

VERİMLİLİK DERGİSİ



T.C. SANAYİ VE
TEKNOLOJİ BAKANLIĞI

Cilt: 57 | Sayı: 4

Verimlilik Yanlılığı Hipotezinin Doğrulanması: Seçilmiş Yükselen Piyasa Ekonomilerinden Kanıtlar
Alper KARASOY

Performance Evaluation in Railway Transport: The Case of Europe and Türkiye
Ramazan YILDIZ

Yerel Yönetimler için Kurumsal Sürdürülebilirlik Yaklaşımı
Hayri BARAÇLI, Ramazan Özcan YILDIRIM

Hastalık Yükleri Kapsamında Sağlık Sistem Dayanıklılığının Sağlık İş Gücü Açısından Değerlendirilmesi
Gülay EKİNCİ, Aysun DANAYİYEN

Eko-İnovasyon Performansının Ekonomik Büyümeye Etkisi: Avrupa Birliği Ülkeleri Üzerine Panel Veri Analizi
Zehra Binnur AVUNDUK, Hüseyin İÇEN

Kurumlar Arası Belge Paylaşımında Dijitalleşmenin Verimliliğe Etkisi
Muhammed Raşit ÖZDAŞ, Aslıhan TÜFEKÇİ

Türk Havayolları'nın Lider Küresel Havayolu Şirketleri Arasındaki Göreceli Finansal Verimliliğinin Değerlendirilmesi:
Malmquist Verimlilik Endeksi Yaklaşımı
Resul TELLİ, Oya ÖZTÜRK, Zehra Vildan SERİN

Yapay Sinir Ağları Yaklaşımı ile Talep Tahmini: Madeni Eşya İmalat Sektöründe Bir Uygulama
Tuğba SARI, Sermet Rıza ŞENSOY, Adem Enes NURBAKİ, İsmet Alperen AĞAÇ

Makine ve Ekipman İmalatı Sektöründe İzolasyon Ormanı ve Yeniden Örnekleme Yöntemleri Kullanılarak Finansal Başarısızlığın Tespit Edilmesi
Kardelen Şeyma ERDEM, Mehmet Akif BAKIR

Telepazarlama Çağrılarının Başarısını Tahmin Etmek Üzere Veriye Dayalı Bir Yaklaşım
Özge CÖMERT, Mesut TOĞAÇAR

Smart Product-Service Systems in Fashion Industry: A Systematic Review of Sustainability Results
Ufuk GÜR

Akıllı Fabrikalarda Çizelgeleme Yöntemlerinin Analizi
Rumeysa MANZAK, Orhan ENGİN

JOURNAL OF PRODUCTIVITY



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

Cilt: 57 Sayı: 4

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
Nazlı SAYLAM BÖLÜKBAŞ

Grafik Tasarım ve Uygulama
Şeniz KOBAL

Dil Editörleri
Nazlı SAYLAM BÖLÜKBAŞ
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/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
27.10.2023

YAYIN KURULU / EDITORIAL BOARD

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

DANIŞMA KURULU / ADVISORY BOARD

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

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

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

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

- 595**
608 Verimlilik Yanlılığı Hipotezinin Doğrulanması: Seçilmiş Yükselen Piyasa Ekonomilerinden Kanıtlar
Validating the Productivity Bias Hypothesis: Evidence from Selected Emerging Market Economies
Alper KARASOY
- 609**
622 Performance Evaluation in Railway Transport: The Case of Europe and Türkiye
Demiryolu Taşımacılığında Performans Değerlendirmesi: Avrupa ve Türkiye Örneği
Ramazan YILDIZ
- 623**
640 Yerel Yönetimler için Kurumsal Sürdürülebilirlik Yaklaşımı
Corporate Sustainability Approach for Local Governments
Hayri BARAÇLI, Ramazan Özcan YILDIRIM
- 641**
656 Hastalık Yükleri Kapsamında Sağlık Sistem Dayanıklılığının Sağlık İş Gücü Açısından Değerlendirilmesi
Evaluation of Health System Resilience in Terms of Health Workforce within the Scope of Disease Burdens
Gülay EKİNCİ, Aysun DANAYİYEN
- 657**
670 Eko-İnovasyon Performansının Ekonomik Büyümeye Etkisi: Avrupa Birliği Ülkeleri Üzerine Panel Veri Analizi
The Impact of Eco-Innovation Performance on Economic Growth: Panel Data Analysis on European Union Countries
Zehra Binnur AVUNDUK, Hüseyin İÇEN
- 671**
686 Kurumlar Arası Belge Paylaşımında Dijitalleşmenin Verimliliğe Etkisi
The Impact of Digitization on Efficiency in Inter-Organizational Record Sharing
Muhammed Raşit ÖZDAŞ, Aslıhan TÜFEKÇİ
- 687**
700 Türk Havayolları'nın Lider Küresel Havayolu Şirketleri Arasındaki Göreceli Finansal Verimliliğinin Değerlendirilmesi: Malmquist Verimlilik Endeksi Yaklaşımı
Evaluating Turkish Airlines Relative Financial Productivity Among Leading Global Airline Companies: Using the Malmquist Productivity Index Approach
Resul TELLİ, Oya ÖZTÜRK, Zehra Vildan SERİN
- 701**
718 Yapay Sinir Ağları Yaklaşımı ile Talep Tahmini: Madeni Eşya İmalat Sektöründe Bir Uygulama
Demand Forecasting with Artificial Neural Networks Approach: An Application in the Metal Goods Manufacturing Industry
Tuğba SARI , Sermet Rıza ŞENSOY, Adem Enes NURBAKİ, İsmet Alperen AĞAÇ
- 719**
734 Makine ve Ekipman İmalatı Sektöründe İzolasyon Ormanı ve Yeniden Örneklem Yöntemleri Kullanılarak Finansal Başarısızlığın Tespit Edilmesi
Detecting Financial Failure in the Machinery and Equipment Manufacturing Sector Using Isolation Forest and Resampling Methods
Kardelen Şeyma ERDEM, Mehmet Akif BAKIR
- 735**
746 Telepazarlama Çağrılarının Başarısını Tahmin Etmek Üzere Veriye Dayalı Bir Yaklaşım
A Data-Driven Approach Estimating the Success of Telemarketing Calls
Özge CÖMERT, Mesut TOĞAÇAR
- 747**
760 Smart Product-Service Systems in Fashion Industry: A Systematic Review of Sustainability Results
Moda Endüstrisinde Akıllı Ürün-Hizmet Sistemleri: Sürdürülebilirlik Sonuçları Üzerine Sistemik Bir Derleme
Ufuk GÜR
- 761**
774 Akıllı Fabrikalarda Çizelgeleme Yöntemlerinin Analizi
Analysis of Scheduling Methods In Smart Factories
Rumeysa MANZAK, Orhan ENGİN

Verimlilik Yanıllığı Hipotezinin Doğrulanması: Seçilmiş Yükselen Piyasa Ekonomilerinden Kanıtlar

Alper KARASOY¹

ÖZET

Amaç: Bu araştırmanın amacı, seçilmiş 10 büyük yükselen piyasa ekonomisinde verimlilik yanıllığı hipotezinin (VYH) geçerliliğini 1991-2021 dönemi için test etmektir.

Yöntem: Bu çalışmada yatay kesit bağımlılığını dikkate alan panel veri analiz yöntemleri kullanılmıştır. Bu bağlamda öncelikle birim-kök testiyle kullanılan değişkenlerin (nispi verimlilik ve reel döviz kuru) durağanlık dereceleri belirlenmiştir. Sonraki aşamada kesirli frekanslı esnek Fourier yapıllı panel eş-bütünleşme testiyle modeldeki değişkenlerin eş-bütünleşik olduğu tespit edilmiştir. Araştırmanın son aşamasında genişletilmiş ortalama grup (AMG) yöntemiyle uzun dönemde nispi verimliliğin reel döviz kurunu nasıl etkilediği bulunarak VYH'nin geçerliliği sınanmıştır.

Bulgular: Birincisi, nispi verimlilik ve reel döviz kuru hem oluşturulan panelde hem de paneldeki ülkelerin tamamında eş-bütünleşiktir. İkincisi, oluşturulan panelde ve paneldeki 10 ülkenin 8'inde (Çin, Mısır, Endonezya, Hindistan, Güney Kore, Polonya, Türkiye ve Güney Afrika) nispi verimliliğin uzun dönemde reel döviz kurunu artırdığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, VYH'nin geçerliliğini doğrulamaktadır. Son olarak Brezilya ve Meksika'da VYH reddedilmiştir.

Özgünlük: Yükselen piyasa ekonomilerinde VYH'nin geçerliliğini inceleyen çalışma sayısı son derece sınırlıdır. Ayrıca bu çalışmada kullanılan panel eş-bütünleşme testi, kesirli frekanslı Fourier fonksiyonları yardımıyla, yapısal kırılmaları dikkate almaktadır.

Anahtar Kelimeler: Balassa-Samuelson Etkisi, Panel Veri Analizi, Verimlilik Yanıllığı Hipotezi, Yükselen Piyasa Ekonomileri.

JEL Kodları: C12, C23, F31.

Validating the Productivity Bias Hypothesis: Evidence from Selected Emerging Market Economies

ABSTRACT

Purpose: This research tests the productivity bias hypothesis (PBH) in selected 10 big emerging market economies for the 1991-2021 period.

Methodology: Panel data methods that account for cross-sectional dependency are employed. Initially, the stationarity properties of the variables (relative productivity and real exchange rate) are determined via the unit-root test. In the next stage, the cointegration between the variables is confirmed using the *fractional frequency flexible Fourier form* (FFFFF) panel cointegration test. In the last stage, the augmented mean group (AMG) method is employed to estimate the long-run effect of relative productivity on the real exchange rate.

Findings: First, cointegration exists between relative productivity and real exchange rate in the panel and in all selected economies individually. Second, in the panel and in 8 out of 10 selected economies (China, Egypt, Indonesia, India, South Korea, Poland, Türkiye, and South Africa), the PBH is valid. Last, the PBH is not confirmed in Brazil and Mexico.

Originality: The number of studies that test the PBH in emerging market economies is rather limited. Additionally, this study uses the FFFFF panel cointegration test to account for structural breaks.

Keywords: Balassa-Samuelson Effect, Panel Data Analysis, Productivity Bias Hypothesis, Emerging Market Economies.

JEL Codes: C12, C23, F31.

¹ Dr. Öğretim Üyesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye, akarasoy@aku.edu.tr, ORCID: 0000-0001-9447-3375.

DOI: 10.51551/verimlilik.1309639

Araştırma Makalesi / Research Article | Geliş Tarihi / Submitted Date: 04.06.2023 | Kabul Tarihi / Accepted Date: 24.09.2023

Atıf: Karasoy, A. (2023). "Verimlilik Yanıllığı Hipotezinin Doğrulanması: Seçilmiş Yükselen Piyasa Ekonomilerinden Kanıtlar", *Verimlilik Dergisi*, 57(4), 595-608.

EXTENDED ABSTRACT

The relationship between relative price levels and nominal exchange rates is explained by the “*purchasing power parity*” (PPP) theory. The *PPP theory* posits that as the nominal exchange rate adjusts to the relative price levels, the real exchange rate should be level stationary (i.e., remain fixed) (Anwar and Ali, 2015; Bahmani-Oskooee and Nourira, 2021). Nonetheless, the studies by Samuelson (1964) and Balassa (1964) revealed that real exchange rate deviations from the PPP can occur due to changes in the long-run relative productivity. In the relevant literature, this occurrence is referred to as the “*Balassa-Samuelson effect*,” the “*Balassa-Samuelson hypothesis*”, or the “*productivity bias hypothesis*” (PBH). According to the PBH, if a country’s relative productivity is improved, the real value of its currency is expected to appreciate in the long-run (Njindan Iyke and Odhiambo, 2017).

In this regard, the aim of this research is to test the validity of the PBH in selected 10 big emerging market economies (Brazil, China, Egypt, India, Indonesia, Mexico, South Korea, Poland, Türkiye, and South Africa) for the 1991-2021 time period. To achieve this goal, a bivariate model, which has real exchange rate as the response variable and relative productivity as the explanatory variable, is employed based on the previous empirical works. Further, panel time series analysis methods that consider cross-sectional dependency are utilized to estimate the proposed model. Subsequent to confirming the existence of cross-sectional dependence, the unit-root test of Im et al. (2023) is applied to determine the stationarity characteristics of the employed variables. In the next stage of the analysis, the panel cointegration test of Olayeni et al. (2021) is used to confirm if relative productivity and real exchange rate have a cointegrating relationship. Besides accounting for cross-sectional dependency, the main advantage of this test is to include *fractional frequency flexible Fourier form* to accommodate possible structural breaks. In the last stage of the analysis, the augmented mean group (AMG) method of Eberhardt and Teal (2010) is employed to estimate the long-run effect of relative productivity on the real exchange rate.

The empirical results of this research can be summed up as follows: First, cointegration exists between relative productivity and the real exchange rate in the panel and in all 10 selected emerging market economies. Second, the long-run impact of relative productivity on the real exchange rate is positive and significant in the panel and in 8 out of 10 economies (i.e., China, Egypt, Indonesia, India, S. Korea, Poland, Türkiye, and S. Africa). Last, in Mexico and Brazil, relative productivity’s long-run effect on the real exchange rate is statistically insignificant.

These empirical findings reveal that while the PBH is valid in the panel and in 8 out of 10 aforementioned economies, the PBH is not valid in Brazil and Mexico. Some policy implications can be stated based on these findings. For the economies in which the PBH is valid, increasing relative productivity can be instrumentalized to appreciate the real exchange rate in the long-run. In this regard, productivity growth can be improved by increasing research and development spending, educational attainment, and intercontinental and interregional transportation (Eichler et al., 2006). In Brazil and Mexico, the long-run deviations of the real exchange rates from their PPPs depend on factors other than relative productivity. Such factors can be speculative attacks and/or capital controls. Further research can investigate the validity of the PBH by utilizing multivariate models that have additional explanatory variables such as terms of trade, net foreign assets, and government expenditure. Also, by employing the sectoral data from different tradable goods sectors, future studies can pinpoint for which sectors the PBH is valid.

1. GİRİŞ

Nispi genel fiyat düzeyleriyle nominal döviz kuru arasındaki uzun dönemli denge ilişkisi, iktisat biliminin temel ve güncelliğini koruyan konularındandır. Bu ilişki üzerine yazılmış öncü çalışmalardan olan Cassel (1918)'e göre iki ülkenin para birimleri arasındaki döviz kuru, bu ülke paralarının satın alma güçlerinin oranı tarafından belirlenir. Cassel (1918) bu orana “*satın alma gücü paritesi*” (SAGP) adını vermiştir ve iki ülke arasında ticaret serbestisi olduğu müddetçe döviz kurunun SAGP'den sapmayacağını savunmuştur. Literatürde SAGP teorisi (SAGPT) olarak da adlandırılan bu yaklaşıma göre, iki ülke arasındaki nominal döviz kuruyla bu ülkelerdeki genel fiyat düzeylerinin oranı arasında uzun dönemli bir denge söz konusudur. Bir başka ifadeyle SAGPT'nin geçerli olması durumunda, nispi genel fiyat düzeylerinde yaşanan değişimlere nominal döviz kuru da uyulanarak dengelenecek ve bu dengelenme neticesinde reel döviz kuru uzun dönemde durağan bir seyir izleyecektir (Balassa, 1964; Ericsson ve Irlandoust, 2004).

Balassa (1964) ve Samuelson (1964) çalışmaları, ülkelerin verimliliklerinde yaşanacak olan artışların bu ülkelerin reel döviz kurlarının değerlendirilmesini sağlayacağını ve böylelikle yukarıda bahsedilmiş olan uzun dönem SAGP dengesinden sapmalar yaşanabileceğini ortaya koymuştur. Literatürde “*Balassa-Samuelson etkisi*”, “*Balassa-Samuelson hipotezi*” veya “*verimlilik yanlılığı hipotezi*” (VYH) olarak adlandırılan bu yaklaşımda, ülkelerin nispi verimliliklerinde yaşanacak artışların uzun dönemde bu ülkelerin reel döviz kurlarını artırarak değerlendirilmesini sağlayacağı ileri sürülmektedir (Bahmani-Oskooee ve Nasir, 2004).

VYH'nin geçerliliğini inceleyen ve panel zaman serileri ya da zaman serileri kullanan görgül çalışmalarda bu hipotezi doğrulamak için iki koşul aranmaktadır: Birincisi, nispi verimlilik ve reel döviz kuru değişkenlerinin uzun dönemde birlikte hareket etmesi (eş-bütünleşik olması) ve ikinci olarak nispi verimlilik değişkeninin reel döviz kuru üzerindeki uzun dönem etkisinin pozitif ve anlamlı olmasıdır (Bahmani-Oskooee ve Nasir, 2005). Bu çerçevede bu araştırmanın amacı, seçilmiş on büyük yükselen piyasa ekonomilerinde 1991-2021 dönemi için VYH'nin geçerliliğini panel zaman serileri analiz yöntemleriyle incelemektir.

Bu çalışmanın literatüre katkıları şu şekilde özetlenebilir: Öncelikle bu çalışmada ele alınan seçilmiş yükselen piyasa ekonomilerini konu edinen ampirik çalışma sayısı sınırlıdır. Araştırmanın örneklemini oluşturan on ülkeden dokuzu (Brezilya, Çin, Endonezya, Hindistan, Güney Kore, Meksika, Polonya, Türkiye ve Güney Afrika), Garten (1997) tarafından “*büyük on*” şeklinde tanımlanmış büyük yükselen piyasa ekonomileridir. Bu çalışmada Garten'in (1997) tanımlamasından farklı olarak, Arjantin ekonomisine ait veriler 1991-2021 dönemi için mevcut olmadığından bu ülke yerine Mısır ekonomisi analize dahil edilmiştir. Dünya nüfusunun büyük bir kısmını barındıran ve farklı coğrafyalarda yer alan bu ülkelerde nispi verimliliğin reel döviz kurlarını nasıl etkilediğinin anlaşılması, politika yapıcılara ekonomi ve finans politikaları konusunda yeni bakış açıları sunabilir.

Bu çalışmanın literatüre bir diğer katkısı da yöntemeldir. Çalışmada yatay kesit bağımlılığını dikkate alan metotlar kullanılmıştır. Ayrıca nispi verimlilik ve reel döviz kuru arasındaki eş-bütünleşme ilişkisi, Olayeni ve diğerleri (2021) tarafından geliştirilmiş olan kesirli frekanslı esnek Fourier yapıları panel eş-bütünleşme testiyle incelenmiştir. Bu testte kesirli frekanslı Fourier fonksiyonları kullanılarak, bilinmeyen sayıdaki ve yapıdaki yapısal kırılmaların dikkate alınması sağlanmaktadır. Olayeni ve diğerleri (2021) çalışmasında vurgulandığı üzere yapısal kırılmaların gölge değişkenler üzerinden eş-bütünleşme testinde değerlendirilmesi, bu kırılmaların yanlış veya eksik belirlenmesi ya da serbestlik derecesi kaybı gibi sorunlara yol açabilmektedir. Fourier fonksiyonlarının kullanılması durumunda bu tarz problemler kolayca giderilebilir (Olayeni ve diğerleri, 2021). Bu çalışmada değerlendirilen yükselen piyasa ekonomilerinin, örneklem döneminde, hem küresel hem de yerel düzeyde çeşitli politik ve ekonomik krizler ya da değişimler yaşamış olabilecekleri göz önünde bulundurulursa Olayeni ve diğerleri (2021) tarafından sunulmuş olan bu testin kullanılmasının daha sağlıklı sonuçlar sunacağı öne sürülebilir. Bilindiği kadarıyla VYH'nin geçerliliğini inceleyen çalışmalar arasında bu testi uygulamış bir araştırma bulunmamaktadır.

Bu araştırmanın yapısı şöyledir: Sonraki bölümde VYH'ye ilişkin teorik çerçeveye birlikte kısa bir literatür incelemesi sunulmuştur. Devamındaki bölümde çalışmada kullanılan yöntemler ve model açıklanmıştır. Sonrasında elde edilen bulgular sunulmuş ve yorumlanmıştır. Araştırmanın sonuç bölümünde elde edilmiş bulgular üzerinden bazı politik çıkarımlar yapılmıştır.

2. TEORİK ÇERÇEVE ve LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Teorik Model

Officer (1976a) ve Officer (1976b) çalışmalarında özetlendiği üzere VYH'nin temeli, iki ülke arasındaki görece verimlilik farkının ticarete konu olan (*traded*) mallardan kaynaklanmasına dayanmaktadır. Ticaret engellerinin ve taşıma maliyetlerinin olmadığı varsayımı altında SAGP, ticarete konu olan mallar için geçerli

olacak ve böylece *-ticaret konu olan malların üretiminde ülkeler arası verimlilik farkları olsa da-* bu malların fiyat düzeyleri *ülkeler arasında* eşitlenecektir. Ancak ticarete konu olmayan (*non-traded*) malların fiyat düzeylerinde böyle bir eşitlenme olmayacaktır. Bunun yanında verimliliği görece yüksek olan ülkede ücret düzeyi artacaktır. Ücret düzeyindeki bu artış, diğer sektörler ve verimliliği yüksek olan ülkedeki (*yurt içi*) fiyat düzeyi de nispi olarak artacaktır. Sonuçta verimliliği görece yüksek ülkenin ulusal parası değerlendirilecek ve reel döviz kuru yükselecektir (Officer, 1976a).

Önceki paragrafta bahsedilmiş olan VYH'nin teorik çerçevesi, Ericsson ve Irandoust (2004) tarafından matematiksel olarak dışa açık küçük bir ekonomi üzerinden modellenmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda yurt içi ve yurt dışı fiyat düzeylerinin, ticarete konu olan (p_T) ve olmayan (p_{NT}) malların fiyat düzeylerinden oluştuğu varsayımı altında Eşitlik 1'deki gibi gösterilebilir:

$$p = (1 - \lambda)p_T + \lambda p_{NT}, \quad p^* = (1 - \lambda^*)p_T^* + \lambda^* p_{NT}^* \quad (1)$$

Eşitlik 1'de yurt dışı ekonomiye ait değerler * sembolüyle işaretlenmiştir. Ek olarak λ ve $(1 - \lambda)$, ticarete konu olmayan ve olan malların ekonomideki paylarını göstermektedir. Bütün değişkenlerin logaritması alınmıştır. İlaveten, bu araştırmayla paralel olarak, reel döviz kuru $R = \frac{P}{P^*}$ dir. Bu eşitliğin de logaritması alınır Eşitlik 2'deki gibi ifade edilebilir:

$$r = p - p^* - e \quad (2)$$

Eşitlik 2'de yer alan e , nominal döviz kurunun logaritmasıdır. Eşitlik 1'de yer alan p ve p^* ifadeleri Eşitlik 2'de kullanılırsa reel döviz kuru, ticarete konu olmayan malların yurt içi ve yurt dışı fiyatlarıyla gösterilebilir:

$$r = (p_T - p_T^* - e) + \lambda(p_{NT} - p_T) - \lambda^*(p_{NT}^* - p_T^*) \quad (3)$$

VYH'ye göre, yukarıda da vurgulandığı üzere, SAGP ticarete konu olan mallar için geçerlidir. Bu sebepten $p_T - p_T^* - e = 0$ olacaktır. Ayrıca bu modelde dış ticaret hadleri sabittir, sermayenin sınırlar arası transferi serbesttir, sektörler için üretim fonksiyonları ölçeğe göre sabit getirilidir ve üretim faktörleri sektörler arasında serbestçe hareket edebilir.

Bu aşamada Eşitlik 3'ün verimlilik cinsinden ifade edilebilmesi için rekabetçi piyasa koşullarının geçerli olduğu ve firmaların birim emek maliyetlerini yansıtacak şekilde fiyatları belirledikleri varsayılmalıdır. Bu durumda fiyat düzeyleri, ücretin (w) ve verimliliğin (v) fonksiyonu olarak Eşitlik 4'teki gibi gösterilebilirler:

$$p_T = w - v_T, \quad p_{NT} = w - v_{NT}, \quad p_T^* = w^* - v_T^*, \quad p_{NT}^* = w^* - v_{NT}^* \quad (4)$$

Eşitlik 4 dikkatle incelenirse ticarete konu olan ve olmayan mallar arasındaki verimlilik farkının, ticarete konu olmayan malların fiyat düzeylerindeki nispi değişimi açıkladığı görülecektir ($v_T - v_{NT} = p_{NT} - p_T$ ve $v_T^* - v_{NT}^* = p_{NT}^* - p_T^*$). Bu basamakta Eşitlik 4, Eşitlik 3'te kullanılarak reel döviz kuru, nispi verimliliğin fonksiyonu şeklinde gösterilebilir:

$$r = \lambda(v_T - v_{NT}) - \lambda^*(v_T^* - v_{NT}^*) \quad (5)$$

Eşitlik 5'e göre ilgili ülkenin verimliliğinde (v_T) yaşanacak olan nispi artış, reel döviz kurunu (r) artıracaktır. Buraya kadar açıklanmış olan reel döviz kuru ve nispi verimlilik arasındaki uzun dönem ilişkisi, iki ülkeli (Y ve Φ) bir örnek üzerinden aşağıdaki genel formda ifade edilebilir:

$$r_{Y\Phi t} = \alpha_0 + \beta_1(v_{Yt} - v_{\Phi t}) \quad (6)$$

Logaritmik olarak gösterilen Eşitlik 6 bağlamında Y ülkesinde Φ ülkesine göre yaşanacak olan nispi verimlilik artışı ($v_{Yt} > v_{\Phi t}$), Y ülkesinin reel döviz kurunun yükselmesine neden olacaktır. Bu sebepten dolayı β_1 uzun dönem katsayısının pozitif ve anlamlı olması beklenmektedir (Ericsson ve Irandoust, 2004: 124-126).

2.2. Literatür Özeti

Bu araştırmada sunulan ampirik literatür özetinde genel olarak güncel çalışmalara yer verilmiştir. Daha ayrıntılı literatür incelemeleri için Bahmani-Oskooee ve Nasir (2005), Küçükaksoy ve Çifçi (2017) ve Vo ve Vo (2023) çalışmaları değerlendirilebilir.

Bahmani-Oskooee ve Nasir (2004) çalışmalarında *dağıtılmış gecikmeli otoregresif* (ARDL) model kullanarak 44 ülkede VYH'nin geçerliliğini araştırmışlardır. Yazarlar 1960-1990 dönemini değerlendirdikleri araştırmalarında 32 ülkede VYH'nin geçerli olduğunu bulurken arasında Meksika'nın da olduğu 12 ülkede bu hipotezin geçerli olmadığını göstermişlerdir. Türkiye ekonomisini ele aldığı çalışmasında Altunöz (2014), 1997-2012 dönemine ait çeyreklik verileri kullanarak VYH'nin geçerliliğini test etmiştir. Kırılmaları dikkate alan Gregory-Hansen eş-bütünleşme testini ve ARDL yaklaşımını kullanan yazar, uzun dönemde Türkiye'de VYH'nin geçersiz olduğu sonucuna ulaşmıştır. Anwar ve Ali (2015), 5 Güney Asya ekonomisini

inceledikleri çalışmalarında *vektör hata düzeltme modelini* (VECM) kullanarak 1950-2010 döneminde VYH'nin geçerliliğini test etmişlerdir. Yazarlar, VYH'nin seçilmiş olan 5 Güney Asya ekonomisinin sadece ikisinde (Bangladeş ve Nepal) geçerli olduğunu bulmuşlardır. Wang ve diğerleri (2016) çalışmalarında 20'si gelişmiş, 20'si de gelişmekte olan 40 ekonomide VYH'nin geçerliliğini yapısal kırılmaları da dikkate alan panel veri analizi yöntemleriyle incelemişlerdir. Araştırmacılar, örneklem dönemi olarak gelişmiş ülkeler için 1980-2014, gelişmekte olan ülkeler içinse 1985-2014 dönemini temel almışlardır. Araştırmacılar analizlerinin sonucunda, VYH'nin gelişmiş ülkeler panelinde geçerli olduğu fakat gelişmekte olan ülkelerde geçerli olmadığı bulgusuna ulaşmışlardır. Seçilmiş 8 orta gelirli Afrika ülkesini inceledikleri çalışmalarında Njindan Iyke ve Odhiambo (2017), farklı modeller üzerinden VYH'nin geçerliliğini sabit etkiler ve *genelleştirilmiş momentler yöntemi* (GMM) tahmincileriyle incelemişlerdir. Araştırmacılar, 1960-2009 döneminde VYH'nin bu ülkelerde geçerli olduğu sonucunu elde etmişlerdir.

