520/540) * 100 = \%96,29$;

Performans: $(468/ 520) * 100 = \%90$;

Kalite: $(1080/1080) * 100 = \%100$;

OEE: $(0,9629 * 0,90 * 1) * 100 = \%86,66$ olarak elde edilmiştir.

İyileştirme çalışmalarının sonucunda elde edilen %6,67'lik OEE artışı, işletmenin operasyonel verimliliğinde önemli bir gelişmeyi simgelemektedir. Bu durum, işletmenin gelecekteki rekabet gücünü artırarak daha sürdürülebilir bir üretim yapısına kavuşmasına olanak sağlamıştır.

5. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada deri üretim atölyesinde faaliyet yürüten bir işletmenin, yalın üretim tekniklerini uygulamadan önceki mevcut durumu ve bu tekniklerin uygulanması sonucu ortaya çıkan değişimler detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. İşletmenin mevcut durumu, süreçlerin verimlilik açısından değerlendirilmesi ve israfların tespit edilmesi amacıyla incelenmiştir. Bu kapsamda, özellikle değer akış haritalama tekniği kullanılarak süreçler detaylı bir şekilde gözden geçirilmiştir. Değer akış haritalama tekniği, işletmenin tüm üretim süreçlerindeki adımları, bilgi akışlarını ve mevcut durumdaki israfları görsel olarak temsil etmiştir.

Üretim hattındaki tüm adımlar gözlemlenmiş, çalışanlarla yapılan görüşmelerle veriler toplanmış ve süreçlerdeki ölçümler gerçekleştirilmiştir. Mevcut durum haritası, işletmenin üretim süreçlerinde yaşadığı sorunları ve verimsizlikleri ortaya koymuştur. Özellikle, boylama işleminin ergonomik olmayan koşullarda gerçekleştirilmesi, maket bıçağının körlenme riski, taşıma işlemlerinde yaşanan zorluklar ve kurutma fırınının verimliliğinin düşüklüğü gibi sorunlar belirlenmiştir. Fire oranının azaltılması ve artan derinin değerlendirilmesi amacıyla anahtarlık ve bardakaltı gibi yan ürünlerin üretimi, işletmenin kaynak kullanımını optimize ederek ürün çeşitliliğini artırmış ve müşteri memnuniyetini yükseltmiştir.

Değer akış haritalama tekniğinin kullanılması, israfların net bir şekilde tespit edilmesine ve süreçlerin iyileştirilmesine yönelik stratejilerin geliştirilmesine olanak tanımıştır. Bu çalışmaların sonucunda, OEE oranı başlangıçta %79,99'da iken %86,66'ya yükselmiştir. Bu artış, üretim süreçlerinin iyileştirilmesi ve israfın azaltılması sayesinde elde edilmiştir.

Sonuç olarak, yalın üretim tekniklerinin ve özellikle değer akış haritalama tekniğinin uygulanmasıyla işletmenin genel performansında belirgin bir iyileşme sağlanmış, operasyonel verimlilik artırılmış ve işletme daha rekabetçi bir konuma gelmiştir. Ayrıca potansiyel gelişim alanları belirlenerek, işletmenin daha verimli, esnek ve müşteri odaklı bir üretim yapısına sahip olmasına olanak tanınmıştır.

Çalışmada, yalın üretim tekniklerinin uygulanmasından önceki mevcut durum ve bu tekniklerin uygulamaları sonucunda ortaya çıkan değişimler analiz edilmiştir. Ancak, bu araştırma yalnızca bir işletme üzerinde yapılmış olup, diğer deri üretim atölyelerinde veya farklı sektörlerdeki etkiler üzerinde genelleme yapmak sınırlıdır. Gelecekteki benzer çalışmalar, deri üretim sektöründe yalın üretim tekniklerinin daha derinlemesine uygulanmasına odaklanmalıdır. Değer akış haritalama ve OEE gibi tekniklerin yanı sıra, yapılan iyileştirmelerin uzun vadeli etkileri ve sürdürülebilirliği üzerine çalışmalar yapılabilir. Ayrıca, üretim süreçlerinin sürekli optimize edilmesi için çalışan katılımı ve eğitimlerinin etkisi araştırılabilir. Yan ürün üretimi ve üretim hattındaki esneklik gibi konularda yapılan iyileştirmelerin işletmenin performansına olan katkıları detaylı bir şekilde incelenebilir.