Küçükaksoy ve Çifçi (2017), Türkiye'yi, 10 *Avrupa Birliği* (AB) ülkesini ve *Kuzey Amerika Serbest Ticaret Anlaşması* (NAFTA) ülkelerini inceledikleri araştırmalarında 1991-2013 dönemi için VYH'nin geçerliliğini test etmişlerdir. Yazarlar, panel *tam değiştirilmiş en küçük kareler* (FMOLS) ve *dinamik OLS* (DOLS) tahmincilerini kullanarak VYH'nin örneklem döneminde geçerli olduğunu teyit etmişlerdir. Bordo ve diğerleri (2017) çalışmalarında VYH'nin 14 ülkedeki geçerliliğini, 1880-1997 dönemi verilerini ve panel DOLS yöntemini kullanarak incelemişlerdir. Bu kapsamda yazarlar, örneklem dönemini dört alt döneme ayırarak VYH'nin geçerliliğini bu alt dönemler için de sorgulamışlardır. Yazarlar nispi verimliliğin uzun dönem etkisinin, değerlendirilen modele ve alt dönemlere bağlı olarak anlamlı farklılıklar gösterdiğini bulmuşlardır. 17 *Orta Doğu ve Kuzey Afrika* (MENA) ülkesini değerlendirdikleri araştırmalarında Halıcioğlu ve Ketenci (2018), ARDL metodu ile 1970-2015 döneminde VYH'nin geçerliliğini incelemişlerdir. Yazarların elde ettiği bulgular, VYH'nin sadece Bahreyn, Kuveyt ve Suudi Arabistan'da geçerli olduğunu fakat Mısır'ın da dahil olduğu diğer MENA ülkelerinde VYH'nin doğrulanmadığını göstermiştir. Imai (2018) Çin üzerine yaptığı araştırmada, 2005-2015 döneminde ülkenin reel döviz kurunda yaşanan değerlenmeyi ayrıştırarak Balassa-Samuelson etkisinin geçerliliğini incelemiştir. Yazar, reel döviz kurunda yaşanan değerlenmede Balassa-Samuelson etkisinin sınırlı olduğunu ve bu değerlenmede etkili olan asıl faktörün ticarete konu olan malların nispi reel fiyatındaki artış olduğunu bulmuştur.

Yükselen sanayi ekonomilerini inceledikleri çalışmalarında Altınar ve Bozkurt (2020), 27 ülkeye ve 1992-2019 dönemine ait verilerle VYH'nin geçerliliğini panel eş-bütünleşme testi ve *genişletilmiş ortalama grup* (AMG) tahmincisiyle incelemişlerdir. Yazarlar, seçilmiş ekonomilerin büyük bir bölümünde VYH'nin doğrulandığını tespit etmişlerdir. Gelecek-11 ülkelerinde VYH'nin geçerliliğini 1970-2017 dönemini temel alarak inceleyen Vural (2020), ARDL yöntemiyle elde ettiği bulgular neticesinde Endonezya, Türkiye ve Vietnam'da VYH'nin uzun dönemde geçerli olduğu sonucuna ulaşmıştır. VYH'nin Nijerya'daki geçerliliğini ARDL yöntemiyle test eden Dada ve diğerleri (2020), resmi döviz kurunun yanında kara borsa (paralel piyasa) döviz kurlarını da farklı bir modelde değerlendirmişlerdir. Bu kapsamda 1995-2018 dönemine ait çeyreklik verileri kullanan yazarlar, VYH'nin resmi döviz kuru için geçerli olmadığını fakat kara borsa döviz kurunun kullanıldığı modelde geçerli olduğunu bulmuşlardır. Yolcu Karadam ve Gedikoğlu (2021), 82 ülke üzerine yaptıkları çalışmada panel eş-bütünleşme testi ve DOLS tahmincisini kullanarak 1980-2017 dönemi için VYH'nin geçerliliğini sınamışlardır. Ülkeleri gelir gruplarına göre de panellere ayıran yazarlar, panelin tamamında ve yüksek ve orta gelir gruplarına ait panellerde VYH'nin geçerli olduğunu fakat alt gelir grubu panelinde bu hipotezin geçerli olmadığını tespit etmişlerdir. Yine Gedikoğlu ve Yolcu Karadam (2021) tarafından yapılan analizde 25 *Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü* (OECD) ekonomisi, 1990-2016 dönemi için ele alınmış ve farklı panel veri tahmincileri kullanılarak VYH'nin geçerliliği test edilmiştir. Yazarlar, farklı tahmincilerin VYH'nin geçerliliği hakkında çelişen bulgular sunduğunu göstermişlerdir.

Doğrusal ve doğrusal olmayan ARDL yöntemlerini kullanan Bahmani-Oskooee ve Nouira (2021), 68 ülkede VYH'nin geçerliliğini 1980-2017 dönemi için test etmişlerdir. Yazarlar, VYH'nin geçerli olduğu ülke sayısının kullandıkları modele ve yöntemle bağlı olarak değişiklik gösterdiğini bulmuşlardır. Seçilmiş 5 Afrika ülkesini ele alan Eita ve diğerleri (2021), 1991-2016 dönemi için VYH'yi FMOLS ve *havuzlanmış ortalama grup* (PMG) tahmincileriyle test etmişlerdir. Yazarlar, VYH'yi doğrulamışlardır. Türkiye'yi inceledikleri çalışmalarında Tepekule ve Ergen (2022), ARDL yöntemi yardımıyla VYH'nin geçerliliğini 1994-2020 dönemi verileriyle test etmişlerdir. Yazarların elde ettiği sonuç, VYH'nin uzun dönemde geçerli olduğunu göstermiştir. López-Marmolejo ve diğerleri (2023) Meksika üzerine yaptıkları incelemede 1993-2019 dönemine ait çeyreklik verileri kullanarak, petrol sektöründe yaşanan nispi verimlilik düşüşünün reel döviz kuruna etkisini araştırmışlardır. Bu çerçevede VECM, varyans ayrıştırmasını ve etki-tepki fonksiyonlarını kullanan yazarlar, petrol sektöründeki nispi verimlilik düşüşünün reel döviz kurunun değerini azalttığını bulmuşlar ve bu bulguyu da "*ters Balassa-Samuelson etkisi*" olarak adlandırmışlardır. Hindistan'ı ele aldıkları çalışmalarında Ghosh ve diğerleri (2023), 1995-2019 dönemini değerlendirerek VYH'yi test etmişlerdir. Farklı göstergeler kullanarak farklı modeller oluşturan yazarlar, bu modelleri tahmin etmek için PMG yöntemini kullanmışlar ve VYH'nin genel olarak geçerli olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Yukarıdaki literatür özeti değerlendirildiğinde, VYH'nin büyük yükselen piyasa ekonomilerindeki geçerliliğini test eden çalışmaların son derece sınırlı olduğu görülmektedir. Ayrıca önceki çalışmalarda VYH kapsamında ele alınan iki temel değişkenin (nispi verimlilik ve reel döviz kuru) eş-bütünleşme ilişkisi test edilirken, yapısal kırılmaların genellikle göz ardı edildiği söylenebilir. Bu çalışmanın ana amacı, seçilmiş büyük yükselen piyasa ekonomilerinde VYH'nin geçerliliğini güncel panel veri analiz yöntemleriyle test ederek, literatürde yer alan bu boşlukları doldurmaktır.

3. MODEL ve YÖNTEMLER

Bu bölümün birinci alt başlığında model ve kullanılan veri seti hakkında bilgi verilmiştir. Devamındaki alt bölümlerde çalışmada kullanılmış olan panel veri analiz yöntemleri özetlenmiştir.

3.1. Model ve Veri Seti

Bu çalışmada, seçilmiş 10 büyük yükselen piyasa ekonomisi değerlendirilmiştir. Bu ülkeler Brezilya, Çin, Mısır, Endonezya, Hindistan, Güney Kore, Meksika, Polonya, Türkiye ve Güney Afrika'dır. Ayrıca çalışmada, veri kısıtlılığından ötürü, 1991-2021 dönemi dikkate alınmış ve yıllık veriler kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan model, Bahmani-Oskooee ve Nasir (2004) araştırmasında kullanılan modelle aynıdır. Bu modelde reel döviz kuru bağımlı, nispi prodüktivite (verimlilik) de bağımsız değişkendir ve ekonometrik olarak şu şekilde ifade edilebilir:

$$LnRDK_{it} = \alpha_{it} + \beta_{it} LnNPRO_{it} + \varepsilon_{it} \quad (7)$$

Eşitlik 7'de kullanılan i ve t alt indisleri sırasıyla ülkeyi ve dönemi göstermektedir. Ln ifadesi değişkenlerin logaritmasının alındığını göstermektedir. RDK_i , i ülkesindeki reel döviz kurudur ve $(TÜFE/TÜFE_{ABD})/DK_i$ formülüyle hesaplanmıştır. Bu formülde $TÜFE$, tüketici fiyat endeksidir ve DK_i ise birim ABD doları başına i ülkesinin (yerli) para birimini gösteren resmi döviz kurudur. $NPRO$ ifadesi göreceli verimlilik ve PRO/PRO_{ABD} formülüyle hesaplanmıştır. Burada PRO değişkeni verimlilik ve istihdam edilmiş kişi başına düşen gayrisafi yurt içi hasıla (GSYİH, 2017 baz yılı SAGP doları cinsinden) ile gösterilmektedir. Kullanılan bu veriler, Dünya Bankası (2023) veri tabanından derlenmiştir. Değişkenlerin tanısal istatistikleri çalışmanın ek bölümünde sunulmuştur.

Ampirik literatürde bahsedildiği üzere VYH'nin geçerli olabilmesi için iki koşul gereklidir. Birinci koşula göre iki değişken uzun dönemde birlikte hareket etmelidir (eş-bütünleşik olmalıdır). İkinci koşula göre, nispi verimliliğin ($LnNPRO$) uzun dönem katsayısı (β) istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif olmalıdır. Bu koşulların geçerliliğinin sınanması için çalışmada kullanılmış olan panel zaman serisi yöntemleri sonraki alt bölümlerde özetlenmiştir.

3.2. Yatay Kesit Bağımlılığının Tespiti

Analizin ilk aşamasında örneklemdaki yatay kesitler arasındaki bağımlılık test edilecektir. Yatay kesit birimlerinin arasındaki bağımlılığın test edilmesi önemlidir çünkü kalıntılar arasındaki bağımlılığın varlığı, tahmincilerin etkinliğinin azalmasına, bazı durumlarda tahmincilerin tutarsız olmasına ve elde edilen test istatistiklerinin geçersiz olmasına sebep olabilmektedir (Baltagi ve diğerleri, 2012). Bu çalışmada iki farklı test üzerinden yatay kesit bağımlılığının (*cross-sectional dependency-CD*) varlığı tespit edilecektir. Bu testler, sırasıyla Pesaran (2021) ve Baltagi ve diğerleri (2012) tarafından geliştirilmiş olan Pesaran CD testi ve yanlılığı-düzeltilmiş ve ölçeklendirilmiş (*bias-corrected scaled*) Lagrange çarpanı (*Lagrange multiplier-LM*) testidir. Pesaran (2021)'a göre yatay kesit bağımsızlığını gösteren boş hipotez, farklı yatay kesit birimlerine ait kalıntılar arasında korelasyon olmaması üzerine kuruludur:

$$H_0: \rho_{ij} = kor(u_{it}u_{jt}) = 0 \quad i \neq j \text{ için} \quad (8)$$

Eşitlik 8'de yer alan ρ_{ij} , kalıntılar arasındaki korelasyon katsayılarıdır. Pesaran (2021), ikili korelasyon katsayılarının ($\hat{\rho}_{ij}$) ortalamasını kullanarak Pesaran CD test istatistiğini Eşitlik 9'daki gibi hesaplamaktadır:

$$CD_P = \sqrt{\frac{2}{N(N-1)}} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N T_{ij} \hat{\rho}_{ij} \Rightarrow N(0,1) \quad (9)$$

N ve T sırasıyla yatay kesit ve zaman boyutlarını ifade etmektedir. Alternatif olarak Baltagi ve diğerleri (2012), ölçeklendirilmiş LM test istatistiğinin yanlılığı-düzeltilmiş versiyonunu sunmuştur:

$$LM_{BC} = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)}} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N (T_{ij} \hat{\rho}_{ij}^2 - 1) - \frac{N}{2(T-1)} \Rightarrow N(0,1) \quad (10)$$

Eşitlik 9'da ve Eşitlik 10'da gösterilen test istatistiklerinin anlamlı olması, yatay kesitler arasında bağımlılık olduğuna işaret etmektedir. Bu durumda kullanılacak olan yöntemlerin, yatay kesit bağımlılığını dikkate alması gerekmektedir.

3.3. Panel Birim-kök Testi

Bu araştırmada kullanılan birim-kök testi Im ve diğerleri (2023) tarafından öne sürülmüş olan *yatay kesitsel genişletilmiş* IPS (CA-IPS) testidir. Bu test, Dickey ve Fuller (1979)'in genişletilmiş DF (ADF) testinin yatay kesitsel olarak geliştirilmiş hali olan panel CADF testine dayanmaktadır. Bu testin denklemi aşağıdadır:

$$\Delta Z_{it} = \tau_i + \eta_i t + \rho_i Z_{it-1} + \sum_{k=1}^p \theta_{ik} \Delta Z_{it-k} + \alpha_i \bar{Z}_{it-1} + \sum_{k=1}^p \beta_{ik} \Delta \bar{Z}_{it-k} + \varepsilon_{it} \quad (11)$$

Eşitlik 11'de yer alan Z , incelenen değişkendir. \bar{Z}_t ise Pesaran (2007) tarafından ortak etmeni temsilen denkleme eklenmiştir ve $\bar{Z}_t = \left(\frac{1}{N}\right) \sum_{s=1}^N Z_{st}$ ile hesaplanmaktadır. Her yatay kesit i için tipik ADF testindeki $H_0: \rho_i=0$ boş hipotezi sınanarak, τ_i^{CADF} ile gösterilen t-istatistikleri elde edilmektedir. Sonraki aşamada Im ve diğerleri (2023) bu test istatistiklerini havuzlayarak CA-IPS test istatistiğini $\tau^{CA-IPS} = \left(\frac{1}{N}\right) \sum_{i=1}^N \tau_i^{CADF}$ formülüyle hesaplamaktadır. Eğer hesaplanan test istatistiği anlamlıysa ilgili değişken durağandır.

3.4. Kesirli Frekanslı Esnek Fourier Yapılı Panel Eş-bütünleşme Testi

Bu çalışmada Olayeni ve diğerleri (2021) tarafından geliştirilmiş olan kesirli frekanslı esnek Fourier yapılı (*fractional frequency flexible Fourier form - FFFFF*) panel eş-bütünleşme testi kullanılmıştır. Bu test, yatay kesit bağımlılığını ve olası yapısal kırılmaları dikkate aldığı için tercih edilmiştir. Olayeni ve diğerleri (2021) çalışmasına göre, kırılmaların kukla değişkenler üzerinden modellenmesi yanlış belirginleştirmeye ve örnekleme kırpmayla birlikte serbestlik derecesi kaybına neden olabilmektedir. Bu kapsamda Olayeni ve diğerleri (2021) bilinmeyen sayıda ve formdaki kırılmaları, eş-bütünleşme testinin modelini Fourier fonksiyonuyla genişleterek dikkate almışlardır. İki değişkenli bir model üzerinden test denklemleri, Eşitlik 12 ve Eşitlik 13'teki gibi gösterilebilir:

$$Z_{it} = \alpha_{0,i} + \alpha_{1,i} W_{i,t} + v_{i,t} \quad (12)$$

$$v_{i,t} = \rho_{i,t} v_{i,t-1} + \varepsilon_{i,t} \quad (13)$$

Z ve W sırasıyla bağımlı ($LnRDK$) ve bağımsız ($LnNPRO$) değişkenlerdir. Ayrıca tahmin edilmiş kalıntılar $\hat{\theta}_{i,t} = \hat{v}_{i,t} - \hat{\rho}_i \hat{v}_{i,t-1}$ şeklindedir. Burada yer alan $\hat{v}_{i,t}$ ifadesi, $\hat{v}_{i,t}$ 'nin Fourier fonksiyonlarıyla genişletilmiş halidir:

$$\hat{v}_{i,t} = \hat{v}_{i,t} - \hat{\beta}_i - \hat{\psi}_i \sin\left(\frac{2k^{fr}\pi t}{T}\right) - \hat{\phi}_i \cos\left(\frac{2k^{fr}\pi t}{T}\right) \quad (14)$$

Eşitlik 14'te ψ ve ϕ tahmin edilecek Fourier fonksiyonu parametreleridir. Ayrıca T ve t sırasıyla örneklem büyüklüğünü ve trendi göstermektedir. Eşitlikteki k^{fr} ise kesirli Fourier frekansıdır. Kesirli Fourier frekansı, toplam kalıntı karelerini (*sum of squared residuals-SSR*) minimize eden değere göre $\hat{k}^{fr} = \arg \min_{k^{fr} \in [0,1,2]} SSR(k^{fr})$ argümanı ile hesaplanmaktadır. Kesirli Fourier frekansının tamsayı frekanslara göre daha avantajlı olduğu ileri sürülmektedir. Bu avantajlar şu şekilde sıralanabilir: Birincisi, kesirli frekansın olduğu bir veri üretme sürecinde tamsayı frekansların kullanılması küçük örneklem özelliklerinin beklenen performansı göstermemesine sebep olabilir. İkincisi, kesirli frekanslar tamsayı frekansları da kapsamaktadır (Olayeni ve diğerleri, 2021). Son olarak Fourier frekansının tamsayı şeklinde seçilmesi, kırılmaların geçici olduğu anlamına gelebilirken kesirli frekanslar *-Fourier fonksiyonu salınımını bütünüyle tamamlamadığı için-* kalıcı olan kırılmaları da kapsayabilmektedir (Christopoulos ve Leon-Ledesma, 2011). Eş-bütünleşmenin varlığı, "eş-bütünleşme yoktur" boş hipotezinin ($H_0: \hat{\rho}_i = 1$) reddedilmesiyle teyit edilecektir. Bu süreçte kullanılacak olan kritik değerler de yine Olayeni ve diğerleri (2021) tarafından ileri sürülmüş olan özçıkartım (*bootstrap*) simülasyonlarından elde edilmektedir.

3.5. Katsayı Tahmini: Genişletilmiş Ortalama Grup Tahmincisi

Ekonometrik analizin son aşamasında, katsayı tahmini için Eberhardt ve Teal (2010) tarafından geliştirilmiş olan genişletilmiş ortalama grup (*augmented mean group-AMG*) yöntemi kullanılacaktır. AMG yöntemi eş-bütünleşik denklemlerin tahmin edilmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca bu yöntem, yatay kesit bağımlılığını dikkate almakta ve hem panel hem de yatay kesitler için katsayı tahmin sonuçları üretebilmektedir. Böylece VYH'nin geçerliliği, oluşturulan panel ve bu panelde yer alan ülkeler için bireysel olarak da test edilebilecektir. AMG yöntemi iki basamaklı bir tahmin sürecinden oluşmaktadır. Bu basamaklar sırasıyla Eşitlik 15'te ve Eşitlik 16'da gösterilmiştir:

$$\Delta y_{it} = b' \Delta x_{it} + \sum_{t=2}^T c_t \Delta D_t + e_{it} \Rightarrow \hat{c}_t \equiv \hat{\mu}_t^* \quad (15)$$

$$y_{it} = a_i + b_i' x_{it} + c_i t + d_i \hat{\mu}_t^* + e_{it} \quad \text{ve} \quad \hat{b}_{AMG} = N^{-1} \sum_i \hat{b}_i \quad (16)$$

Birinci basamak olan Eşitlik 15, $T-1$ yıl için zaman kukla değişkenlerinin kullanıldığı, sıradan bir birinci fark en küçük kareler regresyonunu göstermektedir. Bu basamakta, yıl (zaman) kukla değişkenlerine ait ve $\hat{\mu}_t^*$ ile gösterilen katsayılar tahmin edilmektedir. Eşitlik 16'da gösterilen ikinci basamakta ise birinci basamaktan elde edilmiş olan bu katsayılar ($\hat{\mu}_t^*$) kullanılmakta ve sonuçta AMG tahmincileri elde edilmektedir (Eberhardt ve Teal, 2010).

4. AMPİRİK BULGULAR

Ekonometrik analizin ilk aşamasında, yatay kesit bağımlılığının varlığı test edilmiştir. Bu bağlamda uygulanan testlerin sonuçları Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Yatay kesit bağımlılığı test sonuçları

Testler	LnRDK	LnNPRO
Yanlılığı-düzeltilmiş ve ölçeklendirilmiş LM testi	17,3942 ⁺⁺⁺ (0,000)	89,5931 ⁺⁺⁺ (0,000)
Pesaran CD testi	7,6472 ⁺⁺⁺ (0,000)	3,2722 ⁺⁺⁺ (0,001)

Not: Parantez içerisindeki değerler p-değerleridir. ⁺⁺⁺ sembolü %1 düzeyinde anlamlılığı göstermektedir. LM: Lagrange çarpanı. CD: Yatay-kesit bağımlılığı.

Tablo 1'deki testlerin sonuçları incelendiğinde, sonuçların tamamının istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir. Testlerin sonuçlarına göre "*yatay kesit bağımlılığı yoktur*" boş hipotezi reddedilmiştir. Analizin sonraki aşamalarında uygulanacak olan yöntemlerin yatay kesit bağımlılığını dikkate alması gerekmektedir. Bu kapsamda yatay kesit bağımlılığını dikkate alan CA-IPS birim-kök (durağanlık) testinin sonuçları Tablo 2'de raporlanmıştır.

Tablo 2. CA-IPS durağanlık testi sonuçları

Değişkenler	Düzyey	Birinci fark
LnRDK	-2,6951	-5,0455 ⁺⁺⁺
LnNPRO	-2,3015	-3,5409 ⁺⁺⁺

Notlar: Düzyeyde, %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeyleri için kritik değerler sırasıyla 3.10, -2.86 ve -2.73'tür. Birinci farklarda, %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeyleri için kritik değerler sırasıyla -2.57, -2.33 ve -2.21'dir. ⁺⁺⁺ sembolü %1 düzeyinde anlamlılığı göstermektedir. CA: Yatay-kesitsel genişletilmiş (*cross-sectionally augmented*).

Tablo 2'de hem LnRDK (reel döviz kuru) hem de LnNPRO (nispi verimlilik) değişkenlerine ait birim-kök testlerinin istatistikleri, bu değişkenlerin birinci farkları alındığında istatistiksel olarak anlamlı hale gelmişlerdir. Bir başka ifadeyle modelde yer alan her iki değişkenin de birinci farklarında durağan oldukları bulunmuştur. Bu aşamada değişkenler arasındaki eş-bütünleşme ilişkisi test edilebilir. Bu çerçevede uygulanan Olayeni ve diğerleri (2021) eş-bütünleşme testinin sonuçları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3'te hem panele hem de paneli oluşturan ülkelere ait eş-bütünleşme testinin sonuçları gösterilmektedir. Tablonun alt kısmında yer alan panel test istatistikleri incelendiğinde, bu istatistiklerin tamamının anlamlı olduğu görülebilir. Ayrıca ülkelerin bireysel test istatistiklerinin tamamı, farklı düzeylerde de olsa, anlamlıdır. Bu bulgular hem panelde hem de paneli oluşturan 10 ülkenin tamamında reel döviz kuru ve nispi verimlilik arasında eş-bütünleşme ilişkisi olduğunu göstermektedir. Ek olarak, tablonun son sütununda bulunan frekans değerleri incelendiğinde, örneklemdeki ülkelerin optimum frekans değerlerinin tamsayı değil kesirli olduğu dikkat çekmektedir. Tablo 3'te sunulan bulgular, VYH'nin doğrulanmasında ilk koşulun (uzun dönemde birlikte hareket etme) sağlandığına işaret etmektedir. Analizin son aşamasında nispi verimliliğin reel döviz kurunu uzun dönemde nasıl etkilediği tahmin edilerek VYH'nin geçerli olması için gerekli olan ikinci koşulun sağlanıp sağlanmadığı incelenmelidir. Bu bağlamda Tablo 4'teki AMG tahmincisine ait sonuçlar ele alınarak bu koşulun geçerliliği değerlendirilebilir.

Tablo 3. Kesirli frekanslı esnek Fourier yapıllı (FFFFF) panel eş-bütünleşme testi sonuçları

Ülkeler	Bireysel test istatistikleri	Özçıkırım (bootstrap) kritik değerleri			k^r
		%1	%5	%10	
Brezilya	-4,205 ⁺⁺⁺	-4,153	-3,120	-2.709	1.5
Çin	-3,881 ⁺⁺	-4,357	-3,455	-3.078	1.7
Mısır	-3,976 ⁺⁺	-4,192	-3,417	-2.915	1.9
Hindistan	-3,296 ⁺	-4,677	-3,577	-3.064	1.5
Endonezya	-4,957 ⁺⁺⁺	-3,920	-3,099	-2.799	1.8
Güney Kore	-4,040 ⁺⁺	-4,211	-3,413	-2.985	1.4
Meksika	-3,727 ⁺⁺	-4,250	-3,583	-3.137	1.2
Polonya	-4,283 ⁺⁺	-4,368	-3,484	-3.124	1.7
Güney Afrika	-5,453 ⁺⁺⁺	-4,674	-3,589	-3.114	1.9
Türkiye	-5,323 ⁺⁺⁺	-4,133	-3,336	-3.005	1.4
	Panel test istatistikleri	Özçıkırım p-değerleri			
Ortalama	-4,314 ⁺⁺⁺	0,008			
Maksimum	-5,453 ⁺⁺⁺	0,001			
Ortanca (Medyan)	-4,205 ⁺⁺	0,011			

Not: Özçıkırım değerleri, 1000 simülasyondan (benzetimden) elde edilmiştir. k^r , optimum kesirli frekans değeridir. ⁺⁺⁺, ⁺⁺ ve ⁺ sembolleri sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeylerinde anlamlılığı göstermektedir.

Tablo 4. Genişletilmiş ortalama grup (AMG) tahmincisi sonuçları

Ülkeler	LnNPRO	Sabit terim
Brezilya	0,6128 (0,4941)	0,0655 (0,6208)
Çin	0,3257 ⁺⁺⁺ (0,0293)	-1,0462 ⁺⁺⁺ (0,0705)
Mısır	1,9893 ⁺⁺⁺ (0,4425)	0,7269 (0,5518)
Endonezya	1,1997 ⁺⁺⁺ (0,1901)	-6,8678 ⁺⁺⁺ (0,3574)
Hindistan	0,6975 ⁺⁺⁺ (0,0312)	-2,1723 ⁺⁺⁺ (0,0747)
Güney Kore	0,2842 ⁺⁺ (0,1409)	-6,6617 ⁺⁺⁺ (0,0936)
Meksika	-0,2496 (0,1912)	-2,6321 ⁺⁺⁺ (0,1658)
Polonya	1,2049 ⁺⁺⁺ (0,0824)	-0,1631 ⁺⁺ (0,0691)
Türkiye	0,8407 ⁺⁺⁺ (0,2297)	-0,0722 (0,1493)
Güney Afrika	1,3594 ⁺⁺⁺ (0,3238)	-0,7387 ⁺⁺ (0,2889)
Panel	0,8265 ⁺⁺⁺ (0,2023)	-1,9562 ⁺⁺ (0,8636)

Not: ⁺⁺⁺ ve ⁺⁺ sembolleri sırasıyla %1 ve %5 düzeylerinde anlamlılığı göstermektedir. Parantez içerisindeki ifadeler standart hatalardır.

Tablo 4'teki uzun dönem sonuçları incelendiğinde panele ait nispi verimlilik katsayısının pozitif ve anlamlı olduğu bulunmuştur. Bu bulgu, VYH'nin oluşturulan panelde geçerli olduğunu göstermektedir. Ülkelerin bireysel sonuçları incelendiğinde, seçilmiş on ülkenin sekizinde (Çin, Mısır, Endonezya, Hindistan, G. Kore, Polonya, Türkiye ve G. Afrika) nispi verimlilikte yaşanan artışlar, reel döviz kurlarını istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde artırmıştır. Bir başka deyişle 1991-2021 döneminde bu ülkelerin nispi verimliliklerindeki artışlar, uzun dönemde, bu ülkelerin reel döviz kurlarını değerlendirmiştir. Bu bulgu, sekiz ülkede VYH'nin geçerli olduğunu göstermektedir. Türkiye'de VYH'nin geçerli olduğu sonucu Altunöz (2014) çalışmasındaki bulguyla çelişmekteyken Tepekule ve Ergen (2022) araştırmasındaki sonucu

doğrulanmaktadır. Bunun yanında Hindistan'da VYH'nin geçerli olduğu bulgusu, Ghosh ve diğerleri (2023) çalışmasındaki sonuçlarla örtüşmektedir. Son olarak Çin'de VYH'nin doğrulanmış olması, kısmen de olsa, Imai (2018) araştırmasının bulgularını teyit etmektedir.

Tablo 4'teki sonuçlara göre VYH'nin geçerli olmadığı iki ülke vardır: Brezilya ve Meksika. Brezilya'da nispi verimliliğin katsayısı her ne kadar pozitif olsa da istatistiksel olarak anlamlı değildir. Meksika'nın katsayısı ise negatif ve anlamsızdır. Meksika'da VYH'nin geçerli olmadığı sonucu Bahmani-Oskooee ve Nasir (2004), Altınar ve Bozkurt (2020) ve Vural (2020) araştırmalarındaki bulgularla örtüşmektedir. Özetle bu bölümdeki bulgular, VYH'nin oluşturulmuş panelde ve on büyük yükselen piyasa ekonomisinin sekizinde geçerli olduğunu göstermektedir. Ayrıca 1991-2021 döneminde VYH'nin geçerliliği, Brezilya ve Meksika için teyit edilememiştir.

5. SONUÇ ve TARTIŞMA

Döviz kuru ile SAGP arasındaki uzun dönemli denge ilişkisi, iktisat biliminin popüleritesini koruyan köklü konularından biridir. VYH olarak adlandırılan yaklaşıma göre, döviz kuru ile SAGP arasındaki bu denge ilişkisinde sapmalar yaşanabilmekte ve bu sapmaların temel sebebi olaraksa ülkelerin nispi verimliliklerinde yaşanan değişimler gösterilmektedir. Bir başka ifadeyle VYH'ye göre, ülkelerin nispi verimliliklerinde yaşanan artışlarla birlikte uzun dönemde bu ülkelerin reel döviz kurlarının da değerlendirilmesi beklenmektedir. Bu araştırmada, VYH'nin seçilmiş 10 büyük yükselen piyasa ekonomilerindeki geçerliliği 1991-2021 dönemi için test edilmiştir. Bu kapsamda yatay kesit bağımlılığını dikkate alan panel veri analiz yöntemleri ve yapısal kırılmaları, kesirli frekanslı Fourier yapıları fonksiyonlarla dikkate alan panel eş-bütünleşme testi kullanılmıştır. Analiz sonucunda elde edilen bulgular şunlardır: Hem panel hem de bireysel test istatistikleri, nispi verimlilik ve reel döviz kuru arasında eş-bütünleşme ilişkisi olduğunu göstermektedir. Ayrıca oluşturulan panelde ve seçilmiş 10 ülkenin 8'inde VYH'nin uzun dönemde geçerli olduğu teyit edilmiştir. Son olarak iki ülkede (Brezilya ve Meksika'da) VYH'nin geçersiz olduğu bulunmuştur. Bu bulgular çerçevesinde çeşitli politika çıkarımları yapılabilir.

Öncelikle panelde ve panelde bulunan 8 ülkede nispi verimlilikte yaşanacak artışların reel döviz kurunu değerlendirdiği göz önünde bulundurulursa verimliliğin, döviz kuru politikalarında dikkate alınması gereken bir değişken olduğu savunulabilir. Bu bağlamda para birimlerinin reel değerini ve itibarını artırmak isteyen politika yapımcılarının, verimliliği tetikleyici politikaları takip etmesinin etkili olacağı öne sürülebilir. Eichler ve diğerleri (2006) araştırmalarında verimlilik artışının başta gelen belirleyicileri arasında inovasyonun (Ar-Ge harcamalarının), eğitim düzeyinin, küresel trendlerin ve kıtalar arası ulaşım kolaylığının bulunduğunu gözlemlemişlerdir. Bu bulgular çerçevesinde nispi verimliliklerini iyileştirmek isteyen ülkelerin inovasyonu, beşerî sermayeyi, bölgeler ve ülkeler arası ulaşımı kolaylaştıracak altyapı yatırımlarını ve diğer ülkelerle ticari ilişkilerini artırmaları gerektiği söylenebilir. Böylece nispi verimlilik uzun dönemde iyileştirilerek bu etkinin reel döviz kurlarına olumlu yansımaları sağlanabilir.

Araştırmanın örnekleminde bulunan Brezilya ve Meksika ülkelerinde VYH'nin geçerli olmadığı bulunmuştur. Başka bir deyişle bu ülkelerdeki görece fiyat düzeyleriyle döviz kurları arasında yaşanmış olan uzun dönemli dengesizlikler, nispi verimlilik dışındaki faktörlerden kaynaklanmış olabilir. Meksika'da 1990'ların başından itibaren tecrübe edilen farklı döviz kuru rejimleri ve yine bu yıllarda yaşanmış olan spekülasyon ataklarının etkileri VYH'nin bu ülkede geçersiz olmasının sebepleri arasında sayılabilir (Bank of Mexico, 2009; Whitt, 1996). Ek olarak Brezilya'da uygulanmış sermaye kontrolleri (Chamon ve Garcia, 2016), bu ülkede VYH'nin geçersiz olmasının nedenlerinden olabilir.

Bu araştırmanın birinci kısıtı, kullanılan panel eş-bütünleşme testinin sadece iki değişkenli modellere uygulanabilmesidir. İleride yapılacak araştırmalarda, nispi verimliliğin yanı sıra, reel döviz kurunu etkileyebilecek farklı değişkenler (net dış varlıklar, dış ticaret hadleri ve kamu harcamaları gibi) ele alınarak çok değişkenli modeller üzerinden de VYH'nin geçerliliği test edilebilir. Bu araştırmanın bir diğer sınırlılığı da sektörel temelli bir analiz içermemesidir. Araştırmada ele alınan döneme ve ülkelere ait sektörel verilerin olmaması sebebiyle sektörel nispi verimliliklerin reel döviz kuruna olan etkileri incelenememiştir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda ticarete konu olan sektörlerin nispi verimlilikleri değerlendirilerek hangi sektörlerde VYH'nin geçerli olduğu karşılaştırmalı bir biçimde araştırılabilir.

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

- Altınar, A. ve Bozkurt, E. (2020). "Yükselen Sanayi Ekonomilerinde Balassa-Samuelson Hipotezi: Panel Veri Analizi" *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi (ASEAD)*, 7(12), 17-31.
- Altunöz, U. (2014). "Balassa Samuelson Hipotezi: Türkiye Ekonomisi İçin Sınır Testi Yaklaşımı", *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 4(1), 107-122.
- Anwar, S. ve Ali, S.Z. (2015). "Productivity Bias Hypothesis: Evidence from South Asia", *Applied Economics Letters*, 22(17), 1-6, DOI: 10.1080/13504851.2015.1034832.
- Bahmani-Oskooee, M. ve Nasir, A. (2005). "Productivity Bias Hypothesis and The Purchasing Power Parity: A Review Article", *Journal of Economic Surveys*, 19(4), 671-696, DOI: 10.1111/j.0950-0804.2005.00261.x.
- Bahmani-Oskooee, M. ve Nasir, A.B.M. (2004). "ARDL Approach to Test the Productivity Bias Hypothesis", *Review of Development Economics*, 8(3), 483-488, DOI: 10.1111/j.1467-9361.2004.00247.x.
- Bahmani-Oskooee, M. ve Nourira, R. (2021). "The Nonlinear ARDL Approach and Productivity Bias Hypothesis: Evidence from 68 Countries", *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 80, 80-89, DOI: 10.1016/j.qref.2021.02.001
- Balassa, B. (1964). "The Purchasing-Power Parity Doctrine: A Reappraisal", *Journal of Political Economy*, 72(6), 584-596.
- Baltagi, B.H., Feng, Q. ve Kao, C. (2012). "A Lagrange Multiplier Test for Cross-Sectional Dependence in a Fixed Effects Panel Data Model", *Journal of Econometrics*, 170(1), 164-177, DOI: 10.1016/j.jeconom.2012.04.004.
- Bank of Mexico. (2009). "Exchange Rate Regimes in Mexico Since 1954", *Bank of Mexico*, 1-13.
- Bordo, M.D., Choudhri, E.U., Fazio, G. ve MacDonald, R. (2017). "The Real Exchange Rate in the Long Run: Balassa-Samuelson Effects Reconsidered", *Journal of International Money and Finance*, 75, 69-92, DOI: 10.1016/j.jimonfin.2017.03.011.
- Cassel, G. (1918). "Abnormal Deviations in International Exchanges", *The Economic Journal*, 28(112), 413-415. DOI: 10.2307/2223329.
- Chamon, M. ve Garcia, M. (2016). "Capital Controls in Brazil: Effective?", *Journal of International Money and Finance*, 61, 163-187, DOI: 10.1016/j.jimonfin.2015.08.008.
- Christopoulos, D.K. ve Leon-Ledesma, M.A. (2011). "International Output Convergence, Breaks, and Asymmetric Adjustment", *Studies in Nonlinear Dynamics & Econometrics*, 15(3), 1-31, DOI: 10.2202/1558-3708.1823.
- Dada, J.T., Olomola, P.A. ve Ajide, F.M. (2020). "Productivity Bias Hypothesis: New Evidence from Parallel Market Exchange Rate", *Economics*, 8(1), 31-40, DOI: 10.2478/eoik-2020-0003.
- Dickey, D. A. ve Fuller, W.A. (1979). "Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series With a Unit Root", *Journal of the American Statistical Association*, 74(366), 427-431, DOI: 10.2307/2286348
- Dünya Bankası. (2023). "Veri Tabanı", <https://data.worldbank.org/indicator> (Erişim Tarihi: 24.03.2023).
- Eberhardt, M. ve Teal, F. (2010). "Productivity Analysis in Global Manufacturing Production. *Department of Economics Discussion Paper Series*", *Department of Economics, University of Oxford*, Number: 515.
- Eichler, M., Grass, M., Blöchliger, H. ve Ott, H. (2006). "Determinants of Productivity Growth", *BAK Report*, 1.
- Eita, J.H., Khumalo, Z.Z. ve Choga, I. (2021). "Productivity and Real Exchange Rate: Investigating the Balassa-Samuelson Effect and Misalignment in Five African Countries", *Scientific Annals of Economics and Business*, 68(2), 177-194, DOI: 10.47743/saeb-2021-0011.
- Ericsson, J. ve Irandoust, M. (2004). "The Productivity-Bias Hypothesis and the PPP Theorem: New Evidence from Panel Vector Autoregressive Models", *Japan and the World Economy*, 16(2), 121-138, DOI: 10.1016/S0922-1425(03)00015-X.
- Garten, J.E. (1997). "The Big Ten: The Big Emerging Markets and How They will Change Our Lives", <https://archive.nytimes.com/www.nytimes.com/books/first/g/garten-ten.html?scp=17&sq=korea%2520greece&st=cse>, (Erişim Tarihi: 24.03.2023).
- Gedikoğlu, B. ve Yolcu Karadam, D. (2021). "OECD Ülkelerinde Reel Döviz Kuru Hareketlerinin Açıklanmasında Balassa-Samuelson Etkisi", *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 44, 73-90. DOI: 10.30794/pausbed.873742.
- Ghosh, S., Nath, S. ve Srivastava, S. (2023). "Productivity and Real Exchange Rates for India: Does Balassa-Samuelson Effect Explain?", *Indian Growth and Development Review*, 16(1), 41-73. <https://doi.org/10.1108/IGDR-11-2022-0130>.
- Halıcıoğlu, F. ve Ketenci, N. (2018). "Testing the Productivity Bias Hypothesis in Middle East Countries", *Journal of Economic Studies*, 45(5), 922-931, DOI: 10.1108/JES-04-2017-0104.

- Im, K.S., Pesaran, M.H. ve Shin, Y. (2023). "Reprint of: Testing for Unit Roots in Heterogeneous Panels", *Journal of Econometrics*, 234, 56-69, DOI: 10.1016/j.jeconom.2023.03.002.
- Imai, H. (2018). "China's Rapid Growth ve Real Exchange Rate Appreciation: Measuring the Balassa-Samuelson Effect", *Journal of Asian Economics*, 54, 39-52, DOI: 10.1016/j.asieco.2017.12.002.
- Küçükaksoy, İ. ve Çifçi, İ. (2017). "Balassa-Samuelson Hipotezi: Türkiye ve Dış Ticaret Ortakları Uygulaması", *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 32(1), 57-94, DOI: 10.24988/deuibf.2017321547.
- López-Marmolejo, A., Ventosa-Santaulària, D. ve Diaz Muro, G.S. (2023). "Inverse Balassa-Samuelson Effect in Mexico: The Role of the Oil Sector", *Empirical Economics*, 65, 2273-2300, DOI: 10.1007/s00181-023-02427-5.
- Njindan Iyke, B. ve Odhiambo, N.M. (2017). "An Empirical Test of the Balassa-Samuelson Hypothesis: Evidence from Eight Middle-Income Countries in Africa", *Economic Systems*, 41(2), 297-304. DOI: 10.1016/j.ecosys.2016.10.001
- Officer, L.H. (1976a). "The Productivity Bias in Purchasing Power Parity: An Econometric Investigation", *Staff Papers-International Monetary Fund*, 23(3), 545-579, DOI: 10.2307/3866641.
- Officer, L.H. (1976b). "The Purchasing-Power-Parity Theory of Exchange Rates: A Review Article", *Staff Papers-International Monetary Fund*, 23(1), 1-60, DOI: 10.2307/3866665.
- Olayeni, R.O., Tiwari, A.K. ve Wohar, M.E. (2021). "Fractional Frequency Flexible Fourier Form (FFFFF) for Panel Cointegration Test", *Applied Economics Letters*, 28(6), 482-486, DOI:10.1080/13504851.2020.1761526.
- 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, DOI:10.1002/jae.951.
- Pesaran, M.H. (2021). "General Diagnostic Tests for Cross-Sectional Dependence in Panels", *Empirical Economics*, 60(1), 13-50, DOI:10.1007/s00181-020-01875-7.
- Samuelson, P.A. (1964). "Theoretical Notes on Trade Problems", *The Review of Economics and Statistics*, 46(2), 145-154.
- Tepekule, U. ve Ergen, E. (2022). "Verimlilik Artışı ve Kamu Harcamaları Arasındaki İlişkinin Balassa Samuelson Hipotezi Çerçevesinde Değerlendirilmesi", *Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 20(4), 187-200. DOI: 10.18026/cbayarsos.1099594
- Vo, H.L. ve Vo, D.H. (2023). "The Purchasing Power Parity and Exchange-Rate Economics Half a Century on", *Journal of Economic Surveys*, 37(2), 446-479, DOI: 10.1111/joes.12504.
- Vural, G. (2020). "Verimlilik Yanlılığı Hipotezinin Gelecek 11 Ülkesi İçin İncelenmesi", *Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 20 (40), 165-173.
- Wang, W., Xue, J. ve Du, C. (2016). "The Balassa-Samuelson Hypothesis in the Developed and Developing Countries Revisited", *Economics Letters*, 146, 33-38, DOI: 10.1016/j.econlet.2016.07.020.
- Whitt, A.J.J. (1996). "The Mexican Peso Crisis", *Federal Reserve Bank of Atlanta-Economic Review*, 81(1), 1-20.
- Yolcu Karadam, D. ve Gedikoğlu, B. (2021). "Balassa-Samuelson Hipotezi: Farklı Gelir Grupları Üzerine Bir Panel Veri Analizi", *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 30, 89-106, DOI: 0.18092/ulikidince.771888.

EK

Tablo A1. Betimsel istatistikler

	<i>RDK</i>	<i>NPRO</i>
Ortalama	0,1675	0,3291
Ortanca	0,1221	0,3308
Maksimum	0,6746	0,6975
Minimum	4,71E-05	0,0333
Std. Sapma	0,1697	0,1651
Çarpıklık	1,1007	-0,0487
Basıklık	3,3435	1,9551

Performance Evaluation in Railway Transport: The Case of Europe and Türkiye

Ramazan YILDIZ¹

ABSTRACT

Purpose: The purpose of the current study is to investigate the efficiency of ten European countries and Türkiye according to their GNP ratios in railway transportation. The study also aims to identify significant productivity differences between countries and determine which countries are most affected by the 2020 COVID-19 outbreak in terms of rail transport.

Methodology: Since it is performance research, secondary data was used. Data from the years 2011 to 2020 were utilized for the study. Data Envelopment Analysis (DEA)-Malmquist Index method was employed to reveal the efficiency changes over the years. The analysis of the data was conducted using the DEA-based Windows Analysis Program (DEAP).

Findings: According to the total factor productivity change rates in the Malmquist Index; while there is a 1% increase in productivity in Lithuania, 0.3% in Romania and 0.2% in the UK, a slight decrease is observed in the productivity of other countries. The decreases in the productivity of the countries are mostly experienced during the COVID-19 epidemic period in 2011-2020.

Originality: In the current literature, studies on railway performance have been made using historical data from four countries in the European Union. However, in recent years, there is a lack of productivity studies focusing on input and output variables according to the GNP ratio of European countries. Therefore, it is thought that this study will make an important contribution to the existing literature.

Keywords: International Logistics, Rail Performance, Malmquist Productivity Index, Supply Chain Management, Data Envelopment Analysis.

JEL Codes: L90, L91, L92.

Demiryolu Taşımacılığında Performans Değerlendirmesi: Avrupa ve Türkiye Örneği

ÖZET

Amaç: Bu çalışmanın amacı, GNP oranına göre belirlenmiş 10 Avrupa ülkesi ile Türkiye'nin demiryolu taşımacılığındaki etkinliklerini araştırmaktır. Bunun yanında ülkeler arasında önemli etkinlik farklılıklarını ortaya koymaktır. Ayrıca, 2020 yılı COVID-19 salgınından hangi ülkelerin demiryolu taşımacılığında daha fazla etkilendiğini ortaya çıkarmaktır.

Yöntem: Performans araştırması olduğu için ikincil verilerden yararlanılmıştır. Araştırma için 2011 ve 2020 yılları arasındaki veriler kullanılmıştır. Yıllara bağlı etkinlik değişimlerini ortaya çıkarmak için, Veri Zarflama Analizi (DEA)- Malmquist Index yöntemi kullanılmıştır. Verilerin analizi için DEA tabanlı Windows Analysis Programı (DEAP)'nden yararlanılmıştır.

Bulgular: Malmquist Index değerlerindeki toplam faktör verimlilik değişimi değerine göre, Litvanya'da %1, Romanya'da %0,3 ve İngiltere'de %0,2 oranlarında üretkenlik artışının olduğu anlaşılırken diğer ülkelerde bir miktar gerileme görülmektedir. Ülkelerdeki gerilemelerin en fazla 2011-2020 yıllarındaki COVID -19 salgını zamanında yaşandığı söylenebilmektedir.

Özgünlük: Literatürde demiryolu performansı ile ilgili Avrupa Birliği'ndeki 4 ülkeye yönelik geçmiş yıllardaki verilerin kullanıldığı çalışma bulunmaktadır. Fakat, GNP oranına bağlı Avrupa ülkelerinin son yıllara ait girdi ve çıktı değişkenlerine yönelik verimlilik çalışmasına rastlanmamıştır. Bu açıdan çalışma literatüre katkı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Uluslararası Lojistik, Demiryolu Performansı, Malmquist Verimlilik Endeksi, Tedarik Zinciri Yönetimi, Veri Zarflama Analizi.

JEL Kodları: L90, L91, L92.

¹ Lecturer Dr., Çanakkale Onsekiz Mart University, Yenice Vocational School, Department of Management and Organization, ramazanyildiz@comu.edu.tr, ORCID: 0000-0001-8437-8171.

DOI: 10.51551/verimlilik.1232150

Research Article | Submitted Date: 10.01.2023 | Accepted Date: 10.09.2023

Cite: Yıldız, R. (2023). "Performance Evaluation in Railway Transport: The Case of Europe and Türkiye", *Verimlilik Dergisi*, 57(4), 609-622.

1. INTRODUCTION

Given the costly of resources used in railway operations and the involvement of multiple personnel in the shipping process, operational efficiency becomes a critical concern for businesses. The measurement of railway operations' is crucial, as it aids in identifying factors leading to decreased efficiency and enables the implementation of necessary measures to enhance it. In addition, the calculation of railway transport (RT) efficiency enables to reveal idle capacity rates and to take appropriate actions to optimize this capacity. Unused capacity could potentially escalate enterprise costs, including factors such as depreciation and labor expenses (Yu and Lin, 2008). Efficient and effective RT significantly contributes to the enhanced economic productivity of enterprises, thereby increasing their chances of survival in a fiercely competitive environment (Sharma et al., 2016).

According to the European Union Commission Report (EUCR,2021), RT stands out as an environmentally friendly mode of transport, holding a significant place in the future objectives of the European Union. In particular, the fact that 81% of the trains operating in the European Union (EU) run on electricity is one of the important steps to mitigate climate change. The potential of cross-border rail transport remains largely untapped, accounting for only 10% of cross-border passenger transportation. However, with the projected expansion of high-speed train infrastructure by 2030, this rate is anticipated to double or even triple. For the advancement of rail freight and passenger transport within the EU, over 400 projects have been supported with a contribution of 16.5 billion Euros between 2014 and 2020. These initiatives have spurred the acceleration of digitalization and electrification within RT systems. Nevertheless, the years 2020-2021 saw a substantial impact on RT due to the COVID-19 outbreak (EUCR, 2021).

RT is considered one of the essential modes of transportation, exerting both economic and social impacts on countries. When compared to other forms of transportation such as air, road, sea, and waterway transportation, railway transportation presents both advantages and disadvantages. Among the notable benefits of RT are its cost-effectiveness in comparison to road and air transport, its capacity to carry substantial amounts of cargo, and its resilience to adverse weather conditions. However, it is some of its drawbacks, including lower transportation speeds, higher infrastructure expenses, and its limitation to areas with established railway networks. Furthermore, railway transport can be integrated with other modes of transportation through concepts like combined, intermodal, and multimodal transportation. This ability to collaborate with other transportation modes confers a significant advantage to the overall transportation system. Additionally, railways play a pivotal role in facilitating the movement of cargo to and from ports, aiding in the loading and unloading of ships (Sevinç, 2022:19-20).

According to data from the World Bank Open Source, the volume of goods transported by railways in certain European Union countries (measured in million tons-km) tended to decrease between 1995 and 2019. Despite a notable decline in rail freight transport across the European Union during the 2009 economic crisis, the years from 1995 to 2019 witnessed an overall upward trajectory (WBDO, 2022).

RT companies have tended to reduce their costs and increase their profitability in an intensely competitive environment. To reduce their costs, they need to use the resources they have (machinery, equipment, raw materials, materials, equipment, personnel, etc.) effectively and efficiently. When resources cannot be used efficiently and effectively, idle capacity arises depreciation costs increase, and production costs per product increase. Therefore, businesses measure their activities and observe how efficient they are, and take necessary precautions regarding inefficient areas.

Within the existing body of literature, numerous national and international studies delve into the efficiency of railway transportation. Among the pioneering research in measuring the efficiency of RT, Doomernik (2015) investigated the performance and efficiency of high-speed rail systems across four Asian and four European countries. The study unveiled notable disparities between Asian and European nations, concluding that the productivity improvements in rural European countries exceeded those in Asian counterparts. Kutlar et al. (2015) embarked on efficiency analyses for 31 prominent global railway enterprises. Utilizing the Malmquist productivity index, their analysis revealed certain enterprises witnessing a three per thousand increase in total vector productivity. Sharma et al. (2016) conducted a comparative analysis of service performance across 16 regions in rail transport within India. Inputs, encompassed employee expenses, employee count, and rail length, while outputs encompassed punctuality, passenger traffic mileage, accident statistics, and public complaints. The study successfully identified both productive and inefficient regions. Cowie (2018) employed the Malmquist efficiency index to assess the efficiency of privatized railways in the UK. The research incorporated labor force, wagon count, and line length as input variables, while passenger numbers were utilized as output variables. The findings highlighted a diminishing trend in productivity increases over time. Bhatia and Sharma (2021) undertook an evaluation of the efficiency of railway zones within India. Rail vehicle and equipment expenditures constituted expenses, whereas cargo volume and passenger counts were regarded as output factors. While certain

regions exhibited a decline in productivity, the study noted an uptick in productivity for other regions. Academic studies on the efficiency of rail transport mainly cover a particular country. However, there is no academic study covering most of the European countries and Türkiye. In order to fill this gap in the literature, the railway efficiency of 10 European countries and Türkiye has been calculated. Also, the input and output parameter sequences used in productivity measurement are different from other academic studies. In addition, the data used in the research includes the values in recent years. For these reasons, this study is of original value.

Since the investments in the railway are increasing and diversifying day by day among the countries, the works in the past will not reflect the present. Additionally, with the developing technology, the diversification and renewal of the vehicles and equipment used in the railway can also change the efficiency rates. In the literature, there are studies on railway efficiency for 4 countries in the European Union. However, there was no productivity study based on the input and output variables of the European countries with the highest GNP ratio in recent years. Therefore, in this study, the railway efficiency of 10 European countries and Türkiye, determined according to the GNP ratio, is calculated between the years 2011-2020. The annual productivity change rates of each country are determined in the calculation. In addition, which countries were affected at the time of the COVID-19 outbreak were highlighted.

In the second part of the study, there is a literature study on the efficiency of railway transportation. In the third part, the data set used in the research, Malmquist productivity index and research method are mentioned. In the fourth chapter, the findings of the research are given. In the last part, there is the conclusion and evaluation part of the research.

2. LITERATURE REVIEW

Due to the high infrastructure and superstructure costs and operating costs used in railway transportation, it is important to measure efficiencies and reveal idle capacity. Although DEA is widely used in the literature on the efficiency of rail transport, many regulations such as Frontier Function are used.

The choice of input and output variables used in research conducted with the DEA method is left to the researchers. Therefore, DEA input and output variables need to be determined very well (Akdamar and Eren, 2021). The information on the input and output variables most used in the productivity measurements on railway transportation in the literature is given in Table 1. The purpose of the research, the country where it was conducted, and the analysis methods used are also given.

In Table 1, the author(s) who conducted the research, the research's purpose, the country where the research was conducted, input and output variables, as well as the research methods, are mentioned. As seen in the table, efficiency studies have been carried out in many parts of the world. In these studies, the Malmquist Index method was mainly used. Many input variables (e.g., railway length, personnel numbers, cost, etc.) and output variables (e.g., passenger-km, tonne-km, etc.) were used for the analysis. In the field of railway efficiency research, most studies have focused on specific regions or a limited number of countries. Surprisingly, no studies have been found that examine the railway efficiencies of Turkey and ten European countries with high GNP ratios. This study was conducted to address this notable gap in the existing literature. What further distinguishes this study from others is the variation in input and output variables, as well as the inclusion of historical data for these variables.