Yazar Katkıları / Author Contributions

Esma Kılıç: Literatür Taraması, Kavramsallaştırma, Metodoloji, Veri Derleme, Analiz, Modelleme, Makale Yazımı-rijinal taslak Büşra Literatür Taraması, Kavramsallaştırma, Metodoloji, Veri Derleme, Analiz, Modelleme, Makale Yazımı-rijinal taslak Muharrem Ünver: Makale Yazımı-inceleme ve düzenleme
Esma Kılıç: Literature Review, Conceptualization, Methodology, Data Curation, Analysis, Modelling, Writing-original draft Büşra Yaman: Literature Review, Conceptualization, Methodology, Data Curation, Analysis, Modelling, Writing-original draft Muharrem Ünver: Writing-review and editing

Çatışma Beyanı / Conflict of Interest

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

Fon Desteği / Funding

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

Etik Standartlara Uygunluk / Compliance with Ethical Standards

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

Etik Beyanı / Ethical Statement

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



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

KAYNAKÇA

- Adalı, M.R., Kiraz, A., Akyüz, U. ve Halk, B. (2017). "Yalın Üretime Geçiş Sürecinde Değer Akışı Haritalama Tekniğinin Kullanılması: Büyük Ölçekli Bir Traktör İşletmesinde Uygulama", *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(2), 242-251. <https://doi.org/10.16984/soaufenbilder.283787>
- 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. ve 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.
- 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>
- Çakırkaya, M. ve Acar, Ö.E. (2016). "5S Tekniği Aşamaları ve Makarna Sektöründe Bir Uygulama", *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 30(4), 845-868.
- Dinesh, S.N., Shalini, M., Vijay, M., Vijey Mohan, R.C., Saminathan, R. ve Sabbiah, R. (2022). "Improving The Productivity In Carton Manufacturing Industry Using Value Stream Mapping (VSM)", *Materials Today Proceedings*, 66(3), 1221-1227. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.05.015>
- Doğan, N.Ö. ve Şimşek Yağlı, B. (2019). "Value Stream Mapping: A Method That Makes the Waste in the Process Visible", *Lean Manufacturing and Six Sigma - Behind the Mask*, (Editörler: F. Pedroi G. Márquez, I.S. Ramirez, T. Bányai, P. Tamás), IntechOpen.
- Duzdar Argun, İ. ve Çelik, S. (2023). "Değer Akışı Haritalama Yöntemiyle Otomotiv Sektöründe Faaliyet Gösteren Bir Firmanın Teslimat Süresinin Azaltılması", *İstanbul Commerce University Journal of Science*, 22(43), 94-112. <https://doi.org/10.55071/ticaretibf.1252423>
- Güneşlik, M. (2012). "Yalın Yönetim Düşüncesinin Muhasebe Üzerindeki Etkileri; Otomotiv Sanayiinde Bir Uygulama", Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sakarya.
- Güngör, F., Akkaya, M., (2012), "Seri Üretim Hattında, Kapasite Dengeleme ve Verimlilik Artışının Birim Maliyete Etkisi ve Bir Uygulama", 11. Ulusal İşletmecilik Kongresi, Konya Selçuk Üniversitesi, Konya, 10-11 Mayıs, 999-1004.
- Koca, D. (2023). "Kaizen Yaklaşımı ile Süreç İyileştirme Kapsamında Toplam Ekipman Etkinliği Analizleri ve Bir İmalat İşletmesinde Uygulanması", Yüksek Lisans Tezi, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Tokat.
- Kökten, E.S. (2021). "Değer Akış Haritalama Yöntemi İle İşletmelerde Üretim Kayıplarının Azaltılması: Ahşap Sektöründe Bir Uygulama", Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük.
- Mansor, M.A. ve Anuar, M.A.S. (2022). "Application of Value Stream Mapping in the Automotive Industry: A Case Study", *Journal of Modern Manufacturing Systems and Technology*, 6(2), 34-41. <https://doi.org/10.15282/jmmst.v6i2.8561>
- Rother, M. ve Shook, J. (1999). "Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda", Lean Enterprise Institute.
- Sağbaş, A., Hasan, D., Çapraz, O. ve Karakurt, N. (2018). Yalın Üretime Geçiş Sürecinde Seri Üretim Hattında Üretim Sistemi Optimizasyonu", *Verimlilik Dergisi*, 2, 7-27.
- Salwin, M., Golda, I.J., Banka, M., Varanchuk, D. ve Gavina, A. (2021). "Using Value Stream Mapping to Eliminate Waste: A Case Study of a Steel Pipe Manufacturer", *Energies*, 14(12), 3527. <https://doi.org/10.3390/en14123527>
- Uçar, A. ve Turanoğlu Şirin, B. (2024). "İç Lojistik Faaliyetlerinde Yalın Tekniklerin Kullanılması ve Bir Uygulama", *Black Sea Journal of Engineering and Science*, 7(3), 423-435. <https://doi.org/10.34248/bsengineering.1436910>
- Vaghassia, V. ve Fuse, K. (2019). "Case Study: Lean Techniques used in different Manufacturing Industries", *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Pilsen, Czech Republic, July 23-26, 1952-1961.
- Yalçın, M., Elyas, C., Yıldız, S. ve Alpşen, C. (2018). "Yalın Metodolojinin Hastane Laboratuvar Süreçlerinin İyileştirilmesinde Kullanılması (Toyota Üretim Sistemi- Spaghetti Diyagramı)", *Konuralp Medical Journal*, 10(1), 99-104. <https://doi.org/10.18521/ktd.336102>
- Yurtseven, Ç., Aydın, D., Ekici, M., Aktepe, S., Eş Yürek, E. ve 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

#MİLLİ
TEKNOLOJİ
HAMLESİ

STRATEJİK ARAŞTIRMALAR VE VERİMLİLİK GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