Table 1. Studies on the efficiency of rail transport in the literature

<i>Study</i>	<i>Purpose</i>	<i>Country</i>	<i>Methods</i>	<i>Input Variables</i>	<i>Output Variables</i>
Estache et al. (2007)	To determine the efficiency of rail freight transport	Brazil	Malmquist Index	Staff, energy	Ton-km
Shi et al. (2010)	Productivity and technical efficiency of 1st class railways	America	Malmquist Index	Personnel, locomotives, wagons, fuel consumption, line length, materials used	Income-ton/km
Guzmán and Montoya (2011)	The efficiency of Spanish railways	Spain	Malmquist Index	Locomotive traction, passenger seats, load capacity, mileage	Income
Li and Hu (2011)	Investigation of production, consumption, and earnings efficiency of railway enterprises	China	Malmquist Index	Number of personnel, length of the railway, fixed costs, number of locomotives, measurement, and number of passenger trains	Passenger-length of train/km, freight-outputs, capital produced, locomotive-km
Perçin and Çakır (2012)	TCDD efficiency measurement	Türkiye	DEA	Passenger and cargo capacity, personnel	Passenger-km, Netton-km
Kazancıoğlu (2012)	To investigate the situation of Türkiye in railway transportation according to EU countries.	Türkiye	Malmquist Index	Railway length, number of passengers, passenger-km, Subsidy	Travel frequency and operating expenses
Sarıkaya et al. (2012)	Regional performances of rail transport	Türkiye	Malmquist Index	Number of personnel, electrical main line length, non-powered main line length, and annual total locomotive operating hours	Passenger-km, Ton-km
Kutlar et al. (2013)	Identifying passenger and freight transport activities worldwide	World	DEA	Cost, Personnel, mainline length, freight wagon, number of vehicles	Revenue, number of passengers, passenger-km, cargo amount, ton-km
Erturan and Uysal (2013)	Efficiency analysis of railways in Türkiye	Türkiye	Network DEA	Number of personnel, line length, number of passenger and freight wagons, GDP per capita, population density	Passenger-km, ton-km
Sharma et al. (2015)	Evaluate rail service performance	India	Malmquist Index	Personnel expenses, number of personnel, distance km	Revenue, equal passenger-km, complaints
Doomernik (2015)	Determination of production and service efficiency of high-speed railways.	4 countries from the Asian and European continents	Malmquist Index	Expenses (Personnel, operation, maintenance, repair, traffic, fuel)	Passenger-km, Net ton-km
Cowie (2018)	Assessing long-term efficiency in the rail industry.	England	Malmquist Index	Staff, tow cars, line length	Train-km
Bayat and Özdemir (2019)	To determine the effectiveness of regions in rail transport	Türkiye	DEA	Road-railway lengths, number of ships calling at ports, number of aircraft operating in the landing and departure, logistics sector GDP, and number of vehicles	Turnover of enterprises
Bhatia and Sharma (2021)	To achieve efficient performance and cost savings in different railway zones.	India	Malmquist Index	Operating and working expenses	Passenger-km and Net ton-km

3. DATA SET and METHOD

This section encompasses the research's datasets along with reports detailing descriptive statistics for these data. Furthermore, correlation analyses were conducted to assess the relationships between the datasets, thus ascertaining their suitability for subsequent analyses. Alongside the literature concerning the Malmquist method, which serves as the analytical framework, the formulas integral to this method have been explicated.

3.1. Data Set

European countries have been investing in many areas and allocating great resources to this area to further develop railway transportation from past to present. Therefore, a study has been carried out to determine the variability of European countries in railway transportation depending on the years. The population of the research consists of European Countries. Since the data of Spain, Netherlands, and Switzerland among the top 10 countries according to the GNP ratio were not available, other European countries were preferred. Thus, Austria, Czech, France, Germany, Italy Lithuania, Poland Romania, Sweden, United Kingdom, and Türkiye were preferred. The data of the research were compiled from Eurostat Database (E.D. 2022), Statista Statistics (S.S. 2022), and World Bank Open Data (WBOD, 2022). To better reflect the results of the research, the data obtained in recent years (2011-2020) were used. Data belonging to some years that could not be obtained were completed with data preprocessing methods and scaling was made. The Malmquist method was preferred to determine the railway efficiency variables of each country depending on the years separately. DEA-based Windows Analysis Program (DEAP) was used for data analysis. In the study, The Constant Return Method (CRS) was preferred because the decision makers could have an effect on the input and output variables, and the input-weighted method was preferred to determine how the input variables affect the output. Considering the literature sources, the number of passengers and freight transported by rail constitutes the output variables, while the rail lengths, wagon volumes, and train movements constitute the input variables. Descriptive statistics values of input and output variables are given in Table 2. According to the minimum, maximum, average, and standard stub data of the data to be used in the research, the standard deviation is at the highest wagon volumes (1691555).

Table 2. Descriptive statistics of inputs and outputs (N = 110)

Variable	Inputs1_NL	Inputs2_WV	Inputs3_TM	Outputs1_PT	Outputs2_GT
	Network Length (Total route-km)	Wagon Volume (m ³)	Train movements (Thousand train kilometers)	Passengers Transported (Millions of passenger kilometers)	Goods Transported (Thousand tonnes)
mean	14.683	1.606.431	297.199	32.020	115.677
SD	9.272	1.691.555	293.430	33.479	94.527
min	1.767	54.329	13.926	237	24.286
max	33.575	7.138.556	1.095.781	100.252	396.326

Table 3. Correlation coefficient (2011–2020).

		Inputs1_NL	Inputs2_WV	Inputs3_TM	Outputs1_PT	Outputs2_GT
Inputs1_NL	Pearson Correlation	1				
	<i>p</i> -value					
	Sample size	110				
Inputs2_WV	Pearson Correlation	0.692**	1			
	<i>p</i> -value	0.000				
	Sample size	110	110			
Inputs3_TM	Pearson Correlation	0.63**	0.74**	1		
	<i>p</i> -value	0.000	0.000			
	Sample size	110	110	110		
Outputs1_PT	Pearson Correlation	0.879**	0.624**	0.75**	1	
	<i>p</i> -value	0.000	0.000	0.000		
	Sample size	110	110	110	110	
Outputs2_GT	Pearson Correlation	0.703**	0.836**	0.65**	0.533**	1
	<i>p</i> -value	0.000	0.000	0.000	0.000	
	Sample size	110	110	110	110	110

Note: ** represents the correlation coefficient that is significant at the 0.01 level (2-tailed).

To determine whether the data to be used in the research are suitable according to the Malmquist method, the correlation values between the variables were examined. According to the results of the correlation analysis in Table 3, the p-value of each variable among the other variables is less than 0.05. In this case, there is a strong positive correlation between the variables with a 5% margin of error in the (95% confidence interval). The presence of a significant and positive relationship between the variables means that the input and output variables to be used are suitable for analysis.

3.2. Malmquist Productivity Index

Malmquist Efficiency Index is a DEA-based method and is one of the methods that investigate the change in production (Malmquist, 1953). In the DEA study, linear programming was used to measure efficiency, and then the use of technical efficiency measures or distance functions in productivity measures were developed. Färe, Grosskopf, and Lovell (1994:3-29) developed DEA-based Malmquist productivity measures. With these studies, today, the changes in total factor productivity between two points can be measured with an input or output focus. Malmquist calculations are based on the lowest point where the input amount can be kept or the highest output amount that can be produced (Özal, 2019:45-53).

One of the interesting features of the Malmquist Productivity Index (MPI) is that it captures the variable dynamics in the productivity measure, and it can determine the ratio of the total input to total output in any time interval. It is a widely used approach to evaluate dynamic efficiency based on DEA, utilizing fixed return scale (CRS) technology. The important feature of the DEA Malmquist Index is that it can divide into two components, one measuring productivity Change (EC) and the other measuring Technical Change (TC) (Doomernik, 2015).

MPI is divided into two main groups: technological change and changes in technical efficiency (Figure 1). MPI is obtained by multiplying the two groups of variables mentioned. The change in technical efficiency consists of the change in pure efficiency and the change in scale efficiency and is obtained by multiplying two variables. Technical efficiency is expressed as the degree to catch the limit in production. Accordingly, it expresses the ability of the minimum amount of input that can be used to reach an output amount. If the result is less than one, the resources are not used properly or there is idle capacity (Tutkavul, 2017; Deliktaş, 2002).

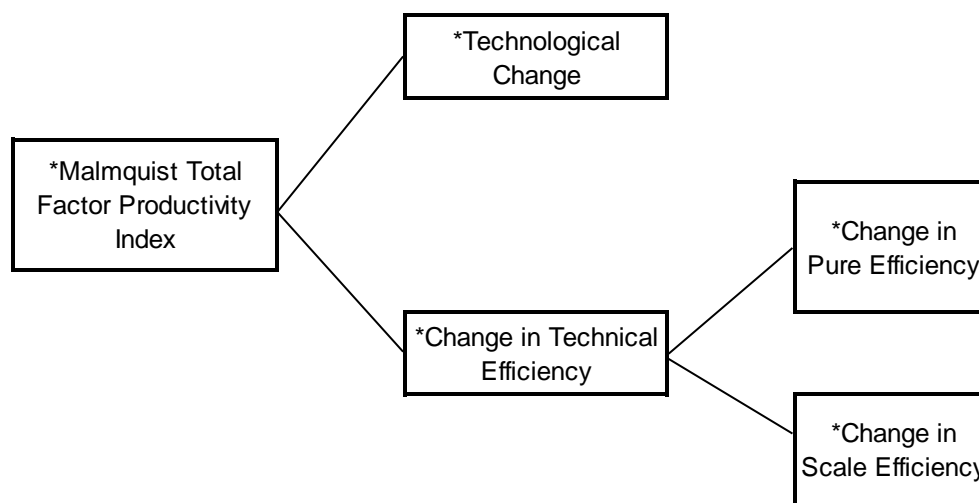


Figure 1. Malmquist total factor productivity analysis (Li ve Chunlu, 2010).

Technological change means a shift or displacement of the frontier curve in production. The shift or displacement shows the change in the upper bound curve of production over time. If the result is equal to one, it shows that there is no technological change, if it is less than one, there is a regression, and if it is greater than one, it shows that there is technological progress. The concept of technology refers not only to machinery or equipment but also to policies, regulations, and the environment that have an impact on productivity (Rezitis, 2006).

Distance functions define multi-input and multi-output production technology. Here, maximum profit is aimed with minimum input, and it characterizes the production technology depending on the minimum proportional contraction of the input vector, given the input-dependent output vector. The output distance function expresses the maximum expansion of the output vector depending on the input vector. Li and Liu (2010) used the following formulas while defining an output distance function under production technology in the "t" period.

Equation 1-6 has been used to calculate the values obtained from the input and output variables in the study Li and Liu (2010).

$$D_0^t(x^t, y^t) = \inf \{ \theta : (x^t, y^t / \theta) \in s^t \} \quad (1)$$

The variable representing an output-oriented offset function is the '0' subscript. x^t, y^t represents the input and output vector, respectively, in the period t . Similarly, the input and output vectors (x^{t+1}, y^{t+1}) of the $t + 1$ period, belonging to the t period in the S^{t+1} production technology are defined in Equation 2.

$$D_0^{t+1}(x^t, y^t) = \inf \{ \theta : (x^t, y^t / \theta) \in s^{t+1} \} \quad (2)$$

The input and output vector (x^{t+1}, y^{t+1}) of the $t + 1$ period in the S^t production technology of the t period is given in Equation 3.

$$D_0^t(x^{t+1}, y^{t+1}) = \inf \{ \theta : (x^{t+1}, y^{t+1} / \theta) \in s^t \} \quad (3)$$

According to the above formula, a production technology represents the set of all output vectors y that can be produced using the input vector x . The formula created accordingly is given in Equation 4.

$$S^t = \{ (x^t, y^t) : x^t \text{ can generate } y^t \text{ at time } t \} \quad (4)$$

When calculating based on the conditions of $-\theta y_i^t + Y^t \lambda \geq 0, X_i^t - X^t \lambda \geq 0$ and $\lambda \geq 0$, Equation 5 (objective function) is obtained for constant return to scale (CRS) technologies by adding the extra constraint condition, the convexity constraint N1, $\lambda = 1$.

$$[D_0^t(x^t, y^t) | CRS]^{-1} = \max_{\theta, \lambda} \quad (5)$$

In Equation 6 Malmquist's formula, which is formed by separating the change in total factor productivity (M), neutral and biased technical changes, pure technical productivity change, and technological change consisting of economies of scale are presented.

$$M = \left[\frac{D_0^t(x^{t+1}, y^{t+1} | CRS)}{D_0^t(x^t, y^t | CRS)} \times \frac{D_0^t(x^{t+1}, y^{t+1} | CRS)}{D_0^{t+1}(x^t, y^t | CRS)} \right]^{1/2} \quad (6)$$

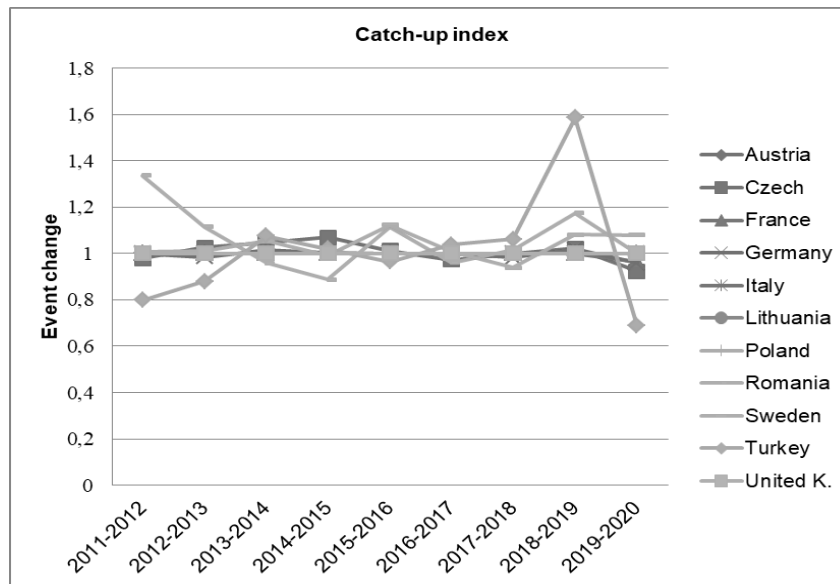
4. EMPIRICAL FINDINGS

In this part of the study, the Malmquist Total Factor Efficiency Index evaluation results of 10 European countries and Türkiye's rail transport are given. The productivity of any country can be transformed into more output with the same or lower level of inputs.

The technical efficiency change values in 11 countries by year are given in Table 4. The technical efficiency changes of Austria, Italy, Lithuania, Poland, and England remained stable. While the technical efficiency changes of Czech decreased by 7,7% between 2019-2020, the biggest increase (6.9%) was between 2014-2015. Although the technical efficiency values of France have remained stable for many years, a decrease of 3.5% was observed between 2019-2020. While the biggest decrease in Germany's technical efficiency (4.2%) was between 2019-2020, the biggest increase (1.9%) was between 2018-2019. While Romania's technical efficiency decreased by 11.3% in 2014-2015, it increased by 33.6% between 2011-2012. While the biggest decrease in Sweden's technical efficiency (6.1%) was between 2017-2018, the biggest increase (12.2%) was between 2015-2016. While the greatest decrease in Türkiye's technical efficiency (31.2%) was between 2019-2020, the biggest increase (58.5%) was between 2018-2019. Looking at the technical efficiency change average of the countries over the years, the average of France and Germany remains below 1, while the average of other countries is above 1.

Table 4. Catch-up index (efficiency change)

Countries	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019	2019-2020	Average
Austria	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Czech	0.978	1.026	1.046	1.069	1.013	0.972	1.001	1.022	0.923	1.006
France	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.965	0.996
Germany	0.999	0.984	1.015	1.002	1.000	1.000	0.982	1.019	0.958	0.995
Italy	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Lithuania	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Poland	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Romania	1.336	1.116	0.959	0.887	1.114	0.961	1.017	1.174	1.000	1.063
Sweden	1.006	1.012	1.054	0.991	1.122	1.009	0.939	1.081	1.080	1.033
Türkiye	0.799	0.879	1.076	1.020	0.964	1.038	1.062	1.585	0.688	1.012
United K.	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Average	1.011	1.002	1.014	0.997	1.019	0.998	1.000	1.080	0.965	1.010
Max.	1.336	1.116	1.076	1.069	1.122	1.038	1.062	1.585	1.080	1.063
Min.	0.799	0.879	0.959	0.887	0.964	0.961	0.939	1.000	0.688	0.995

**Figure 2. Technical efficiency change**

Information on the technological change indices of countries over the years is given in Table 5. While the biggest decrease in technological change efficiency (12,7%) in Austria was between 2019-2020, the biggest increase (4,1%) was between 2013-2014. While the greatest decrease in Czech's technological change efficiency (13,5%) was between 2019-2020, the biggest increase (5,6%) was between 2016-2017. While the biggest decrease in France's technological change efficiency (35,4%) was between 2019-2020, the biggest increase (17%) was between 2011-2012. While the biggest decrease in Italy's technological change efficiency (33,4%) was between 2019-2020, the biggest increase (13,5%) was between 2014-2015. While the biggest decrease in Lithuania's technological change efficiency (8,4%) was between 2011 and 2012, the biggest increase (31,6%) was between 2016-2017. While the biggest decrease in the technological change efficiency of Poland (16,9%) was between 2011-2012, the biggest increase (4,8%) was between 2017-2018. The biggest decrease in Romania's technological change efficiency (22,3%) was between 2011-2012, while the biggest increase (0,7%) was between 2014-2015. While the biggest decrease in Sweden's technological change efficiency (8,7%) was between 2018-2019, the biggest increase (1,4%) was between 2012-2013. While the biggest decrease in Türkiye's technological change efficiency (5,7%) was between the years 2019-2020, the biggest increase (4,8%) was between the years 2016-2017. While the greatest decrease in England's technological change efficiency (16,5%) was between 2013 and 2014, the biggest increase (17,8%) was between 2019-2020.

Table 5. Frontier-shift index (technological change)

Countries	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019	2019-2020	Average
Austria	1.016	0.975	1.041	0.997	1.026	1.036	0.982	0.995	0.873	0.993
Czech	1.013	0.991	1.015	0.980	1.006	1.056	1.018	1.002	0.865	0.994
France	1.170	0.982	0.993	1.070	0.982	1.032	0.992	1.024	0.646	0.988
Germany	1.011	1.019	0.967	0.997	1.060	0.950	0.988	0.992	0.936	0.991
Italy	0.954	1.052	1.019	1.135	0.722	1.112	1.003	1.017	0.666	0.964
Lithuania	0.916	1.036	1.015	1.122	0.936	1.316	0.995	0.949	0.992	1.031
Poland	0.831	1.000	1.002	0.980	0.896	0.986	1.048	0.898	0.867	0.945
Romania	0.777	0.980	0.998	1.007	0.853	0.943	1.005	0.951	0.939	0.939
Sweden	1.000	1.014	0.966	0.992	0.941	0.983	1.001	0.913	0.971	0.976
Türkiye	1.022	1.012	0.992	0.995	0.979	1.048	1.024	1.009	0.943	1.003
United K.	1.110	1.099	0.835	1.035	0.905	0.982	0.972	0.972	1.178	1.010
Average	0.984	1.015	0.986	1.028	0.937	1.040	1.003	0.975	0.898	0,985
Max.	1.17	1.099	1.041	1.135	1.06	1.316	1.048	1.024	1.178	1,031
Min.	0.777	0.975	0.835	0.98	0.722	0.943	0.972	0.898	0.646	0,939

The technological change index of countries over the years is shown in Figure 3. Although there are sudden ups and downs in the technological change values of Romania, Lithuania, Italy, France, and England depending on the years, the rate of change in other countries is at a certain level.

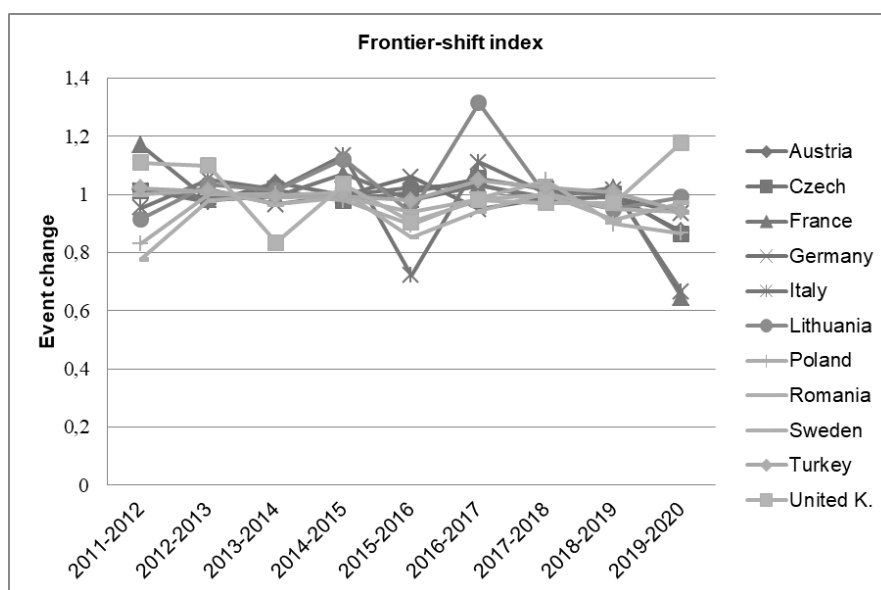


Figure 3. Technological efficiency frontiers

The summary values of the Malmquist Index calculated between 2011-2020 are given in Table 6. Malmquist Index subvalues are shown as technical efficiency (effch), technological change (techch), pure productivity change (pech), scale efficiency change (sech) and total factor productivity change (tfpch). While Austria’s effch, pech, and sech values remained constant, techch value and tfpch values decreased by 0,8%. While an increase was observed in Czech’s effch and pech values, there was 0,8% decrease in techch value and 0,3% decrease in sech and tfpch values. While a decrease was observed in all values of France, the biggest decrease was observed in the tfpch value (2,7%). While the pech value of Germany remains constant, the greatest decrease is seen in the tfpch value (1,4%). While Italy’s effch, pech, and sech values remained stable, there was 5% decrease in techch value and tfpch value. While no decrease was observed in any of the variables of Lithuania, an increase of 2,5% was observed in techch and tfpch values, and there was no change in other values. While a 5,7% decrease was observed in Poland’s techch and tfpch values, other values remained stable. While Romania’s effch and sech values increased by 5,5%, techch value decreased by 6,4% and tfpch value by 1,2%. While a decrease of 2,5% is observed in Sweden’s techch value, there is an increase of 0,6% in tfpch value. Türkiye’s techch value increased by

0,2% and sech value increased by 1%, while effch value decreased by 1,2%, pech value by 2,2%, and tfpch value by 1%. Finally, England's effch, pech, and sech values remained stable, while techch and tfpch values increased by 0,5%.

Information on the Malmquist Index results of the countries is shown in Figure 4. The effch values of Czech, Romania, and Sweden were above 1, while other countries remained stable or decreased. While there is an increase in the techch values of Lithuania, Türkiye, and the UK, a decrease is observed in other countries. While pech values of Czech and Sweden have increased, other countries have seen a decrease or remained stable. While the sech values of Romania, Sweden, and Türkiye increased, they remained stable or decreased in other countries. While there was an increase in the tfpch values of Lithuania, Sweden, and England, there was a decrease in other countries.

Table 6. Malmquist index (Malmquist index summary of country means)

Countries	effch	techch	pech	sech	tfpch	Average
Austria	1.000	0.992	1.000	1.000	0.992	0.997
Czech	1.005	0.992	1.008	0.997	0.997	1.000
France	0.996	0.977	0.997	0.999	0.973	0.988
Germany	0.995	0.990	1.000	0.995	0.986	0.993
Italy	1.000	0.950	1.000	1.000	0.950	0.980
Lithuania	1.000	1.025	1.000	1.000	1.025	1.010
Poland	1.000	0.943	1.000	1.000	0.943	0.977
Romania	1.055	0.936	1.000	1.055	0.988	1.007
Sweden	1.031	0.975	1.006	1.026	1.006	1.009
Türkiye	0.988	1.002	0.978	1.010	0.990	0.994
United K.	1.000	1.005	1.000	1.000	1.005	1.002
Average	1.006	0.981	0.999	1.007	0.987	0,996
Max.	1.055	1.025	1.008	1.055	1.025	1,010
Min.	0.988	0.936	0.978	0.995	0.943	0,977

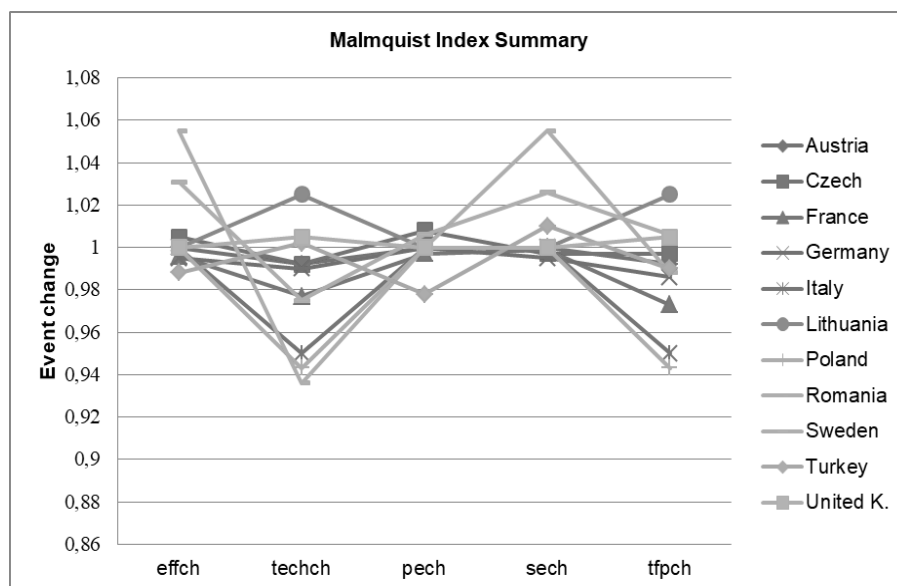


Figure 4. Malmquist index summary of the country means

4. CONCLUSION and EVALUATION

European countries increased their investments in railways in order to reduce environmental pollution and logistics costs. Thanks to the efficiency measurement, how effectively the activities are carried out, the degree of use of the available resources, and the idle capacity ratios are determined. Thanks to measurements, it contributes to taking the right steps toward inactive areas. In this study, using the DEA Malmquist Index model, the railway efficiency values of 10 European countries and Türkiye between the years 2011-2020 were investigated. Using the literature sources, the number of passengers and freight

transported by rail was used as output variables, while rail lengths, wagon volumes, and train movements were used as input variables. The research has revealed what kind of changes have occurred in the railway efficiency of which country over the years. European countries are increasing the importance given to railway transportation day by day and there is a change in productivity between countries.

The average technical efficiency changes values of countries between the years 2011-2020 show an increase of 0,6% for Czech, 6,3% for Romania, 3,3% for Sweden, and 1,2% for Türkiye. In addition, while the average technical efficiency of France decreased by 0,4% and Germany by 0,5%, it followed a stable course in Austria, Italy, Lithuania, and England.

According to the average technological change indices of the countries, an increase was observed in Lithuania by 3,1%, Türkiye by 0,3%, and the UK by 1%. While there was a decrease in other countries, the biggest decrease was in Romania with 6.1 percent. According to the total factor productivity change value in the Malmquist Index values, it is understood that there is a productivity increase of 1% in Lithuania, 0,3% in Romania, and 0,2% in the UK. Besides, in total factor productivity change, rates have decreased Austria at 0,8%, Czech at 0,3%, France at 2,7%, Germany at 1,4%, Italy at 5%, Poland at 5,7%, Romania at 1,2% and Türkiye at 1%.

Doomernik (2015) studied the rail transport efficiency of 4 Asian and 4 European countries between 2007 and 2012 and showed that while the average Malmquist Productivity Index value of France decreased by 1,4%, Germany's 2,8% and Italy increased by 0,6. In this study, similar to the other study, the Malmquist Productivity Index value of France decreased by 2,7%. However, this study unlike other studies, there is a decrease, not an increase, in the Malmquist Productivity Index values of Germany and Italy. These differences may arise from different date ranges of the study, as well as from the variety of input and output variables used.

The data used in the research covers the years 2011-2020 constitutes the first limitation of the research. The number of input and output variables used for the research is another constraint. Future studies can be conducted on product loading and unloading efficiencies in railway transportation in terms of countries or businesses. In addition, railway efficiencies can be calculated by using different input or output variables.

According to the results of the research in terms of European countries and Türkiye, there is an increase in the production efficiency of railway transportation in Lithuania, Sweden, and England, while a slight decline is observed in other countries. According to the results, these regressions were mostly experienced during the epidemic in 2019-2020. While the COVID-19 epidemic did not affect UK railway transportation between 2019-2020, it mostly affected Türkiye, France, and Italy, among other countries. Due to the high value of the resources used in rail transport, the effect of a small improvement in efficiency can greatly affect the profitability of the enterprises. Furthermore, significant shifts in productivity have been observed in Romania, Poland, and Italy across different years. These changes in inefficiencies are likely attributed to the substantial investments these countries have channeled into their railway systems. Additionally, it can be inferred that the emphasis placed on Europe's east-west railway corridor is steadily growing with each passing day.

The following conclusions are also drawn from the research. There is no continuity in the railway efficiency of the countries that are the subject of the research. While productivity increases in some years, there is a decrease in some years. The productivity of other countries increased more than the European countries (Germany, France, Italy) with the highest GNP ratio (except the UK). In some countries such as Türkiye and Italy, there are sudden decreases and increases in productivity. These situations show that there are sufficient resources related to the railway, but that sufficient demands cannot be collected. In addition, countries with high productivity show that they invest in the right places and manage their resources and demands more accurately.

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.



The author 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

- Akdamar, E. and Eren, E. (2021). "Marmara Bölgesi'ndeki Konteyner Limanlarının Etkinlik Ölçümü ve Potansiyel İyileştirme Önerileri", *Ardahan Üniversitesi İİBF Dergisi*, 3(2), 150-156.
- Bayat, T. and Özdemir, Ş. (2019). "Ulaştırma Altyapısının Bölgesel Bazlı Lojistik Sektörü Üzerindeki Etkinliğinin Veri Zarflama Yöntemi ile Ölçülmesi", *Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi (KÜSBD)*, 9(2), 259-286
- Bhatia, V. and Sharma, S. (2021). "Expense Based Performance Analysis and Resource Rationalization: Case of Indian Railways", *Socio-Economic Planning Sciences*, 76(December 2020), 100975, DOI: 10.1016/J.Seps.2020.100975.
- Cowie, J. (2018). "Long Term Productivity Gains in the Privatised British Passenger Rail Industry – A Case Study of Malmquist Productivity Index Measurements", *Research in Transportation Business and Management*, 28, 3-11, DOI: 10.1016/J.Rtbn.2018.01.001.
- Deliktaş, E. (2002). "Türkiye Özel Sektör İmalat Sanayiinde Etkinlik ve Toplam Faktör Verimliliği Analizi", *ODTÜ Gelişme Dergisi*, 29 (3-4), 2002, 247-284.
- Doomernik, J.E. (2015). "Performance and Efficiency of High-Speed Rail Systems", *Transportation Research Procedia*, 8, 136-144, DOI: 10.1016/J.Trpro. 2015.06.049.
- E.D. (2022). "Eurostat Database", <https://Ec.Europa.Eu/Eurostat/Data/Database>, (Access Date: 10.09.2022).
- Erturan, M.B. and Uysal, F. (2013). "Türkiye'de Demiryolu Taşımacılığının Etkinliği Üzerine Veri Zarflama Analizi ve Network Veri Zarflama Analizinin Karşılaştırılması", *C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 14(1), 419-437.
- Estache, A., Perelman, S. and Trujillo, L. (2007). "Measuring Quantity-Quality Trade-Offs in Regulation: The Brazilian Freight Railways Case", *Annals of Public and Cooperative Economics*, 78(1), 1-20.
- EUCR, (2021). "European Union Commission Report, Action Plan to Boost Long Distance and Cross-Border Passenger Rail", *Strasbourg, Communication from the Commission to the European Parliament and the Council*, COM (2021) 810 Final.
- Färe, R., Grosskopf, S. and Lovell, C.K. (1994). "Production Frontiers", *Cambridge University Press*, First Published.
- Guzmán, I. and Montoya, J.L. (2011). "Innovar Eficiencia Técnica Y Cambio Productivo En El Sector Ferroviario Español De Vía Ancha", *Revista Innovar Journal*, 21, 219-234.
- Kazancıoğlu, F.Ş. (2012). "Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları İşletmesinin Performans Değerlendirmesi", *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 27(1), 219-228.
- Kutlar, A., Kabasakal, A. and Torun, P. (2015). "Dynamic Efficiency Analysis of World Railway Firms: A DEA-Window Analysis with Malmquist Index", *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 15(1), 27-42.
- Li, L. and Hu, J.L. (2011). "Efficiency and Productivity of the Chinese Railway System: Application of a Multi-Stage Framework", *African Journal of Business Management*, 5(22), 8789-8803.
- Li, Y., and Liu, C. (2010). "Malmquist Indices of Total Factor Productivity Changes in the Australian Construction Industry", *Construction Management and Economics*, 28(9), 933-945, DOI: 10.1080/01446191003762231.
- Malmquist, S. (1953). "Index Number and Indifferences Surfaces", *Trabajos De Estadística*, 4, 209-242.
- Özal, N. (2019). "Ekolojik Tarım ve Küresel Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri: OECD Ülkelerinde Bir Uygulama", Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Perçin, S. and Çakır, S. (2012). "Demiryollarında Süper Etkinlik Ölçümü: Türkiye Örneği", *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 27(1), 29-45.
- Rezitis, A.N. (2006). "Productivity Growth in the Greek Banking Industry: A Non-Parametric Approach", *Journal of Applied Economics*, 9(1), 119-138, DOI: 10.1080/15140326.2006.12040641.
- S.S (2022). "Statista Statistics" <https://www.Statista.Com/Markets/419/Topic/488/Rail-Transport/>, (Access Date: 10.09.2022)
- Sarıkaya, M., Kabasakal, A. and Kurlar, A. (2012). "Türkiye'de Bölgesel Olarak Devlet Demiryollarının 2000-2010 Döneminde VZA İle Etkinliğinin ve Malmquist Endeksi İle Toplam Faktör Verimliliğinin Belirlenmesi", *Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 8(1), 133-155.
- Sevinç, M. (2022). "Lojistik Açısından Türkiye'de Demiryolu Taşımacılığının Değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Atılım Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Sharma, M.G., Debnath, R.M., Oloruntoba, R., and Sharma, S.M. (2016). "Benchmarking of Rail Transport Service Performance Through DEA for Indian Railways", *International Journal of Logistics Management*, 27(3), 629-649, DOI: 10.1108/IJLM-08-2014-0122.
- Shi, F.X., Lim, S.H. and Chi, J. (2011). "Railroad Productivity Analysis: Case of The American Class I Railroads", *International Journal of Productivity and Performance Management*, 60(4), 372-386, DOI: 10.1108/17410401111123544.

- Tutkavul, K. (2019). "Malmquist Toplam Faktör Verimlilik Endeksini Kullanarak Finansal Etkinlik ve Verimlilik Ölçümü: Borsa İstanbul Sınai Endeksi'nde Bir Uygulama", *Verimlilik Dergisi*, 2, 49-93.
- WBOD, (2022). "World Bank Open Data", <https://Data.Worldbank.Org/>, (Access Date: 10.09.2022).
- Yu, M.M. and Lin, E.T.J. (2008). "Efficiency and Effectiveness in Railway Performance Using a Multi-Activity Network DEA Model", *Omega*, 36(6), 1005-1017, DOI: 10.1016/J.Omega.2007.06.003.

Yerel Yönetimler için Kurumsal Sürdürülebilirlik Yaklaşımı*

Hayri BARAÇLI¹ , Ramazan Özcan YILDIRIM²

ÖZET

Amaç: Yerel yönetimler için, vatandaşın beklentilerini esas alan, kurumsal hedeflerini gerçekleştirmek için temin edeceği kaynakları verimli kullanan, süreçlerini uçtan uca etkili bir şekilde yöneten ve çağdaş yönetim araçlarını da kapsayan üstsel bir bakışı içeren yönetim modeli oluşturmak amaçlanmıştır.

Yöntem: Araştırma nitel olup, olgu bilim (fenomenoloji) deseni ile hazırlanmıştır. Yerel yönetimlerin etkili verimli yönetilmesi için hazırlanan bu çalışma için ülkemizdeki nüfus olarak en büyük belediyelerden bir tanesi seçilmiş olup, amaçlı örneklem yöntemi kullanılmış, zincir örnekleme yöntemi kullanılarak belirlenen yirmi dört yönetici ile yarı yapılandırılmış görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Uzman görüşleri ve literatür taraması yapılarak geliştirilen yarı yapılandırılmış görüşme formları veri toplama aracı olarak kullanılmıştır. Toplanan veriler ise betimsel analiz yöntemi kullanılarak analiz edilmiş ve belirlenen tema başlıkları altında yorumlanmıştır.

Bulgular: Japonya, Amerika ve Avrupa gibi farklı coğrafyalarda ISO, EFQM, Malcolm Baldrige gibi yönetim modelleri özel sektör tarafından yoğun olarak uygulanmaktadır. Bunların da ötesinde Türkiye'deki yerel yönetimlerin yönetim kalitesini arttırmayı sağlayacak özgün bir model önerisi getirilmiş ve diğer yönetim modelleri ile karşılaştırılarak aradaki farkları ortaya konulmuştur.

Özgünlük: Çalışmaya özgün değer katan ve onu bu alanda önemli kılan husus yerel yönetimler özelinde kurumsal sürdürülebilirlik bakış açısı ile kavramsal bir çerçeve çizilecek olmasıdır.

Anahtar Kelimeler: Kurumsal Sürdürülebilirlik, Sürdürülebilirlik, Yerel Yönetim.

JEL Kodları: D73, G34, H70.

Corporate Sustainability Approach for Local Governments

ABSTRACT

Purpose: It is aimed to create a management model for local governments, which is based on the expectations of the citizens, uses the resources efficiently to achieve its corporate goals, manages its processes in an end-to-end manner and includes contemporary management tools.

Methodology: The research is qualitative and prepared with a phenomenology pattern. For this study, which was prepared for the effective and efficient management of local governments, one of the largest municipalities in terms of population was selected, purposeful sampling method was used, and semi-structured interviews were conducted with twenty-four administrators determined using the chain sampling method. Semi-structured interview forms developed by expert opinions and literature review were used as data collection tools. The collected data were analyzed using the descriptive analysis method and interpreted under the determined themes.

Findings: Management models such as ISO, EFQM, Malcolm Baldrige are heavily implemented by private sector in different geographies such as Japan, America and Europe. Beyond these, a unique model has been proposed to increase the management quality of local governments in Türkiye and its differences have been revealed by comparing it with other management models.

Originality: The point that adds unique value to the study and makes it important in this field is that a conceptual framework will be drawn with a corporate sustainability point of view for local governments.

Keywords: Corporate Sustainability, Sustainability, Local Government.

JEL Codes: D73, G34, H70.

* Bu çalışma, Ramazan Özcan YILDIRIM tarafından İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü'nde Dr. Hayri BARAÇLI danışmanlığında yürütülen "Yerel Yönetimlerde Sürdürülebilir Kurumsal Yönetim Yaklaşımı" başlıklı Doktora Tezi'nden türetilmiştir.

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, hayri@yildiz.edu.tr, ORCID: 0009-0001-5111-3975 (*Sorumlu Yazar-Corresponding Author*).

² Dr., Türkiye Belediyeler Birliği Genel Sekreter Yardımcısı, Ankara, Türkiye, ramazan.yildirim@tbb.gov.tr, ORCID: 0009-0005-0314-1612.

DOI: 10.51551/verimlilik.1287031

Araştırma Makalesi / Research Article | Geliş Tarihi / Submitted Date: 24.04.2023 | Kabul Tarihi / Accepted Date: 01.08.2023

Atıf: Baraçlı, H. ve Yıldırım, R.Ö. (2023). "Yerel Yönetimler için Kurumsal Sürdürülebilirlik Yaklaşımı", *Verimlilik Dergisi*, 57(4), 623-640.

EXTENDED ABSTRACT

Although there are many academic studies in order to ensure institutional sustainability in local governments, there is no holistic approach dominated by a conceptual model on a global scale based on effective, efficient and economic points, which incorporates modern management techniques. Besides, management quality is not evaluated within this perspective and improvement areas are not identified. This means that there is a risk of personal-dependent management, lack of effective use of resources, wastage and low motivation of employees. Based on this, in the light of the information obtained after the literature review, what the corporate sustainability approach should be for local governments and what issues they should focus on, as well as "targets", "resources", "processes", "citizen satisfaction" as the areas to be managed on how to make this sustainable.

Hence, the main theme of this article is to offer a corporate sustainability model for local governments, which is based on the expectations of the citizen, using the resources that will be provided to realize its corporate goals efficiently, managing its processes end-to-end effectively and a holistic approach including modern management techniques. The study is a qualitative research, using a pattern of phenomenology. For this study that will be a model for all local governments, semi-structured interviews were conducted with 24 senior managers working for any of metropolitan municipalities in Türkiye, selection determined by chain sampling method out of purposive sampling method. As a data collection tool, semi-structured interview forms developed by the researcher were used for the iterative survey and the opinions of the experts. The data obtained were analyzed by descriptive analysis method and summarized and interpreted.

It has been tried to reveal the institutional sustainability approach of local governments and to provide a model proposal. The obtained data is summarized in the findings section by the opinions of the expert managers under the previously determined themes. As a result of the literature analysis and qualitative data analysis, the model conceptual framework was obtained.

The Presidential Government System has a structure that is fast adapting to innovations, enables the development of human resources, performs digital transformation, accelerates decision-making processes, raises global competitiveness, institutionalizes the common mind, and has clear powers and responsibilities. If Türkiye is to reach their goal of these new system and processing in a healthy way as a body's organs, local governments that are executive departments of the principle of subsidiarity have to become a creation of a new management model.

It is essential to create new local government models based on this requirement. In Türkiye's development, local governments which have greater responsibility in the fulfillment of services that touche citizens life directly, will contribute practice approaches outlined in this conceptual framework in our country, the standardization of local government system and to the creation of efficient high-quality services.

This approach provides a systematic framework for diagnosing and improving the existing levels of management of local governments. In its essence, the approach that has the understanding of managing the resources with effective and efficient processes in line with the visionary targets in order to ensure the satisfaction of the citizens, is a guide for local governments.

In order for this approach to become a complete model, it is recommended to create upper and lower guidelines on how to apply the themes, sub-themes and step-by-step in the conceptual framework. In this way, local governments become aware of what kind of systems they should pay attention to and what kind of systems they should pay attention to when carrying out their services. It is also recommended to establish a valuation system as EFQM and Malcalm Baldrige models. In this way, local governments continuously measure how close they are to corporate sustainability by self-evaluation and external evaluations.

1. GİRİŞ

Baraçlı (2018: 87), “Yönetimde Kırkdörtler” isimli eserinde değişim yönetimini değişen piyasa koşullarında işletmelerin rakiplerini geçebilmesi için fırsatları analiz edip, potansiyel fırsatları değerlendirmesi ve doğru stratejilerle organizasyonunu yapılandırması şeklinde tanımlamıştır.

Kuşat (2012: 228), şirketlerin ticari bir kuruluş olduğu ve sürdürülebilir olmaya zorlayan unsurların başında kar edebilmesi geldiğinden bahsetmektedir. Buna ilave olarak çevreye verdiği zararları en aza indirebilmesi için sorumluluk alması ve değişen müşteri davranışlarına göre pazarlama ve üretim süreçlerinde yeniliğe giderek cevap vermesi, rakiplerini geride bırakabilmesi için de sürdürülebilir bir vizyon ortaya çıkarması gerekmektedir.

Tokgöz ve Önce (2009) işletmelerin kurumsal sürdürülebilirlik adına yeni iş modelleri geliştirmesi, kazançlarını arttırmanın yanında geleceğe yatırım yapmalarının gerektiğinden bahsetmektedir.

Çelebi (2014: 37), “Kamu İşletmelerinde Değişim Yönetimi Modeli” isimli tezinde değişimin efektif bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için modern yönetim tekniklerini iyi bilip, uygulayabilecek bir irade gerekli olduğundan bahsetmektedir. Bu sayede değişim rasyonel bir altyapı kazanır ve olumlu sonuçlara ulaşma olasılığımız artar. Kıt kaynaklarla sınırsız ihtiyaçların karşılanabilmesi, organizasyonların (gerek kamu gerek özel) etkin ve verimli bir şekilde çalışabilmesi için, değişmek ve gelişmek esastır, bunun için de bu tekniklerin kullanılması gerekliliği olmazsa olmazdır.

Vatandaşların direk temas eden ulaşım, barınma, çöp toplama, kültür sanat, sosyal destek, sağlık gibi birçok hizmeti sunan yerel yönetimlerin kaynaklarını etkin kullanarak gelecek odaklı hareket etmesi oldukça önemlidir. Bu sayede hem insanlara hem çevreye hem de toplumsal kalkınmaya doğrudan ve dolaylı etkisinin olumlu yönde geliştirmesi gerekmektedir.

Bu bakış açılarıyla değişen dünya düzeninde öncelikli amacı vatandaş memnuniyetini sağlamak olan yerel yönetimlerde yeni bir yaklaşım getirmek için bu çalışma hazırlanmıştır. Çalışmada aşağıda yer alan temel sorulara cevap aranacaktır:

- Yerel yönetimlerin gelecekteki doğrudan ve dolaylı paydaşların ihtiyaçlarını karşılama yeteneğinden ödün vermeden açığa çıkmamış ihtiyaçların karşılanması için nasıl bir yaklaşım sergilemelidir?
- İnsan, makine, malzeme, para gibi kaynaklarını etkin yönetmek için hangi kavramları göz önünde bulundurmalıdır?
- Hedef belirlerken rekabet avantajı, maliyet tasarrufu, itibar ve gelecek odaklılık gibi kavramlar bütünsel olarak nasıl ele alınmalıdır?
- Faaliyetlerin sürdürülebilir olması için modern yönetim tekniklerinden hangilerini uygulamalıdır?
- Yerel Yönetimlerde nasıl bir vatandaş odaklı sürdürülebilir yerel yönetim modeli kavramsal çerçevesi oluşturulmalıdır? Hangi konuları içermelidir?

Kurumların ve işletmelerin varlıklarını sürdürebilmesi için kaynaklarını verimli kullanması, süreçlerini etkin yönetmesi gerekmektedir. Bu yaklaşımları içeren birçok akademik çalışma yapılmasına karşın yerel yönetimleri kapsamına alan, modern yönetim tekniklerini barındıran, etkili, verimli ve ekonomikliğe dayalı küresel ölçüde, kavramsal bir model çerçevesinde ele alınan, kurumun her seviyesinde hâkim kılınan bütünsel bir yaklaşım bulunmamaktadır.

Makalede ilk olarak yerel yönetimlerde kurumsal sürdürülebilirlik yaklaşımının tespiti için sürdürülebilirlik ve kurumsal sürdürülebilirlik kavramları ile bu alanlarda yapılan çalışmalar, araştırmalar incelenmiştir. Daha sonra kurumların yönetim kalitesini arttırmak için geliştirilen modellerden bahsedilmiştir. Yerel yönetimlerin kurumsal sürdürülebilirliğe olan ihtiyaçları ortaya konulup, son kısımlarında ise kurumsal sürdürülebilirlik yaklaşımı kavram çerçevesini oluşturmak için bir yerel yönetimde yapılan bir araştırma ve sonuçlarına yer verilmiştir.

2. TEORİK ARKA PLAN ve LİTERATÜR TARAMASI

Sürdürülebilirlik kavramının gelişiminin öncülleri 20. yüzyılın ikinci yarısına kadar uzanmaktadır (Yalçınkaya ve diğerleri, 2011). Vatandaşın bilinçlenmesi ve toplumda meydana gelen baskılarla birlikte hükümetler, yerel yönetimler ve işletmeler faaliyetlerini devam ettirirken çevreye ve topluma olan olumlu veya olumsuz etkilerini de yeniden gözden geçirmeye başlamıştır. Bu dönemlerde sürdürülebilir kalkınma, sürdürülebilir şehirleşme, sürdürülebilir gelişme, kurumsal sürdürülebilirlik gibi kavramlar daha çok konuşulmaya başlanmıştır.

Massachusetts Institute of Technology (MIT)'de işletme yöneticileri için hazırlanan dijital platformda yayınlanan “What is sustainability?” araştırmasında, her sistemin sürekli devam ettirilmesi gerektiği, bunun

temelinde sistemlerin kalıcı olarak yenilenmesi yattığı anlatılmıştır. Vatandaşların yaşama alışkanlıkları, işletmelerin de iş yapma ve rekabet etme yöntemleri top yekün değiştirmeye başlayacaktır. Kuruluşlar ve onlara liderlik eden insanlar için olağanüstü sonuçları olacaktır. İş süreçleri, örgütsel modeller, rekabet stratejileri ve liderlik yöntemleri bundan etkilenecektir (MIT Sloan Management Review, 2008).

Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu tarafından hazırlanan raporlarda; sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir gelişim kavramları, bugünkü ihtiyaçlar karşılarken gelecek nesillerin gereksinimlerinin dikkate alınması ve kaynak tüketimi, teknoloji kullanımı, kurumsal gelişim, doğru yatırım kararlarının uyumlu olması gerektiği ifade edilmiştir (İMKB, 2011: 1; Bansal, 2005).

Foley (2005) kurumsal sürdürülebilirliği, müşteriye sunulan ürünün en üst kaliteye çıkarılması ve tüm paydaşların beklentilerinin karşılanması olarak ifade etmiştir. Ayrıca kurumsal sürdürülebilirliği ilke edinmiş işletmeler kaynak kullanımını azaltarak maliyetlerini düşürmeleri, enerji kullanımını kontrol ederek tasarruf yapmaları, atıklarını geri dönüştürerek ilave gelir sağlamaları, finansal performanslarını sürekli geliştirmeleri ve inovasyon kültürünü kurum içerisinde teşvik etmelerini tavsiye edilmiştir. Ayrıca sürekli değişen piyasa koşullarında işletmelerin devamlılığını sağlayabilmeleri için dolaylı ve doğrudan etkilendiği tüm paydaşlarını (müşteri, tedarikçi, hissedarlar, baskı grupları vb.) memnun etmek zorundadır.

Penrose (1959) kurumsal sürdürülebilirliği tanımlarken sürekli büyümeyi hedefleyen işletmelerin kaynak temelli bir yaklaşımla kaynaklarına odaklanması gerektiğini ifade eder. Dyllik ve Hockerts (2002) kurumsal sürdürülebilirliği amaçlayan kurumların ekonomikliğin yanı sıra ekolojik ve sosyal boyutlara da önem vermesi gerektiğini, işletme stratejileri oluştururken paydaşların bugünleri ve geleceklerini de göz önüne alarak kısa ve uzun vadeli bakışın entegre bir şekilde ele alınması gerektiğini ayrıca ekonomik sosyal, doğal ve beşerî sermayelerini yönetmeleri gerektiğini ifade ederler.

Marrewijk (2002) başarılı olmak isteyen işletmelerin çalışanlarına ve tedarikçilerine daha çok önem vermeleri ve kalitelerini iyileştirmeye devam etmelerini ve daha sosyal bir yönetim tarzını benimseyerek kurumsal sürdürülebilirliğe doğru giden bir davranışı sergilemeleri gerektiğini ifade etmiştir.

Şirketlerin kurumsal sürdürülebilirlik alanında karşılaştıkları sorunların temelinde üretimin verimsiz ve yetersiz olması, kaynakların etkin kullanılmaması gibi ekonomik konular ile yöneticilerin kapasitesinin beklenenin altında kalması, iç iletişimin etkin olmaması gibi yönetsel konular yatmaktadır (Kuşat, 2012: 238).

2.1. Kurumsal Sürdürülebilirlik Alanında Yapılan Araştırmalar

McKinsey Araştırma Şirketi 2010 yılında farklı alanlarda faaliyet gösteren işletmelerden 1.946 yönetici ile kurumsal sürdürülebilirlik hakkındaki gelişmeleri nasıl algıladıkları ve kurumsal sürdürülebilirlik uygulamalarının şirketler için neden elzem olduğunu araştırmıştır. Katılımcıların %50 oranından fazlası yeni ürün meydana getirme, itibarın oluşması ve kurumsal stratejilerinin tümünü içeren bir alanda kurumsal sürdürülebilirliğin ne derecede gerekli olduğunu ifade etmiştir. Araştırmanın neticesi, kurumsal sürdürülebilirliğin, şirketlerin strateji ve faaliyetlerinde vazgeçilmez bir unsur olduğunu göstermektedir (McKinsey, 2010). 2014 yılında tekrar eden çalışmasında ise sonuçlar, kurumsal sürdürülebilirlik için müşteri beklentilerini karşılamak, yeni pazarlar, yeni büyüme fırsatları keşfetmek, rekabetçi pozisyonun güçlenmesi, liderlik, riskin düzenlenmesi, yetenekli çalışanları motive etmek ve elde tutmak, diğer paydaş (dağıtımçı, tedarikçi, perakendeci vb) beklentilerini karşılamak olarak kategorize etmiştir (McKinsey, 2014: 1-2).

Price Waterhouse Coopers'ın (PWC) kurumsal sürdürülebilirlik alanında 2002 yılında 140 işletmenin en tepe düzey yöneticileri ile yaptığı araştırma neticesine göre katılımcıların %75'ine yakını sürdürülebilirlik uygulamalarını kabul etmelerinin ilk üç nedenini olarak %90 oranında itibarın artması, %75 oranında rekabet avantajı ve %73 oranında maliyet tasarrufu olarak ifade etmişlerdir (Price Waterhouse Coopers, 2011: 7-23).

Küresel anlamda kurumsal sürdürülebilirlik ile ilgili diğer bir çalışma da 2010 yılında Birleşmiş Milletler Küresel İlkeler Sözleşmesinde (Global Compact) yer almaktadır. Farklı ülkelerde bulunan 766 işletmenin genel müdürü ile yapılan görüşmelerde, işletmelerin kurumsal sürdürülebilirlik alanında ilerlemesini gerekli kılan en önemli konular olarak; marka değerinde artış, şirkete olan güvenin ve itibarlı olmanın karlılığı artırması, çalışanların motivasyonunun yükselmesi, kalifiye personelin şirkete tercih etmesi, ulusları yatırım ve finansmanı kolay sağlama ve tüketici davranışlarındaki değişikliklerin hızlı bir şekilde ürün ve hizmet sunumuna yansması şeklinde ifade edilmiştir. (İMKB, 2011: 3).

2012 yılı Dow Jones Sürdürülebilirlik Endeksi verilerine göre kurumsal sürdürülebilirlik yaklaşımını benimseyen işletmeler stratejilerine, global rekabet edilebilirliği ve marka itibarını sağlayarak çevresel, ekonomik ve sosyal boyutları entegre ederler. Sağlam bir finansal gelir, uzun vadeli büyüme, açık şeffaf bir muhasebe ve hissedar isteklerini bir araya getirirler. Müşteri sadakati ve kaliteli ürün için, kaynaklarını etkili,

verimli ve ekonomik kullanan, teknoloji ve sisteme odaklanan ürün ve hizmet inovasyonu yaparlar. Kurumsal yönetime önem verirler ve iş gücü yeteneklerini korumak ve memnuniyeti sağlamak için, bilgi yönetimi ve örgütsel öğrenme uygulamaları ile insan kaynaklarını etkin yönetirler (Dow Jones, 2012).

2.2. Kurumların Yönetim Kalitesini Artırmada Kullanılan Modeller

Sanayi devrimi ile birlikte kurumlar ve işletmeler rekabet ortamında ayakta kalabilmek için yönetim kalitesini artırmaya, performansını geliştirmeye, daha az kaynakla daha fazla çıktı elde etmeye odaklanmışlardır. Bu ihtiyaçtan dolayı birçok model geliştirilmiştir. Bunlar arasında en sık kullanılanlar, ISO 9001 Kalite Yönetim Sistemi, Kanvas İş Modeli, Micheal Porter Değer Zinciri Yönetimi, EFQM 2013 ve 2020 Mükemmellik Modelleri ve Malcolm Baldrige Ulusal Kalite Modelidir.

Micheal Porter, Harvard Üniversitesinde profesör iken organizasyonların rekabet gücünü artırmak üzere oluşturduğu Değer Zinciri Yönetimi isminde bir analiz yöntemini literatüre eklemiştir. Rekabet avantajı oluşturmak için maliyet liderliği, müşterilere sunulan değer artırımı, süreçler, kaynaklar, hedefler ve yönetim yaklaşımında yapılması gerekenleri modelinde anlatmıştır (Porter, 1985).

Avrupa Standardizasyon Komitesi tarafından hazırlanan ISO 9001'e göre kalite yönetim sistemi temel olarak organizasyonun performansını artırması için müşteri odaklı olmalı, liderliği tanımlamalı, çalışan bağlılığını sağlamalı, süreç yaklaşımı ve sürekli iyileştirmeyi benimsemeli ve veriye dayalı karar almalıdır. Müşterinin memnuniyetini sağlamak için süreçleri birbiri ile ilişkili bir şekilde yönetmeli ve doğru kaynağı sağlayıp, risk ve fırsatları belirleyerek, planla, uygula, kontrol et, önlem al yaklaşımı ile ele almalıdır (Türk Standartları Enstitüsü, 2015).

Osterwalder ve Pigneur (2010: 44) kurumların oluşturduğu değeri nasıl sunduğu ve burada gerçek başarıyı nasıl elde edeceğini sistematik bir biçimde göstermek için bir iş modeli tuvali oluşturmuşlardır. Bu tuval 9 yapı taşından meydana gelmektedir. Çalışmada; müşteri segmentleri, müşteri ilişkileri, değer önerisi, temel faaliyetler, temel ortaklıklar, temel kaynaklar, kanallar, maliyet yapısı ve gelir akışından oluşan bu yapı taşlarını örgütlerin rekabet edebilmesi için doğru yönetmesi gerektiğinden bahsetmektedir.

Avrupa Kalite Yönetim Vakfının geliştirmiş olduğu EFQM modeli temel yaklaşımına göre, organizasyonların mükemmel olması için ilk olarak paydaşların beklentilerini karşılaması hatta aşacak bir performans sergilemesi ve bunu sürdürülebilir kılması gerekmektedir. Ayrıca mükemmel yönetilmek isteyen kuruluşlar öncelikle yönetim sistemleri kurmalı, bunu çalışanları arasında yaymalı, sürekli kontrol edip gözen geçirmeli ve sistemlerini iyileştirmelidirler. EFQM modeli girdiler ve çıktılar olmak üzere iki bölüm ve dokuz yapı taşından oluşmaktadır. Girdiler kısmında liderlik, çalışanlar, strateji, iş birlikleri ve kaynaklar, süreçler, ürünler ve hizmetler; sonuçlar kısmında ise çalışanlarla ilgili sonuçlar, müşterilerle ilgili sonuçlar, toplumla ilgili sonuçlar ve iş sonuçları şeklindedir (European Foundation for Quality Management, 2013).

EFQM modeli 2020 yılında Birleşmiş Milletler Küresel İlkeler Sözleşmesi, 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları, Avrupa İnsan Hakları Sözleşmesi gibi birçok küresel politikalara göre köklü bir değişikliğe gitmiş ve yapısını değiştirmiştir. Model; yön, uygulama ve sonuç olmak üzere üç başlık altında kurgulanmıştır. Yön kısmı kurumun amaç, vizyon ve stratejisi, kurum kültürü ve liderlik kriterlerinden, uygulama kısmı paydaş bağlılığı sağlama, sürdürülebilir değer yaratma, performans ve dönüşümü yönlendirme kriterlerinden, sonuç kısmı ise paydaş algıları, stratejik ve operasyonel performans kriterlerinden oluşmaktadır (European Foundation for Quality Management, 2020).

NIST- The National Institute of Standards and Technology (2019) tarafından hazırlanan Malcolm Baldrige Modeli kuruluşların performansı artırırken, başarının anahtarının neler olduğunu tanıması ve bunu sağlamada yerine getirmesi gereken kriterler, ulaşması gereken sonuçlar, rekabette daha bir konuma yükselmesi için yapması gereken işleri tanımlamaktadır. Özellikle başarılı kuruluşlardan süreçlerin sürekliliği ve etkili olması, yaklaşımların sistemlerin kuruluşun ihtiyaçlarını karşılaması, alınan sonuçların başarısı ve kurumun sürekli öğrenip yenilik yapması ve gelişmesi beklenmektedir. Malcolm Baldrige Modeli temel değerler ve kavramlar üzerine inşa edilen bir organizasyon profili, liderlik, strateji, müşteri, iş gücü, operasyonlar, ölçüm analiz ve bilgi yönetimi ile sonuçlar kriterlerinden oluşmaktadır.

Hazine ve Maliye Bakanlığı kamuda hizmet kalitesinin artması, kaynakların daha etkili, verimli ve ekonomik kullanımı, hedef odaklı, varlıkların korunması, hesap verme odaklı, bilginin doğru kullanımı ile işlerin gerçekleşmesi, gerçekçi kanıtlara dayanan sonuçlara ulaşma adına Kamu İç Kontrol Rehberini oluşturmuş ve tüm kamu tarafından uygulanabilmesi için yayınlamıştır. Uluslararası geçerliliği olan Sponsor Kuruluşlar Komitesi (COSO) tarafından hazırlanan kriterler altında toplanmıştır (Hazine ve Maliye Bakanlığı, 2011: 1-124).

3. YEREL YÖNETİMLERİN KURUMSAL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞE OLAN İHTİYAÇLARI

Ülkemizde kurumsal örgütlenme ve yapılanma, şehirleşmede yaşanan küresel ve yerel gelişmeleri tartışmak adına Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Şehircilik Şurası düzenlenmiş ve 100'den fazla kurum ve işletme, konusunda uzman 133 yönetici, sivil toplum kuruluşu, akademisyen, kamu yöneticisi katılım göstermiştir.

Yerel yönetimlerde, kentsel ve kırsal hayatın uyumlandırılması gerektiği, şehirlerin nüfusunun artışına bağlı hizmet sunumunun farklılaşması, kaynakların daha etkin yönetimi, yatırım ve hizmetlerde öncelikler belirlenirken yaşanan problemler gündeme getirilmiştir. Yerel yönetimlerin kendi aralarında ve merkezi kurumlarla iletişim problemleri yaşadığı ve buna bağlı hizmetlerin daha kaliteli yürütülmesi adına yeni bir vizyon belirlenmesi gerekliliği ifade edilmiştir (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2017: 1).

İnsan ve kaynak odaklı planlama yaklaşımı gereğince, kent içerisinde mevcut olan toplumsal ve yeşil alanların korunması, sistemli bir şekilde tasarlanmasında topluma olan faydasının ön plana alınması gerekliliği vurgulanmıştır. Vatandaşın huzuru için gerek duyulan alanların hayatı kolaylaştıracak şekilde tasarlanması ve sağlıklı malzeme kullanımına dikkat edilmesi tavsiye edilmiştir (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2017: 88).

Yerel yönetimlerin yaşadığı mali kısıtlar, planlama yapılırken merkezileşme eğilimi, organizasyonda yaşanan yönetsel ve insan kaynakları yetersizlikleri, hükümet tarafından belirlenen şehirleşme vizyonunun yerelde uygulanmasının sınırlı kaldığı raporlara yansımıştır (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2017: 57).

Yerelde vizyon belirlerken karşılaşılan en önemli sorunun vizyonerlik olduğu ve şehircilikte yeni bir vizyon belirlerken, insan odaklı, yenilikçi, yönlendirici (bütüncül, stratejik mekânsal, sürdürülebilir), kaynak odaklılık (akıllı şehirler, üreten şehirler, kırsal ve kentsel kalkınma vb.), özgünlük (teknoloji, tasarım ilkeleri, yaşam-mekân-insan kalitesi vb.) ve katılımcılık ilkeleri benimsenerek belirlenmesi tavsiye kararları olarak alınmıştır (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2017: 119-321).

UN-HABITAT, Birleşmiş Milletler tarafından, sürdürülebilirliği merkeze alan insani yerleşim alanları oluşturulması ve yeterli konutun sağlanması adına oluşturulmuş bir programdır. 20 yılda bir yapılan konferanslar düzenleyerek dünya sürdürülebilirliği adına yeni kentsel gündemler belirlemektedir. Habitat III hazırlık sürecinde Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, yerel yönetimler, kamu kurumları, özel sektör, sivil toplum, akademisyenler ve meslek odaları ile birlikte yeni yaklaşımları tartışmak adına çalıştaylar düzenlemiştir. Çalıştay raporlarında yerel yönetimlerin özellikle mali kaynak yönetimi ve yeni kaynak geliştirme noktasında, bütçelerin doğru yönetimi ve proje yönetiminde teknik personel yetersizliğinden bahsedilmiştir. Şehrin ihtiyacı olan projeler ve yatırımlar yapılırken; stratejik önceliklerin belirlenmesi, karar alma süreçlerine paydaşların katılımı, hesap verilebilir bir yönetim sergilemesi gerektiği ifade edilmiştir (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2014: 43-56).

3.1. Yerel Yönetimlerde Etkinlik ve Verimlilik Kavramları

Sürdürülebilir şehir tanımlarını Ertürk (1996) "insan gereksinmelerine günümüz kentlerinden daha iyi yanıt veren ve kent sistemlerinin gelecek kuşakların gereksinimlerinin karşılanmasını engellemeyecek bir biçimde geliştirilmesini sağlayan kent", Geenhusian ve Nijkamp (1994) ise "süreklilik içinde değişimi sağlamak amacıyla, sosyo-ekonomik çıkarların çevre ve enerji ile ilgili kaygılarla uyumlu hale getirildiği kenttir" şeklinde yapmıştır. Hizmetlerin insanların beklenti ve ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde olması, faaliyetler yerine getirilirken kamu yararının göz önünde tutulması, doğru zaman diliminde hayata geçirilmesi; özetle toplumsal ve zamansal olarak da dikkate alınması gerekmektedir (Yalçındağ, 1997). Bu boyutları yerel yönetimin etkinliği açısından ele alırsak toplumsal boyutta hizmetlerin ve faaliyetlerin vatandaşın beklenti ve ihtiyaçlarına yönelik olması ve kamu yararı yani toplumsal yönünü sürekli dikkate alması gerekmektedir. Zaman boyutunda ise yerel yönetimlerin faaliyetlerini doğru zaman diliminde ve en kısa sürede (proje süresi içinde) tamamlaması gerekmektedir.

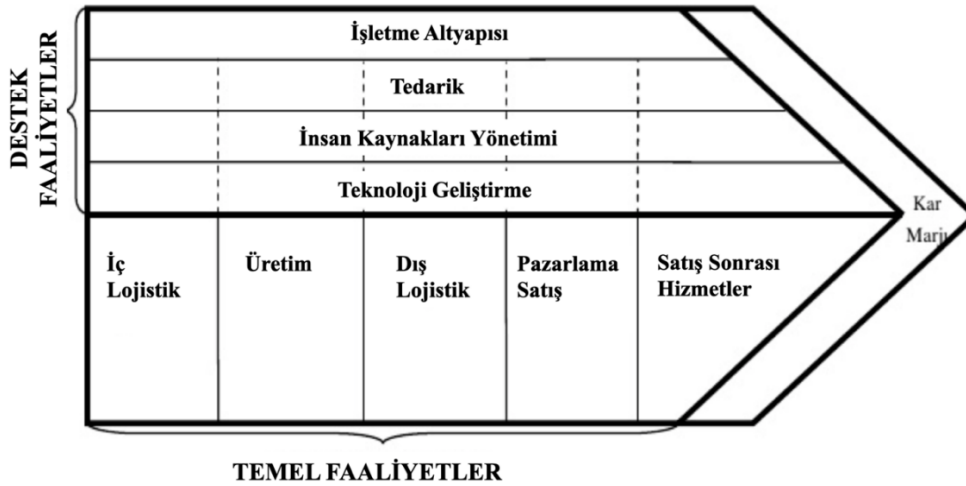
Coşkun ve Öztürk'e (2002) göre yerel yönetimlerin etkinliğinin artırılması adına dikkate alınması gereken konuların başlıcaları planlama, verimlilik, hizmet kalitesi, hizmet standardı, katılımcı yönetim, çalışan politikası ve kurumsal yapının adaptasyondur.

Yerel yönetimlerin sınırlı olan kaynaklarla daha kaliteli hizmet sunulabilmesi için modern yönetim tekniklerini kullanması ve kurumsal yapılarını buna uygun tasarlaması gerekmektedir. Bu tekniklerden iş analizi, personel planlama, görev tanımları, hizmet içi eğitim, liderlik, ödüllendirme, yerleşim planlaması, stok yönetimi, proje yönetimi, bütçe ve performans yönetimi vb. uygulandığında belediyelerin daha etkin ve verimli yönetilmesi mümkün olacaktır (Özer, 2013).

Yerel yönetimlerin, dış dünyadaki hızlı değişime hızlı bir şekilde yanıt verebilmesi için ilk başta anlayışını, kurumsal yapısını yeniden gözden geçirerek yapılandırması gerekmektedir (Kurt, 2003). Yeniden yapılanma için yerel yönetimlerin vatandaşı merkeze alan bir anlayışla paydaşları ile birlikte sorumluluk alması, yerine getirmekte zorlandığı hizmetleri özel sektörden alması, personelini güçlendirmesi, maaş ve çalışma ortamını iyileştirmesi, yönetim tekniklerini kullanması elzemdir (Stewart, 1989: 2-4). Çoşkun ve Öztürk (2002)'ün de ifade ettiği gibi hizmetlerin daha kaliteli yerine getirilmesi için teknolojinin kullanılması, insan kaynağı ve mali kaynağın etkin yönetimi, performans yönetimi gibi konuların kamu ve yerel yönetimler tarafından ön plana alınması gerekmektedir.

4. YÖNTEM

Yerel yönetimlerde kurumsal sürdürülebilirliğin sağlanması için birçok çalışma yapılmasına rağmen modern yönetim tekniklerini barındıran, etkili, verimli ve ekonomikliğe dayalı, küresel ölçüde, bir model çerçevesinde ele alınan, kurumun her seviyesinde hâkim kılınan bütünsel bir yaklaşım bulunmamaktadır. Ayrıca bu perspektiften yönetim kalitesi değerlendirilmemekte ve iyileştirmeye açık alanlar tespit edilmemektedir. Bu da kişilere bağımlı bir yönetim anlayışını, kaynakların etkin kullanılmamasını, israfı ve çalışanlarda motivasyon düşüklüğünü beraberinde getirme riski taşımaktadır. Buradan hareketle yapılan literatür taraması sonrası elde edilen bilgiler ışığında yerel yönetimler için kurumsal sürdürülebilirlik yaklaşımının ne olması ve hangi konulara odaklanmaları gerektiği, ayrıca bunun nasıl sürdürülebilir kılınacağına dair yönetilmesi gereken alanlar olarak "hedefler", "kaynaklar", "süreçler", "vatandaş memnuniyeti" temaları belirlenmiştir. Porter (1985: 37) tarafından geliştirilen Şekil 1'de yer alan organizasyonel yapı ve değer zinciri yaklaşımından esinlenerek kavram çerçeve oluşturulmaya çalışılacaktır.



Şekil 1. M. Porter organizasyonel yapı ve değer zinciri

Araştırmada yerel yönetimlerde kurumsal sürdürülebilirlik yaklaşımı, belirlenen hedefler, kaynaklar, süreçler (faaliyetler) ve vatandaş memnuniyeti temalarının nasıl gerçekleştiği ve yeni bakış açısıyla nasıl ele alınması gerektiği, nitel araştırma teknikleri kullanılarak tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu araştırma tekniği katılımcıların araştırmanın konusu hakkındaki düşüncelerini, beklentilerini, deneyim ve önerilerini ortaya çıkarmak için tercih edilmiştir. Nitel araştırmalar, ürünlerden ya da çıktılardan daha çok süreç ile ilgilenmektedir. Dolayısıyla nitel araştırmalarda anlamlar önem taşımaktadır. Nitel araştırmada tümevarım ilkesi hâkimdir. Araştırmacı topladığı tanımlayıcı ve ayrıntılı verilerden yola çıkarak incelediği probleme ilişkin ana temaları ortaya çıkarma, topladığı verileri anlamlı bir yapıya kavuşturma, yani bu verilerden çıkarak kuram oluşturma çabası içerisindedir (Yıldırım ve Şimşek, 2016: 45-47). Çalışmanın araştırma deseni olgubilim (fenomenoloji)'dir. Olgubilim deseni aslında farkında olduğumuz fakat derinlemesine bir görüş sahibi olmadığımız olgulara odaklanmak olarak tanımlanmaktadır. Bize tümüyle yabancı olmayan aynı zamanda da tam anlamını kavramayamadığımız olguları araştırmayı amaçlayan çalışmalar için olgubilim uygun bir araştırma zemini oluşturur. Olgubilim çalışmaları seçilen konuya odaklanarak başarı veya başarısızlığın çeşitli açılardan ne anlama geldiğini ortaya çıkarmaya amaçlayabilir (Yıldırım ve Şimşek, 2016: 69-70). Bu araştırmada olgubilim deseni, Türkiye'de yer alan bir büyükşehir belediyesinde görev yapmış üst düzey yöneticilerin, sürdürülebilirlik yaklaşımına, etkin ve verimli yönetim süreçlerine en yakın, ulusal ve uluslararası alanda en iyi belediyeçilik uygulamalarını yakından takip eden, en çok yerel yönetim tecrübesine sahip olduğu olgusundan hareketle tercih edilmiştir.

Nitel veri toplama tekniklerinden yarı yapılandırılmış görüşme tekniği kullanılmıştır. Yarı yapılandırılmış görüşmeler ise sahip olduğu belli düzeydeki standartlığı ve esnekliği nedeniyle, yazmaya ve doldurmaya dayalı testler ve anketlerdeki sınırlılığı ortadan kaldırması ve belirli bir konuda derinlemesine bilgi edinmeye yardımcı olması nedeniyle araştırmacılar tarafından sıklıkla tercih edilmektedir (Yıldırım ve şimşek, 2016: 133-134).

4.1. Çalışma Grubu

Türkiye ve Dünyada yerel yönetimlere örnek olmak isteyecek bir model önerisi olduğu için araştırma evreni tüm yerel yönetimlerdir. Araştırmanın yapılacağı kurum belirlenirken, tecrübesi ile diğer yerel yönetimler tarafından takip edilen, rol model olacak iyi uygulama örnekleri olan bir yerel yönetim seçilmiştir. Araştırmanın alışma grubu amaçlı örnekleme yöntemlerinden zincir örnekleme yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Çalışma devam ettikçe görüşülen kişi sayısı büyüyerek devam edecek sonra hep belli kişiler öne çıkacak araştırmacı görüşmesi gereken kişi sayısı azalmaya başlayacaktır (Yıldırım ve şimşek, 2016: 122). Araştırmanın öğesi yerel yönetimde çalışan ve görevde olan bir yöneticidir.

Araştırma Ocak-Nisan 2019 tarihleri arasında bir yerel yönetimde görevli 24 üst düzey yönetici ile gerçekleşmiştir. Tablo 1 incelendiğinde araştırmaya katılan yöneticilerden 19'unun 15 yıl üzeri tecrübeye sahip olduğu gözükmemektedir. Katılımcılar konusunda tecrübeli, karar verici pozisyonunda bulunan, büyük bütçeleri ve ekipleri yöneten kişilerdir.

Tablo 1. Görüşmeye katılanlar

<i>Katılımcı</i>	<i>Cinsiyet</i>	<i>Kıdem</i>	<i>Eğitim Seviyesi</i>	<i>Unvan</i>	<i>Mesleği</i>
K1	Erkek	29	Doktora	Üst Düzey Yönetici	Endüstri Mühendisi
K2	Erkek	13	Yüksek Lisans	Müdür	Kamu Yönetimi
K3	Erkek	19	Yüksek Lisans	Müdür	Uluslararası İlişkiler
K2	Erkek	13	Yüksek Lisans	Müdür	Kamu Yönetimi
K4	Erkek	14	Yüksek Lisans	Müdür	Kamu Yönetimi
K5	Erkek	22	Yüksek Lisans	Daire Başkanı	şehir Planlama
K6	Erkek	15	Yüksek Lisans	Daire Başkanı	şehir Planlama
K7	Erkek	14	Lisans	Müdür	şehir Planlama
K8	Erkek	24	Lisans	Daire Başkanı	Mimar
K9	Erkek	24	Doktora	Müdür	Endüstri Mühendisi
K10	Erkek	11	Yüksek Lisans	Müdür	Mimar
K11	Erkek	21	Lisans	Daire Başkanı	Bilgisayar Mühendisi
K12	Kadın	20	Doktora	Danışman	evre Mühendisi
K13	Erkek	32	Lisans	Daire Başkanı	Muhasebe
K14	Erkek	38	Lisans	Daire Başkanı	İktisat
K15	Erkek	26	Yüksek Lisans	Müdür	Kamu Yönetimi
K16	Erkek	25	Yüksek Lisans	Müdür	Kamu Yönetimi
K17	Kadın	29	Lisans	Daire Başkanı	İşletme
K18	Erkek	21	Lisans	Müdür	Kamu Yönetimi
K19	Erkek	16	Yüksek Lisans	Müdür	İktisat
K20	Erkek	20	Lisans	Daire Başkanı	İnşaat Mühendisi
K21	Erkek	21	Lisans	Müdür	İnşaat Mühendisi
K22	Erkek	9	Doktora	Daire Başkanı	İnşaat Mühendisi
K23	Erkek	20	Lisans	Daire Başkanı	Doktor
K24	Erkek	26	Lisans	Müdür	İnşaat Mühendisi

4.2. Veri Toplama Araçları

Araştırmada veri toplama aracı olarak yarı yapılandırılmış görüşme formu kullanılmıştır. Görüşme formu yöntemi, benzer konulara yönelmek yoluyla değişik insanlardan aynı bilgilerin alınması amacıyla hazırlanır (Patton, 1987: 111). Görüşmecii önceden hazırladığı konu veya alanlara sadık kalarak hem önceden hazırlanmış soruları sorma hem de bu sorular konusunda daha ayrıntılı bilgi alma amacıyla ek sorular sorma özgürlüğüne sahiptir. Formda yer alan araştırma soruları literatür taraması sonrası edinilen bilgiler doğrultusunda oluşturulmuştur. Ayrıca formlardaki sorular hazırlanırken kurumsal sürdürülebilirlik alanında özellikle yeni model önerisi getirme, yönetim stratejisi, uygulama ve iletişim, çalışan yetenekleri,

kurumsal vatandaşlık, sosyal verimlilik, ihtiyaçların yönetimi, sürdürülebilirliği performansı gibi konularda yapılan nitel araştırmalar da detaylı incelenmiştir (Gebel, 2004: 99-123; Benn ve diğerleri, 2006: 156-163; Young ve Tilley, 2006; Yılmaz, 2008). Konusunda uzman, yerel yönetimlerde iç tetkik, öz değerlendirme, iç kontrol gibi değerlendirme yapma tecrübesine sahip yerel yönetimlerde görevli yöneticiler (K2, K3) tarafından kontrol ettirilmiş, uzmanlar tarafından soru maddelerinin geçerliliği saptanmış ve yeterli görülmüştür. İlk olarak pilot uygulaması yapılmasının ardından son şekli verilmiştir. Görüşme formunda vatandaşın ihtiyaç ve beklentilerinin nasıl anlaşıldığı, süreçlerin nasıl yönetildiği, hedef belirleme sistematigi, kaynakların etkin ve verimli kullanımının ölçüm şekli, faaliyetleri sürdürülebilirliğinin nasıl sağlandığı ve kurumsal sürdürülebilirlik açısından ideal yapının tasarımı gibi sorular yer almaktadır. Geliştirilen soruların kolay anlaşılması, odaklı ve açık uçlu sorular olması, yönlendirmekten kaçınılması gibi ilkelere dikkat edilmiştir.

4.3. Verilerin Toplanması ve Analizi

Araştırma verileri katılımcılarından kendi çalışma ortamında randevu verdikleri zaman diliminde toplanmıştır. Görüşme soruları katılımcılara yöneltilmiş olup verilen cevaplar izin verilmesi durumunda ses kayıt cihazı ve izin verilmemesi durumunda not alma tekniği ile kayıt altına alınmıştır. Betimsel analiz yöntemiyle elde edilen veriler, ortaya çıkan temalar altında özetlenmiş ve yorumlanmıştır. Betimsel analizde veriler araştırma sorularının ortaya koyduğu temalara göre düzenlenebileceği gibi, görüşme sürecinde kullanılan sorular ya da boyutlar dikkate alınarak da sunulabilir. Bu analiz türünde görüşülen bireylerin görüşleri çarpıcı bir biçimde yansıtmak amacıyla doğrudan alıntılarla sık sık yer verilir. Burada amaç elde edilen bulguları düzenlenmiş ve yorumlanmış bir biçimde okuyucuya sunmaktır (Yıldırım ve Şimşek, 2016: 239).

4.4. Geçerlilik ve Güvenirlik

Araştırmada iç geçerlilik (inandırıcılık) sağlanması adına görüşme süreleri uzun tutularak güven ortamı oluşturulmaya çalışılmış, uzun süreli etkileşim içinde olunmuştur. Görüşme bitiminde görüşülen kişiye öğrenilen özet bilgiler aktararak elde edilen veriler katılımcılara teyit ettirilmiştir. Ayrıca uzman araştırmacı ile değerlendirme toplantısı yapılmış ve araştırma süreci, toplanan veriler, ulaşılan sonuçlar aktarılmıştır. Uzmanın bu süreçteki soruları cevaplanmıştır. Ayrıca araştırmacının tutarlılığını artırmak için bulguların tamamı yorum yapılmadan doğrudan verilmiştir.

Erlanson ve diğerleri (1993) araştırmacının sonuçlarının dış geçerliliğini (aktarabilirliği) artırmak için iki yöntem önermektedir: ayrıntılı betimleme ve amaçlı örnekleme. Nitel araştırmada genele ait bilgileri ortaya koymak yerine hem genele hem de özele ait bilgilere ulaşma yöntemi vardır. Bu amaçla araştırmaya dahil edilen veri kaynaklarının bu farklılığı yansıtacak biçimde seçilmesi önem kazanmaktadır. Amaçlı örneklemenin, aktarabilirlik açısından bir diğer artısı süreç içerisinde ek örnekleme yapmaya olanak verecek bir esnekliğe sahip olmasıdır (Yıldırım ve Şimşek, 2016: 282). Bu araştırmada amaçlı örnekleme yöntemi kullanılmıştır.

Tutarlılık veri toplama araçlarının oluşturulması, verilerin toplanması ve analizi aşamalarından kendini göstermelidir (Yıldırım ve Şimşek, 2016: 283). Araştırmacının iç güvenilirliğini (tutarlık) artırmak için katılımcıların cevapları bulgular kısmında herhangi bir yorum eklenmeden doğrudan verilmiştir.

Araştırmacının dış güvenilirliğini (teyit edilebilirlik) artırmak için ulaşılan yayınların, yorumların ve önerilerin ham verilere geri gidildiği zaman teyit edilip edilmediğine ilişkin bir değerlendirme yapılmak istenmesi durumunda ham veriler saklanmaktadır.

5. BULGULAR

Katılımcılara görüşme esnasında, araştırma sorularına verdiği cevapların ve görüşme süresince söylenenlerin tümü gizli olduğu bilgisi verilmiştir. Bu bilgileri araştırmacıların dışında kimsenin görmesinin mümkün olmadığı ve araştırma sonuçlarını yazarken katılımcıların isimlerini rapora yansıtmayacağı taahhüt edilmiştir. Raporda katılımcıya "K" harfi kodlanarak "K1, K2, K3...K24" şeklinde numaralar verilmiştir. Görüşme soruları daha önceden belirlenen temalara göre hazırlanmıştır. Bazı görüşme soruları, "Hedeflerinizi nasıl belirliyorsunuz?", "Vatandaş ihtiyaç ve beklentilerinin karşılandığını nasıl anlarsınız?", "Kaynaklarınızın etkin ve verimli kullanıldığını nasıl anlarsınız?", "Süreçlerinizi yeniden tasarlamak isterseniz ideal olarak nasıl tasarladınız?" vb. şeklindedir. Görüşmede yer alan sorular yerel yönetimlerin kurumsal sürdürülebilirlik bakış açısıyla faaliyetlerini nasıl değerlendirdiklerini anlamaya yönelik hazırlanmıştır. Katılımcıların verdiği cevaplar önceden belirlenen temalara göre analiz edilmiştir.

5.1. Model

Görüşmeye katılan üst düzey yönetici K1, model ile ilgili yeni yerel yönetim anlayışının yeni hükümet sistemi ile uyumlu olması gerektiğini düşünmektedir. Şehirleri 2071, 2053, 2034'lere taşıyacak hedeflerle

yönetilmesi gerektiğini belirtmektedir. Hedefler doğrultusunda kaynakların verimli kullanılması ve kaynakların etkin ve yalın süreçlerle hizmete dönüşmesi gerektiğini ifade etmektedir. “Belirlenmiş misyon ve vizyon doğrultusunda vatandaş memnuniyetini sağlamak için tüm faaliyetlerin planlanması, projelendirilmesi ve yapılması gerekir. Vatandaş ve çalışan memnuniyetini sağlayacak kavramlar göz önünde bulundurulmalıdır”. “Tüm sistemi kurumsallaştırmayı, tüm faaliyetleri sürdürülebilir kılmayı tüm işlemleri gerçekleştirirken gelecek vizyonu ile hareket etmeyi ön planda tutmalıyız”. Yerel yönetimler vatandaşın açığa çıkmamış ihtiyaçlarını karşılayacak hizmetleri sunarken; vatandaş tanıması, bilgi vermesi, ikna etmesi ve kendini hatırlaması gerektiğini belirtmiştir. Vatandaş memnuniyetini elde etmek için süreçleri etkin yönetebilmek, bunun için de insan kaynaklarındaki yetenek yönetimini ilişkilendirmek gerektiğini birleştirerek anlatmıştır.

Birleşmiş Milletlerin (BM) 2030 Sürdürülebilir Kalkınma hedeflerinin gerçekleşmesi için yerel yönetimlerin önemli paydaşlardan birisi olduğunu vurgulayan K12, BM 2030 gündeminde tüm ülkelerin, bütünleşik ve sürdürülebilir yerleşim planlaması yapmasının ve insan kaynağı kapasitesini artırmasının yer aldığını ifade etmiştir. “Dünyadaki şehirler, kronik, akut ve sosyal strese neden olan farklı baskı türlerine karşı hassastır. Kaynaklar için mevcut kapasitenin belirlenmesi, gelecekteki stratejilerin geliştirilmesinde kaynakların doğru ihtiyaçlara göre kullanılması elzemdir”. Birleşmiş Milletler Küresel İlkeler Sözleşmesinde, uzun vadeli finansal başarı ve aynı zamanda pazarlara değer katmayı sağlamak için kurumsal sürdürülebilirliği benimseyen kuruluşların başarıyı ölçmesi, değişen koşullara göre uzun vadeli bir liderlik taahhüdü olması ve dış paydaşların da geliştirmesi gerektiğinden bahsedilmiştir. Görüşmelerden yola çıkarak model yapısının “hedefler”, “kaynaklar”, “süreçler (faaliyetler)” ve “vatandaş memnuniyeti” başlıkları altında toparlanmasının uygun olacağı sonucu ortaya çıkmıştır.

5.2. Hedefler

Üst düzey yönetici olan K1, yerel yönetimlerin Türkiye'nin 2071, 2053, 2034 hedeflerine ulaşmak için gelecek vizyonu olması gerektiğini belirtmektedir. Bunun için şehirlerin amaç ve hedeflerini gerçekleştirirken nasıl bir duruş sergileyeceklerini belirlemesi gerektiğini ifade etmektedir. Şehrin bir politikasının olması, şehrin hangi özellikleri ile cazibe merkezi olacağını planlaması, odaklanacağı alanların seçilmesi gerektiğini aktarmaktadır. Bu alanda da güçlü bir algının oluşturulması gerektiği, bunun için kamu ve özel sektördeki ilgili paydaşları ile iş birliği yapması gerektiğini belirtmektedir. Gelecekte kendini görmek istediği yer için hedefler ve hedeflere ulaştıracak stratejiler belirlenmesi, bunları gerçekleştirecek kaynakları tanımlaması gerektiğinden bahsetmektedir.

K1, hizmetleri anlatırken “Vatandaş tanımamız ihtiyaçları karşılayabilmemiz için problemleri tespit etmemiz, teşhis etmemiz ve tedavi etmemiz gerekiyor, takip ile de hizmetlerin devamlılığı sağlanmalıdır. Vatandaşın sorunlarını çözerken şehir ile ilgili kavramı da göz önünde bulunduruyoruz, Vatandaş şehirde yaşıyor, vatandaşın sorunlarını çözerken hedefimiz akıllı şehir, sürdürülebilir şehir, dayanıklı şehir kavramı içerisinde vatandaşın probleminin çözülmesi”. Süreklilik yaklaşımıyla yapılan faaliyetleri devamlı kılacak yöntemler geliştirmenin önemini ve şehirde yaşayanların memnuniyeti için şehri kaldırmak gerektiğini bunun için de sürekli gelişimi ön planda tutmak gerektiğini ifade etmektedir. Bunun için “Vizyoner bir yönetim anlayışımız var, geleceğe odaklanıyoruz, geleceğe bakıyoruz, geleceği görebiliyoruz. Vizyoner yönetimle değişimi yönetmeli, itibarı sağlamalı, çalışanı motive etmeli ve paydaş beklentilerini karşılamalıyız.”

K1, Yerel yönetimin yapmış olduğumuz işleri kurumsallaştırmasını, sınırları belli olan, standartların konulduğu, sorumlukların tanımlandığı, işlerin sürdürülebilir hale getirildiği bir nokta haline getirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Kurumsallaşma odaklı bir yönetim anlayışına sahip olunması ve performansın sürekli olarak takip edilmesi gerektiğini belirtmiştir.

“Öğrenen bir organizasyonla kaynaklarımızı etkin yönetiyoruz, sürekli kendini geliştiren bir anlayışla faaliyetlerimizi gerçekleştiriyoruz. Birim zamanda maksimum hizmet, maksimum memnuniyet, minimum maliyet sağlayabilecek bir organizasyonel yapı kuruyoruz. Bu yapıda bizim kurumsallaşmamıza neden oluyor”.

K3 ise hedeflerin belirlenirken dış çevredeki ve iç çevredeki gelişmelerin iyi analiz edilmesi gerektiğini belirtmektedir. Politik, ekonomik, sosyal, çevresel, hukuksal analizleri ve çalışan analizleri iyi yapıldıktan sonra kurumu bekleyen fırsatlar ve tehditlerin çıkarılması ve güçlü ve zayıf yönleri göre bir duruş sergilenmesi gerektiğini ifade etmektedir. “Daha sonra misyon ve vizyon ortaya konulmalıdır. Hedefler ve stratejiler belirlenmelidir. Bu hedefleri ulaşmak için kaynak planlaması yapılmalı ve buna ulaşacak eylemler yıllık olarak programlanmalıdır” şeklinde görüş bildirmektedir.

5.3. Kaynaklar

İnsan kaynağı yönetimi üzerine çalışan K17, günümüzde kurumların ve işletmelerin rekabette üstünlüğü belirleyen en kıymetli varlığının insan olduğunu ve bu bakış açısıyla çalışanların memnuniyetini en üst düzeye çıkarmak için yeteneklerinin geliştirilmesi, performansının sürekli ölçülerek kendilerine geri bildirim yapılması gerektiğini belirtmektedir. “Aslında her şey kurumun ve birimlerin stratejileri ile başlıyor, bu stratejileri gerçekleştirecek insan kaynağını planlaması çok önemli. Aksi halde verimsizlik oluyor. Çalışanları doğru miktarda, doğru yerde istihdam edilen personelin yetenek bazlı, süreç bazlı, hedef bazlı performansı takip edilmeli”. Personelin sürekli gelişimini vurgulayan K19, performans ölçümü sonrası açığa çıkan iyileştirme alanlarında eğitimlerin planlanması, yeni bilgi ve beceriyle donatılması için öğrenme sistemlerinin kurulması gerektiğini ileri sürmektedir. Kariyer haritaları oluşturarak personelin motivasyonunun sürekli artırılması gerektiğini vurgulayan K18, “Tanıma ve takdir sistemi ile sürekli başarıya özendirilmesi gerekiyor. Çalışanlarla sürekli iletişim halinde olunması gerektiğini, çalışmaların iyileştirme faaliyetlerine katılımının özendirilmesi, motivasyonun yüksek tutulması çalışan verimini artırıyor.”

Mali varlıklar yönetimi üzerine uzmanlaşan K14, yerel yönetimlerin sahip olduğu kaynakların sınırlı olduğunu ve ekonomik, etkili ve verimli kullanılması gerektiğini altını çizerek ifade etmiştir. “Yapılan harcamaların vatandaşın talep ettiği sonuçları doğurması gerekir. Kullanılan kaynakların tam karşılığının alınmasında hesap verebilirliği ve saydamlığı esas alan bir finansal yönetim sisteminin rolü büyüktür. Bu çerçevede finans ve muhasebe yönetimi kapsamında sistemler geliştirmeli ve uygulamalı, gelir-gider dengesine katkıda bulunacak kaynak geliştirme çalışmaları yürütmelidir”. Tasarruf yapmanın önemine vurgu yapan K16, “Kaynaklarını etkin kullanabilmek için hizmetlerin tasarımından sunulmasına kadar geçen her aşamada ve tüm destekleyen süreçlerde israfı ortadan kaldıracak tasarruf önlemlerini planlayarak devreye almalı, böylece gelir ve giderlerin dengelenmesine katkıda bulunmalıdır”. K15 ise iş süreçlerinin etkinliği ve verimliliği, mali raporlama sisteminin güvenilirliği, yasa ve düzenlemelere uygunluk konularında makul bir güvence sağlamak için tasarlanan iç kontrol sistemi, iç denetim faaliyeti ile değerlendirilmelidir” şeklinde açıklamalarda bulunmuşlardır.

Fiziki varlıkların paydaşların istek ve ihtiyaçlarını karşılayacak hizmetler üretmek için kullanıldığını belirten K13, yerel yönetimlerin sınırsız ihtiyaçları sınırlı kaynaklarla karşılama durumunda olduğundan gerçekleştirmeyi hedefledikleri hizmet seviyesine uygun varlık portföyü planlamanın, kullanımının ve elden çıkarımının önemli olduğunu ileri sürmektedir. Ayrıca satın almalar yaparken teknik özelliklerin tam tanımlandığı; doğru özellikte, doğru kalitede, doğru miktarda, doğru zamanda ve doğru maliyetle tedariklerin yapılması gerektiğini belirtmiştir. Mal, hizmet ve yapım işlerinde yüklenici ile çalışılması durumunda sözleşmelerin çok doğru hazırlanması ve yerli milli tedarikçilerin önceliklendirilmesi gerektiğini düşünmektedir. Gerek K14, gerekse K13 kaynak geliştirmenin önemli olduğunu ve mali performansı doğru yönde etkileyecek etkinliği ve verimliliği artıracak, kaynak geliştirme imkânlarını yerel yönetimlerin araştırması gerektiğini belirtmektedir.

Günümüzün petrolünün yeni en önemli kaynağının veri olduğu belirten K11, “Yerel Yönetimlerde pek çok faaliyet gerçekleştirilmekte ve bu faaliyetlere ait çok sayıda kayıt oluşturulmaktadır. Kurumun gerçekleri olan bu kayıtlar veri olarak tanımlanır. Yerel Yönetimler, verilere erişimi ve verilerin kullanılmasını düzenleyen ve yöneten kurumsal veri tabanı yönetimi yaklaşımlarına ihtiyaç duyarlar”. Teknolojiyi hem hizmet kalitesi hem de etkili, verimli ve ekonomik süreç ve faaliyetler için bir kaynak olarak değerlendirmesi, hızla değişen teknolojiye uyum sağlamak için teknolojiyi yönetmesi gerektiğinin altını çizmiştir. Akıllı şehir, sürdürülebilir şehir gibi kavramlarla birlikte dijitalleşme ile yapay zekâ, büyük veri ve ileri analitik, bulut bilişim, otonom sistemler, akıllı sensör gibi dijital teknolojiler kullanılarak karar alma süreçlerinin iyileştirilmesi gerektiğini düşündüğünü ifade etmektedir. Bu kadar dijitalleşmenin güvenlik riski taşıdığını ve siber güvenlik alanında çalışmalar yapılması gerektiğini anlatmaktadır.

Zamanı en kısıtlı ve geri dönüşümü mümkün olmayan bir kaynak olarak tanımlayan K9; karar, bilgilendirme, gözden geçirme, koordinasyon vb. amaçlarla gerçekleştirilen kurum içi toplantılarla ilgili toplantı yönetimi kurallarının belirlenmesi, toplantıların zaman kayıplarına neden olmasının önüne geçilmesi gerektiğini düşünmektedir. “Zamanın etkin yönetilmesini, işlerin hedeflenen kalite ve maliyette tamamlanmasını sağlayan araçlardan birisi de proje yönetimi yaklaşımıdır. Uygun olan alanlarda, faaliyetlerin proje yönetimi disiplini içinde ele alınması, kalite, maliyet ve zaman boyutlarında isabetli sonuçlara ulaşılmasını sağlayacaktır”. Yerel yönetimlerin işi ilk seferde doğru yapmak olarak tanımlanan sıfır hata yaklaşımının; hatalardan kaynaklanan zaman kayıplarını azaltmayı, hizmetleri tam, doğru ve zamanında sunmayı hedeflemesi gerektiğini belirtmiştir. Minimum girdi ile maksimum kalitede, maksimum iş üretmek şeklinde tanımladığı verimliliği artırmak ve bu artışı sürekli kılmak için uygun koşullar oluşturmanın önemli olduğunu düşünmektedir.

5.4. Süreçler

Yerel yönetimlerin en kritik sürecinin planlama olduğunu ifade eden K5, Şehirlerin doğal, tarihi ve kültürel değerlerini korumak, geliştirmek, yaşam kalitesi yüksek, güvenli çevreler oluşturmak, sürdürülebilir, yaŐanabilir Şehirler vizyonuyla mekânsal planlar üretilmek gerektiğini vurgulamaktadır. K6 st ölçekli planlama vurgusu yaparak, “Yerel yönetimler st ölçekli planların, mekânsal ve sektörel hedeflerine ulaşması için gelişme eğilimlerini analiz ederek uzun vadeli yol haritasını belirleyen eylem planlarına referans veren araçlar ve aktörler arasındaki ilişkileri ve rolleri düzenleyen uygulama araçları ve metodolojisini tarifleyen master planlar yapılmalıdır. Uygulama, mekânsal planlar ile st ölçekli plan kararları arasındaki uyum ve entegrasyon sağlanmalıdır” ifadelerini kullanmıştır. Planlar yapılırken ihtiyaç analizine vurgu yapan K7, projeler bugünün ihtiyaçları ile henüz açığa çıkmamış ancak gelecekte ortaya çıkacak ihtiyaçları öngörerek, insan, zaman, mekân ve finans kaynakları gözetilerek ihtiyaç önceliklerine göre planlanması ve mekânsal planlarla uyumlu olarak geliştirilmesi gerektiğini ileri sürmektedir. Ayrıca projelerin yer seçim kararları mekânsal planlar ve mevzuata uygun olarak belirlenmesi, projenin mimarisi, çevresindeki mimari karakter ile yerleŐimin kimliğiyle uyumlu olması gerektiğini ifade etmektedir. K6 uçtan uca bakıldığında projenin planlanması, projelendirilmesi, yapım ve işletim süreci birlikte ele alınması ve değerlendirilmesi gerektiğini dŐnmektedir.

Süreç mantığında ele alındığında doğru ihtiyaç analizi ve yer seçimi tamamlandıktan sonra proje sürecinin baŐlıėını vurgulayan K8, yapımı planlanan kentsel projelerin ekonomik, sosyal ve çevresel açıdan fizibilite analizlerinin yapılması, yatırım kararının uygunluğunun değerlendirilmesi gerektiğini dŐnmektedir. “İdeal olan aslında projelerin olumsuz çevresel etkiyi ortadan kaldıran, enerji verimli, uzun ömürlü, mümkün olduğunca geri dönüşüme uygun, paylaŐım ekonomisi vb. geleceğin trendleri ile uyumlu tasarım anlayışına sahip olmalıdır”. Projelerin içinde barındırdığı pek çok bileşen nedeniyle karmaşık yapılar olduğunu ifade eden K10, “Tasarım, uygulama, bakım ve işletme aŐamalarındaki uzmanların da yer aldığı, uygulama aşaması ile sürekli bir ilişki kurulması gereken, st seviyede koordinasyon gerektiren bir süreç olarak yürütülmelidir. Tasarım aşamasında tasarımın konseptte uygunluğunu değerlendirmek ve ilgili taraflar arasında koordinasyonu sağlamak amacıyla gözden geçirme toplantıları yapılmalıdır” Şeklinde düşündüğünü belirtmektedir.

Uygulamada proje sürecinin doğru yönetildiğinde işlerinin kolaylaŐtıėını belirten K20, uygulamanın etkinliğini sağlamak için proje metodolojisine uygun proje yöneticisi görevlendirdiğini ve minimum hatayla sürecin gerçekleşmesi için detaylı uygulama proje planı oluŐturduklarını ifade etmektedir. Uygulama yönetimini yaparken yasal mevzuata uygunluğunu sağlayacak tedbirler aldığını belirtmektedir. Uygulama projelerini yöneten K21 ve K24 uygulama aŐamasının istenilen sonuçları zamanında ve doğru bir Şekilde sağlaması için aksaklıklar n görülmesinin ve oluşan problemlerin hemen zme kavuşturulması için sürekli takibinin sağlanması önemli olduğunu dŐnmektedirler. Uçtan uca bir süreç mantığında düŐündüklerinde işletmeye almadan önceki son iŐlemin kabul işlemi ile proje kapatma işlemi olduğunu anlatmaktırlar.

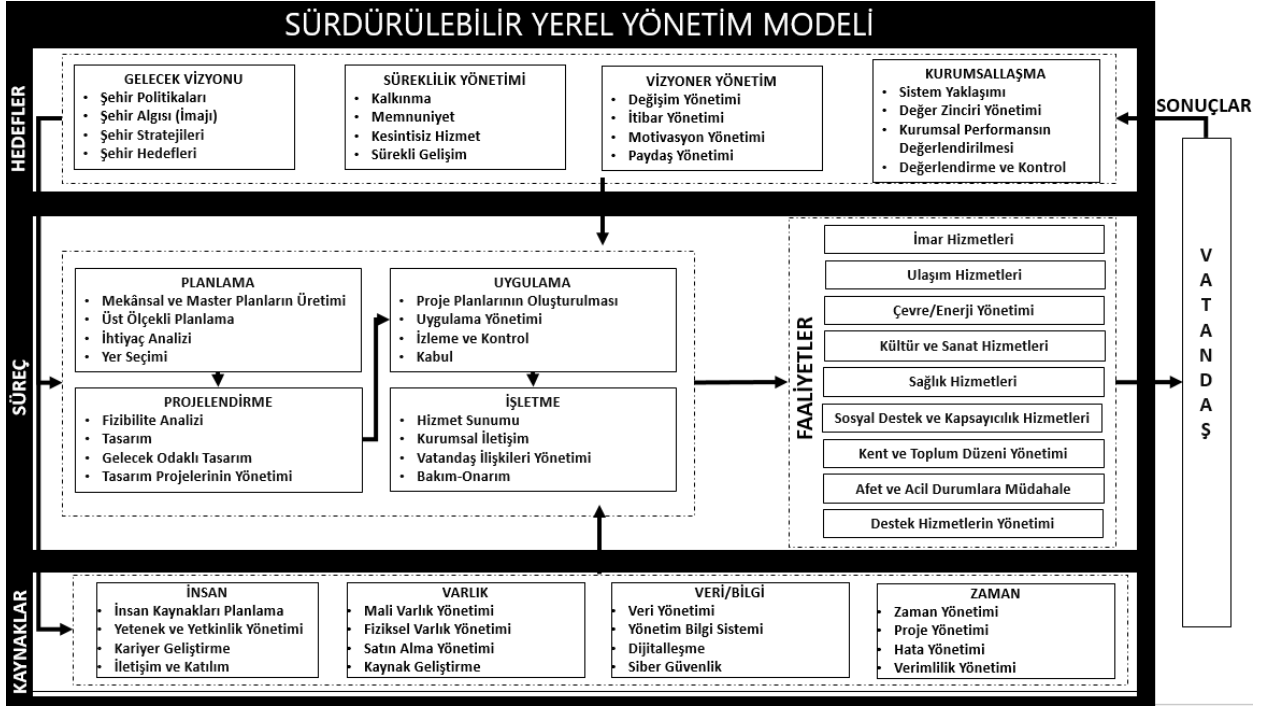
Planlamanın doğru yapıldığı, doğru proje ile yapılan doğru uygulamanın işletmesinin kolay olduğunu düŐünen K23, yerel yönetimlerin faaliyet gösterdikleri alanda vatandaŐa temas eden noktalarda görev, yetki, sorumluluk dhilinde hizmetlerini sunmakta olduğunu belirtmektedir. “Hizmetin sunulduğu işletmenin ve hatta içindeki varlıkların, etkin, planlı ve sürdürülebilir kullanımını sağlayacak bakım-onarım sistemleri oluşturmak lazım. Herhangi bir aksaklık nedeniyle oluşan ya da oluŐabilecek olan hizmet kesintilerini analiz ederek gerekli tedbirleri alınması elzemdir”. K22 ve K2 hizmetleri sunarken vatandaŐa bir taahhütte bulunulması ve bunu hizmet seviyesi hedefi olarak belirleyip, bu seviye ulaŐılıp ulaŐılmadıėının sürekli değerlendirilmesi gerektiğini ifade etmektedirler.

5.5. Vatandaş Memnuniyeti ile İlgili Görüşler

K4 hizmetlerin kalitesinin yükseltilmesi ve vatandaş gözünde nasıl algılandığının görülmesi için vatandaş sesine kulak vermenin gerekli olduğunu belirtmektedir. “Vatandaşın temas ettiği tüm noktalarda olumlu deneyim yaŐamasını sağlayacak, olası olumsuzlukları ortadan kaldıracak deneyim yönetimi yaklaşımını benimsek lazım”. Faaliyetleri yerine getirirken hedef kitlenin sunulan hizmetler hakkında farkındalık kazanması için tanıtım ve bilgilendirme faaliyetlerini de içeren pazarlama faaliyetlerini yürütmesinin elzem olduğunu ileri sürmektedir. “Değer zinciri olarak değerlendirecek olursak asıl hizmetlerin planlanırken vatandaşın gereksinimleri saptanmalıdır. Projeciler bu gereksinime uygun hizmetler tasarlamalı, yapımcılar yapmalıdır. IŐletmeye alındıktan sonra müşteri ile iletiŐimde olmalıdır. İdealde daha fazla hedef kitleye hitap etmek için hizmetlere yönelik pazarlama, tanıtım, iletişim planları yapılmalı, pazarlamanın 4P si yerel yönetimler tarafından da kullanılmalıdır”.

6. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Yerel yönetimlerin kurumsal sürdürülebilirlik yaklaşımını ortaya çıkarmak ve bir model önerisi getirmek için çalışılmıştır. Elde edilen veriler daha önceden belirlenen temalar altında uzman yöneticilerin görüşleri alınarak bulgular kısmında özetlenmiştir. Literatür analizi ve nitel veri analizleri neticesinde Şekil 2'de yer alan model kavramsal çerçevesi elde edilmiştir. Kavramsal çerçevede birbirini etkileyen temalar ve neden sonuç ilişkisi ok yönleri ile gösterilmiştir.



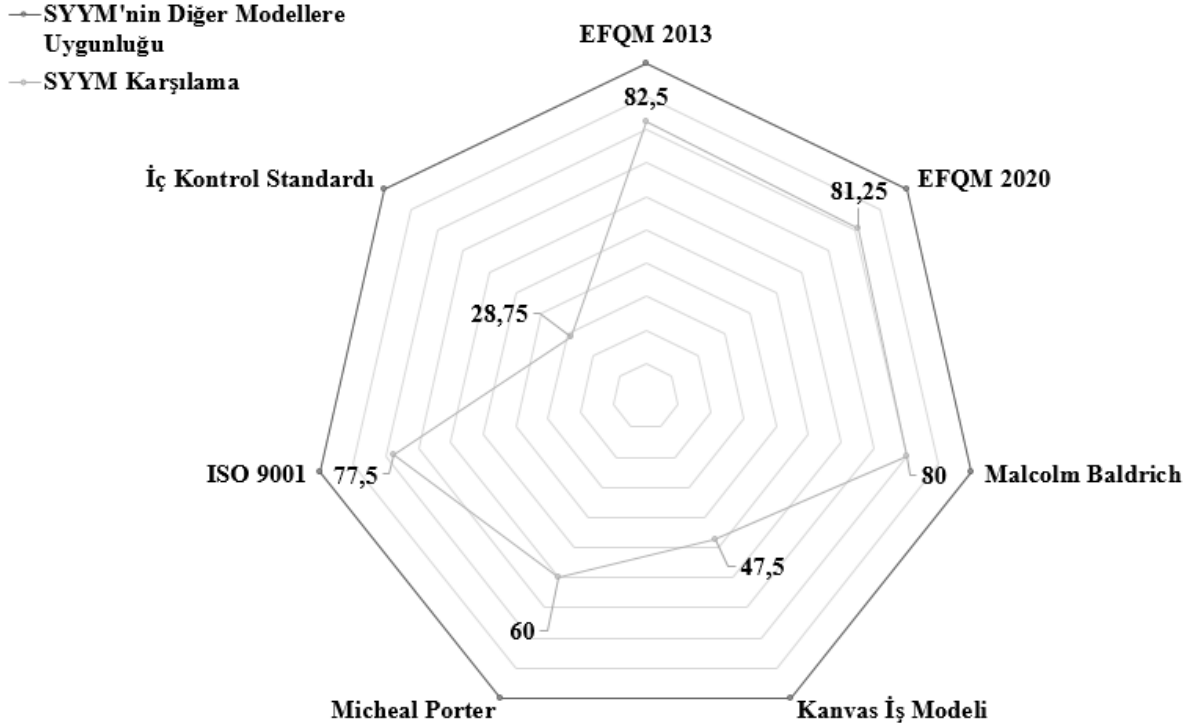
Şekil 2. Yerel yönetimlerde kurumsal sürdürülebilirlik yaklaşımı kavramsal çerçevesi

Oluşturulan bu yeni yaklaşım Sürdürülebilir Yerel Yönetim Modeli (SYMM) olarak 2.2. bölümünde bahsedilen küresel yönetim modelleri ile kıyaslanmış ve ortaya çıkan benzerlikler ve ulaşılan farklı sonuçlar kıyaslanmıştır. Yapılan kıyaslama tablolarından makalede fazla yer tutmaması adına sadece bir tanesine Şekil 3'te yer verilmiştir.

SÜRDÜRÜLEBİLİR YEREL YÖNETİM MODELİ			EFQM MÜKEMMELİK MODELİ 2020			
BİLEŞENLER	ALT BİLEŞENLER	İÇERİK	ALT KRİTERLER	KRİTERLER		
H E D E F L E R	Gelecek Vizyonu	Şehir Politikaları	1.1. Amaç ve Vizyonun Tanımlanması	1. Amaç, Vizyon ve Strateji	Y Ö N	
		Şehir Algısı	1.2. Paydaşların İhtiyaçlarının Belirlenmesi			
		Şehir Hedefleri	1.3. Ekosisteminin Anlaşılması			
	Kalkınma	1.4. Stratejilerin Geliştirilmesi				
	Süreklilik Yönetimi	Memnuniyet	1.5. Yönetişimin Tasarlanması ve Performans Yönetim Sistemi	2.1. Kuruluşun Kültürü ve Değerleri		2. Kurum Kültürü Ve Liderlik
		Kesintisiz Hizmet	2.2. Değişimi Gerçekleştiren Koşullar			
		Sürekli Gelişim	2.3. Yaratıcılık ve Yenilikçiliğin Etkinleştirilmesi			
	Değişim Yönetimi	2.4. Amacına Uygun Vizyon Ve Strateji Geliştirmek				
	Vizyoner Yönetim	İtibar Yönetimi	3.1. Müşteriler: Sürdürülebilir İlişkiler Kurun	3.1. İşletme Ve Yönetim Paydaşları - Güvenli Ve Sürdürülebilir Sürekli Destek		3. Paydaş Bağlılığı Sağlama
		Motivasyon Yönetimi	3.2. İnsanlar: Etkileme, İlişkilendirme, Geliştirme Ve Koruma			
		Paydaş Yönetimi	3.3. Toplum: Kalkınmaya, Refah Ve Refaha Katkıda Bulunmak			
	Sistem Yaklaşımı	3.4. Ortaklar Ve Tedarikçiler: İlişkiler Kurun Ve Sürdürülebilir Değer Yaratmak İçin Destek Sağlayın				
Kurumsallaşma	Değer Zinciri Yönetimi	4.1. Değeri Tasarla & Nasıl Oluşturulur?	4.2. İletişim Kur & Değeri Sat	4. Değeri Yaratmak		
	Kurumsal Performansın Değerlendirilmesi	4.3. Değeri Sunun				
	Değerlendirme ve Kontrol	4.4. Tanımla & Tecrübeyi Uygulayın				
K A Y N A K L A R	İnsan	İnsan Kaynakları Planlama			5.1. Performans Yönetimi & Risk Yönetimi	5. Performans Ve Dönüşüm Yönetimi
		Yetenek ve Yetkinlik Yönetimi	5.2. Gelecek İçin Kuruluşu Dönüştürün			
		Kariyer Geliştirme	5.3. İnovasyon ve Teknoloji Kullanın			
	İletişim ve Katılım	5.4. Kaldıraç Veriler, Bilgi & Birikim				
	Varlık Yönetimi	Mali Varlık Yönetimi	5.5. Varlıkları & Kaynakları Yönet	6.1. Müşteri Algı Sonuçları	6. Paydaş	
		Fiziksel Varlık Yönetimi	6.2. İnsanların Algı Sonuçları			
		Satınalma Yönetimi	6.3. İşletme & Yönetim Paydaşları			
	Kaynak Geliştirme	6.4. Toplum Algı Sonuçları				
	Veri/Bilgi	Veri Yönetimi	6.5. Ortaklar & Tedarikçiler Algı Sonuçları	7.1. Amacını Sağlama ve Sürdürülebilir Değer Yaratmadaki Başarılar	7. Stratejik ve Operasyonel Performans	
		Yönetim Bilgi Sistemi	7.2. Finansal Performans			
		Dijitalleşme	7.3. Kilit Paydaş Beklentilerinin Yerine Getirilmesi			
	Siber Güvenlik	7.4. Stratejik Hedeflerin Başarısı				
Zaman	Zaman Yönetimi	7.5. Performans Yönetme Başarısı	7.6. Dönüşüm Yönetme Başarısı			
	Proje Yönetimi	7.6. Dönüşüm Yönetme Başarısı				
	Hata Yönetimi	7.7. Gelecek İçin Önlem Tahmini				
S Ü R E Ç L E R	Planlama	Mekânsal ve Master Planların Üretimi		6.2. İnsanların Algı Sonuçları	6. Paydaş	
		Üst Ölçekli Planlama				
		İhtiyaç Analizi				
	Yer Seçimi	6.3. İşletme & Yönetim Paydaşları				
	Projelendirme	Fizibilite Analizi	6.4. Toplum Algı Sonuçları	7.1. Amacını Sağlama ve Sürdürülebilir Değer Yaratmadaki Başarılar	7. Stratejik ve Operasyonel Performans	
		Tasarım	7.2. Finansal Performans			
		Gelecek Odaklı Tasarım	7.3. Kilit Paydaş Beklentilerinin Yerine Getirilmesi			
	Tasarım Projelerinin Yönetimi	7.4. Stratejik Hedeflerin Başarısı				
	Uygulama	Proje Planlarının Oluşturulması	7.5. Performans Yönetme Başarısı	7.6. Dönüşüm Yönetme Başarısı		
		Uygulama Yönetimi	7.6. Dönüşüm Yönetme Başarısı			
		İzleme ve Kontrol	7.7. Gelecek İçin Önlem Tahmini			
	F A A L İ Y E T L E R	İmar Hizmetleri Yönetimi	Kabul		6.2. İnsanların Algı Sonuçları	6. Paydaş
Hizmet Sunumu						
Kurumsal İletişim						
Ulaşım Hizmetleri Yönetimi		6.3. İşletme & Yönetim Paydaşları				
Çevre Hizmetleri Yönetimi		Afet ve Acil Durumlara Müdahale Yönetimi	6.4. Toplum Algı Sonuçları	7.1. Amacını Sağlama ve Sürdürülebilir Değer Yaratmadaki Başarılar	7. Stratejik ve Operasyonel Performans	
		Sağlık Hizmetleri Yönetimi	7.2. Finansal Performans			
		Sosyal Kapsayıcılık Yönetimi	7.3. Kilit Paydaş Beklentilerinin Yerine Getirilmesi			
Sosyal Destek Hizmetleri Yönetimi		7.4. Stratejik Hedeflerin Başarısı				
Kültür Hizmetleri Yönetimi		Kent ve Toplum Düzeni Yönetimi	7.5. Performans Yönetme Başarısı	7.6. Dönüşüm Yönetme Başarısı		
		Destek Faaliyetler	7.6. Dönüşüm Yönetme Başarısı			
		Gelecek Vizyonu İle İlgili Sonuçlar	7.7. Gelecek İçin Önlem Tahmini			
S O N U Ç L A R		Hedefler İle İlgili Sonuçlar	Süreklilik Yönetimi İle İlgili Sonuçlar		6.2. İnsanların Algı Sonuçları	6. Paydaş
	Vizyoner Yönetim İle İlgili Sonuçlar					
	Kurumsallaşma İle İlgili Sonuçlar					
	Kaynaklar İle İlgili Sonuçlar	İnsan Kaynakları İle İlgili Sonuçlar	7.1. Amacını Sağlama ve Sürdürülebilir Değer Yaratmadaki Başarılar	7. Stratejik ve Operasyonel Performans		
		Varlık İle İlgili Sonuçlar				
		Zaman İle İlgili Sonuçlar				
	Süreçler İle İlgili Sonuçlar	Bilgi/Veri İle İlgili Sonuçlar			7.2. Finansal Performans	
		Planlar İle İlgili Sonuçlar	7.3. Kilit Paydaş Beklentilerinin Yerine Getirilmesi			
		Projelendirme İle İlgili Sonuçlar	7.4. Stratejik Hedeflerin Başarısı			
	Faaliyetler İle İlgili Sonuçlar	Uygulama İle İlgili Sonuçlar	7.5. Performans Yönetme Başarısı	7.6. Dönüşüm Yönetme Başarısı		
		İşletme İle İlgili Sonuçlar	7.6. Dönüşüm Yönetme Başarısı			
		İmar Yönetimi İle İlgili Sonuçlar	7.7. Gelecek İçin Önlem Tahmini			
Ulaşım Hizmetleri Yönetimi İle İlgili Sonuçlar						
Çevre Yönetimi İle İlgili Sonuçlar						
Afet ve Acil Duruma Müdahale Yönetimi İle İlgili Sonuçlar						
Sağlık Hizmetleri Yönetimi İle İlgili Sonuçlar						
Sosyal Kapsayıcılık Yönetimi İle İlgili Sonuçlar						
Sosyal Destek Hizmetleri Yönetimi İle İlgili Sonuçlar						
Kültür Hizmetleri Yönetimi İle İlgili Sonuçlar						
Kent ve Toplum Düzeni İle İlgili Sonuçlar						
Destek Faaliyetler İle İlgili Sonuçlar						

Şekil 3. SYM ile EFQM 2020 modeli boyutları kıyaslaması

Sürdürülebilir Yerel Yönetim Modeli ile diğer yönetim modelleri kıyaslandığından Şekil 4'te de görüldüğü üzere en çok EFQM 2013 ve EFQM 2020 modelleri ile benzerliği vardır. İlişkiler yoğunluk olarak stratejik yönetim, tasarım, veri yönetimi, kaynak yönetimi, performans yönetimi, müşteri ilişkileri yönetimi, liderlik, yönetim, çalışan yönetimi, ürün ve hizmet sunumu başlıklarında ortaklık göstermektedir. Sürdürülebilir yerel yönetim modelinin diğer modellere göre ön plana çıkan özelliği ise yerel yönetimlere özgü süreçlere, faaliyetlere, hedeflere odaklanmış olmasıdır. Diğer yönetim modelleri birincil amacı karlılık ve rekabet olan özel sektör tarafından daha çok tercih edilmektedir.



Şekil 4. Kıyaslama sonuçları

Yeni Cumhurbaşkanlığı Hükümet Sistemi; yalın, yeniliklere hızlı adapte olan, insan kaynağının gelişmesine imkân sağlayan, dijital dönüşümü gerçekleştiren, karar alma süreçlerini hızlandıran, küresel rekabet gücünü yükselten, ortak aklı kurumsallaştıran, yetki ve sorumlulukları net olan bir yapı ortaya koymaktadır. Türkiye'yi hedeflerine taşıyacak bu yeni sistemin tam olarak amacına ulaşabilmesi ve bir vücudun organları gibi sağlıklı bir şekilde işlemesi için yerinden yönetim ilkesinin icracı birimleri olan yerel yönetimlerde yeni bir yönetim modelinin oluşturulması bir gereklilik haline gelmiştir. Bu gereklilikten hareketle yeni yerel yönetim modelleri oluşturulması elzemdir.

Türkiye'nin kalkınmasında, gelişmesinde, vatandaşın doğrudan hayatına dokunan hizmetlerin yerine getirilmesinde büyük sorumluluğu bulunan yerel yönetimlerin bu kavramsal çerçevede belirtilen yaklaşımları uygulaması, ülkemizde yerel yönetim sistemlerinin standartlaştırılmasına, verimli ve yüksek kalitede hizmet oluşturulmasına katkı sağlayacaktır.

Bu yaklaşım, yerel yönetimlerin mevcut yönetim seviyelerini teşhis etmek ve geliştirmek için sistemsel bir çerçeve sunmaktadır. Özünde "Vatandaş memnuniyetini sağlamak için vizyoner hedefler doğrultusunda kaynakları etkili ve verimli süreçlerle yönetmek gerekir." anlayışı olan yaklaşım, yerel yönetimler için rehber özelliği taşımaktadır.

Bu yaklaşımın tam bir model haline gelmesi için kavramsal çerçevede yer alan temalar, alt temaların tanımlanması, adım adım nasıl uygulanacağına dair üst ve alt rehberler oluşturulması tavsiye edilmektedir. Böylelikle yerel yönetimler, bu rehberler sayesinde hizmetleri yerine getirirken nelere dikkat etmesi ve ne tür sistemler kurması gerektiğinin farkına varmış olacaktır. Ayrıca bu modele, diğer yönetim modellerinde olduğu gibi bir değerlendirme sistematığının kurulması önerilmektedir. Bu sayede yerel yönetimler kurumsal sürdürülebilirliğe ne kadar yakın olduklarını sürekli olarak öz değerlendirme ve dış değerlendirmelerle ölçmüş olacaktır.

Çalışmanın kuramsal kısıtları arasında yerel yönetimlerde bu konuda ve bu kapsamda bir çalışma yapılmamış olması yer almaktadır. Metodolojik kısıtları iirilişinde ise olgu bilimi deseni ve araştırma evreni genişliğine karşı örnekleme seçiminde yerel yönetimler içinde en başarılı rol model olan bir yerel yönetimin seçilmiş olmasıdır. Ülkemizde yaklaşık 1.392 belediye bulunmaktadır, bu model özellikle küçük belediyeler için fazla ideal gözükebilir ancak belediye başkanları başta olmak üzere tüm yöneticilerin yerel hizmetleri yerine getirirken istifade edeceği, farklı bir bakış açısı katabileceği de aşikârdır.

Bu alanda çalışma yapacak araştırmacılar, gelecekte Avrupa ve Amerika'da geliştirilecek benzer yönetim modellerini de yakından takip etmelidir. şehirler değişiyor, yöneticiler ve yönetim yaklaşımları değişiyor. Yeni nesil bakış aılılarıyla bu model üzerine geliştirmeler yapılabilir, Türk Standartları Enstitüsü gibi standart belirleyen kuruluşlar tarafından yerel yönetimlere özgü standart uygulamalar haline getirilmesi faydalı olacaktır.

Yazar Katkıları / Author Contributions

Hayri Baraçlı: Literatür Taraması, Kavramsallaştırma, Metodoloji, Veri Derleme, Makale Yazımı-rijinal taslak
Ramazan zcan Yıldırım: Literatür Taraması, Metodoloji, Veri Derleme, Analiz, Makale Yazımı-rijinal taslak

Hayri Baraçlı: Literature Review, Conceptualization, Methodology, Data Curation, Writing-original draft
Ramazan zcan Yıldırım: Literature review, Conceptualization, Data Curation, Analysis, Writing-original draft

Çatışma Beyanı / Conflict of Interest

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

Fon Desteği / Funding

Bu alışmada herhangi bir resmi, ticari ya da kr 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, alışmada kullanılan ara 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 alışmada bilimsel ve etik ilkelere uyulduğu ve yararlanılan tm alışmaların 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 alışmalarının telif hakkına sahiptirler ve alışmaları CC BY-NC 4.0 lisansı altında yayımlanmaktadır.

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

KAYNAKÇA

- Bansal, P. (2005). "Evolving Sustainably: A Longitudinal Study of Corporate Sustainable Development", *Strategic Management Journal*, 26, 197-215.
- Baraçlı, H. (2018). "Yönetimde Kırk Dörtler", İkinci Baskı, Abe Yayınevi, İstanbul.
- Benn, S., Dunphy, D. ve Griffiths, A. (2006). "Enabling Change for Corporate Sustainability: An Integrated Perspective", *Australasian Journal of Environmental Management*, 13(3), 156-163.
- Çelebi, S. (2014). "Kamu İşletmelerinde Değişim Yönetimi Modeli", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2014). "Türkiye Habitat III Ulusal Raporu", <https://habitat.csb.gov.tr/habitat-iii-turkiye-ulusal-raporu-i-5737>, 43, (Erişim Tarihi: 01.04.2023).
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2017). "Şehircilik Şurası Komisyon Raporları", <https://webdosya.csb.gov.tr/db/sehirciliksurasi/icerikler/kom-syonraporlar-son-20180226140426.pdf>, 57-321, (Erişim Tarihi: 01.04.2023).
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2017). "Şehircilik Şurası-Şehirleşmenin Yeni Vizyonunda Yerel Yönetimlerin Rolü Komisyonu", <https://sehirciliksurasi.csb.gov.tr/4.-komisyon-i-6336>, (Erişim Tarihi: 01.04.2023).
- Coşkun, B. ve Öztürk N.K. (2002). "Yerel Yönetimlerde Etkinlik ve Etik", *Çağdaş Yerel Yönetimler*, 11(2), 73-80.
- Dow Jones Sustainability Indices (2012). "Corporate Sustainability", <http://www.sustainability-indices.com/sustainability-assessment/corporate-sustainability.jsp>, (Erişim Tarihi: 23.03.2019).
- Dyllick, T. and Kai H. (2002). "Beyond The Business Case For Corporate Sustainability", *Business Strategy and the Environment*, 11, 130-132.
- Erlanson, D.A., Harris, E.L., Skipper, B.L. ve Allen, S.T. (1993). "Doing Naturalistic Inquiry: A Guide to Method, Beverly Hills", Sage Publications, CA.
- Ertürk, H. (1996). "Sürdürülebilir Kentler", *Yeni Türkiye Habitat II Özel Sayısı*, 2, 175.
- European Foundation for Quality Management (2020). "EFQM Excellence Model", <https://www.efqm.org/index.php/efqm-model/> (Erişim Tarihi: 15.04.2023).
- European Foundation for Quality Management. (2013). "EFQM Excellence Model 2013 in Turkish", <https://mailchi.mp/1de4ef3ee8bc/model2013turkish>, 12-33, (Erişim Tarihi: 20.04.2023).
- Foley, K. (2005). "Meta Management: A Stakeholder/Quality Management Approach to Whole of Enterprise Management", SAI Global, Sydney.
- Gebel, A. (2004). "The Business of Sustainability: Building Industry Cases for Corporate Sustainability", *The Aviation Industry*, Editör: U. Steger, Palgrave Macmillan, New York, NY.
- Geenhuisan, M. ve Nijkamp, P. (1994) "Sürdürülebilir Kent Nasıl Planlamalı?", *Toplum ve Bilim Dergisi* 3, 131.
- Hazine ve Maliye Bakanlığı. (2011). "İç Kontrol Rehberi", <https://dosyaism.saglik.gov.tr/Eklenti/34716,ic-kontrol-mevzuatiek47799650pdf.pdf?0>, (20 Nisan 2023), 1-124.
- İMKB (2011). "Sürdürülebilirlikle İlgili Özet Bilgiler", https://www.borsaistanbul.com/datum/surdurulebilirlik/SURDURULEBILIRLIK_OZET_BILGILER.pdf, 3, (Erişim Tarihi: 25.03.2023).
- Kurt, N. (2003). "Yerel Yönetim Anlayışında Piyasa Sisteminin Artan Rolü", *Yerel Yönetim ve Denetim*, 8(10), 53.
- Kuşat, N. (2012). "Sürdürülebilir İşletmeler İçin Kurumsal Sürdürülebilirlik ve İçsel Unsurları", *Afyon Kocatepe Üniversitesi İİBF Dergisi*, XIV(II), 228-238.
- Marrewijk, M.V. ve Werre, M. (2002). "Multiple Levels of Corporate Sustainability", *Journal of Business Ethics*, 44 (2), 95-105.
- McKinsey (2010). "How Companies Manage Sustainability: McKinsey Global Survey Results", <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/how-companies-manage-sustainability-mckinsey-global-survey-results>, (Erişim Tarihi: 25 Mart 2023).
- McKinsey (2014). "Sustainability's Strategic Worth: McKinsey Global Survey Results", <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/sustainabilitys-strategic-worth-mckinsey-global-survey-results>, (Erişim Tarihi: 10 Nisan 2023).
- MIT Sloan Management Review (2008). "What is Sustainability", <http://sloanreview.mit.edu/what-is-sustainability/>, (Erişim Tarihi: 07.04.2023).
- Osterwalder, A. ve Pigneur, Y. (2010). *Business Model*, Wiley, Danvers.

- zer, A. (2013). "Yerel Yönetimlerde ağdaş Belediyecilik İçin Yeni Bir Model Önerisi", *Kuramdan Uygulamaya Yerel Yönetimler ve Kentsel Politikalar*, 1, 79.
- Patton, M.Q. (1987). "How to Use Qualitative Methods in Evaluation", Sage Publications, Newbury Park, London.
- Penrose, E.T. (1959). "The Theory of the Growth of the Firm", John Wiley&Sons, New York.
- Porter, M.E. (1985). "Competitive Advantage: Creating And Sustaining Superior Performance", Free Press, New York.
- Price Waterhouse Coopers. (2011). "Türk İş Dünyasında Sürdürülebilirlik Uygulamaları", https://www.pwc.com.tr/tr/publications/arastirmalar/pdf/pwc_surdurulebilirlik_raporu-2012.pdf , 7-23, (Erişim Tarihi: 21.04.2023).
- Stewart, J. (1989). "The Future of Local Government", Palgrave Macmillan, Basingstoke.
- The National Institute of Standards and Technology. (2019). "Baldrige Excellence Framework", <https://www.nist.gov/baldrige/publications/baldrige-excellence-framework/businessnonprofit>, 1-40, (Erişim Tarihi: 24.04.2023).
- Tokgöz, N. ve Önce, S. (2009). "Şirket Sürdürülebilirliği: Geleneksel Yönetim Anlayışına Alternatif", *Afyon Kocatepe Üniversitesi İİBF Dergisi*, 11(1), 249-275.
- Türk Standartları Enstitüsü. (2015). "TS EN ISO 9001", TSE. Ankara, 1-24.
- Yalçındağ, S. (1997). "Yerel Yönetimlerde Etkinlik", *ağdaş Yerel Yönetimler Dergisi*, 6(1), 3-15.
- Yalçınkaya, A., Durmazlar, V. ve Adiler, L. (2011) "A New Approach for Sustainable Development and Corporate Sustainability: Triple Bottom Line", *9th International Knowledge, Economy and Management Congress*, 23-25 Haziran, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina.
- Yıldırım, A. ve Şimşek, H. (2016). "Sosyal Bilimlerde Nitel Araştırma Yöntemleri", Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- Yılmaz, A.K. (2008). "The Corporate Sustainability Model for Airline Business", *European Journal of Scientific Research*, 22(3), 304-317.
- Young, W. ve Tilley, F. (2006). "Can Businesses Move Beyond Efficiency? The Shift Toward Effectiveness and Equity in the Corporate Sustainability Debate", *Business Strategy and the Environment*, 15(6), 402-415.

Hastalık Yükleri Kapsamında Sağlık Sistem Dayanıklılığının Sağlık İş Gücü Açısından Değerlendirilmesi*

Gülay EKİNCİ¹, Aysun DANAYİYEN²

ÖZET

Amaç: Dünya Sağlık Örgütü sağlık alanında kritik iş gücü zorluklarıyla karşı karşıya kalan ülkelere, kendi sistemlerini aşamalı olarak optimize etmek, inşa etmek ve güçlendirmek için sağlık iş gücünün planlaması ve finansmanı; eğitimi ve istihdamı ile korunma ve performans şeklinde üç ana tema belirlemiştir. Sağlık İlerleme Modeli olarak sağlık ve bakım iş gücünün geliştirilmesi ve performansının güçlendirilmesini önermektedir. Bu çalışma hastalık yükleri kapsamında sağlık sistem dayanıklılığının sağlık iş gücü kapasitesinin ülkeler düzeyinde incelenmesi amacıyla yapılmıştır.

Yöntem: Çalışmada kapasite değerlendirmesi Veri Zarflama Analizi kullanılarak yapılmış; doğumda beklenen yaşam süresi ve hastalık yükleri çıktı değişkeni olarak tanımlanırken; sağlık iş gücü kapsamında yer alan ve düzenli verisi olan 21 ülkeye ait 6 (altı) meslek grubu girdi değişkeni olarak tanımlanmıştır.

Bulgular: Araştırma 4 (dört) model üzerinden gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda sağlık hizmetleri insan gücü kapasitesinde ülkelerin etkinlik skoru 0,866-0,995 arasında tespit edilmiş ayrıca ülkelerin %24-52'si tüm modellerde etkin bulunmamıştır.

Özgünlük: Literatürde hastalık yükleri ile değerlendirmeler yok veya az denecek kadardır. Veri Zarflama Yöntemi kullanılarak yapılmış bir araştırmaya da rastlanmamıştır. Bu çalışmanın önemi çıktı değişkeni olarak hastalık yüklerinin girdi değişkenleri olan sağlık iş gücü ile ilişkilendirilmiş olmasıdır. Hastalık yükleri aynı zamanda hizmet sunulması gereken sağlık kapasitesinin de önemli bir göstergesidir.

Anahtar Kelimeler: Sağlık, İnsan Gücü, Kapasite, Teknik Etkinlik, Hastalık Yükleri.

JEL Kodları: I15, I18, I19, M12.

Evaluation of Health System Resilience in Terms of Health Workforce within the Scope of Disease Burdens

ABSTRACT

Purpose: The World Health Organization has identified three main themes for countries facing critical workforce challenges in health: health workforce planning and financing; education and training and prevention and performance to progressively optimize, build and strengthen their systems. It proposes the development and strengthening of the performance of the health and care workforce as the Health Progress Model. This study was conducted to examine health system resilience and health workforce capacity at the country level within the scope of disease burdens.

Methodology: In the study, capacity assessment was conducted using Data Envelopment Analysis; life expectancy at birth and burden of disease were defined as output variables, while 6 (six) occupational groups of 21 countries with regular data within the scope of health workforce were defined as input variables.

Findings: The research was conducted through 4 (four) models. As a result of the analysis, the efficiency score of the countries in health services manpower capacity was determined between 0.866-0.995 and 24-52% of the countries were found to be inefficient in all models.

Originality: There are no or very few evaluations with disease burdens in the literature. There is also no research using the Data Envelopment Method. The importance of this study is that burden of disease as an output variable is associated with health workforce as input variables. Burden of disease is also an important indicator of the health capacity to provide services.

Keywords: Health, Workforce, Capacity, Technical Efficiency, Disease Burdens.

JEL Codes: I15, I18, I19, M12.

* Bu çalışma, 2-6 Mayıs 2023 tarihlerinde düzenlenen 8. Uluslararası Sağlık Bilimleri ve Yönetimi Kongresi'nde özet olarak sunulan "Evaluation of Health System Resilience in Terms of Health Workforce within the Scope of Disease Burdens" başlıklı bildirin genişletilmiş ve yeniden düzenlenmiş halidir.

¹ Dr., İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Sağlık Yönetimi Bölümü, İstanbul, Türkiye, ekincigulay@gmail.com, ORCID:0000-0003-4773-4821.

² Dr., İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Sağlık Yönetimi Bölümü, İstanbul, Türkiye, aysun.danayiyen@izu.edu.tr, ORCID:0000-0002-4782-5697(Sorumlu Yazar- Corresponding Author).

DOI: 10.51551/verimlilik.1330900

Araştırma Makalesi / Research Article | Geliş Tarihi / Submitted Date: 21.07.2023 | Kabul Tarihi / Accepted Date: 22.09.2023

Atıf: Ekinci, G. ve Danayiyen, A. (2023). "Hastalık Yükleri Kapsamında Sağlık Sistem Dayanıklılığının Sağlık İşgücü Açısından Değerlendirilmesi", *Verimlilik Dergisi*, 57(4), 641-656.

EXTENDED ABSTRACT

Health is a labor-intensive service area that requires effective human resource practices. Effective human resource management has an impact on raising the health status of the population rather than on the efficiency and performance of hospitals. The driving force and architect of a functional health system are health workers, the most important input of the health system. The absence of an appropriate and motivated health workforce and the inability to develop and deploy the necessary environment for the workforce to perform optimally is a critical determinant of the health status of societies. In this context, this study aims to provide a framework for assessing the health workforce potential of countries.

When it is considered that national health systems provide services by using large amounts of resources and the amount of national resources transferred to the provision of health services is taken into consideration, efficiency analyses will be guiding for health managers in terms of determining the current situation and making future plans. With the results of efficiency analyses, countries can be directed to optimum resource selection. It can be said that Data Envelopment Analysis (DEA), a nonparametric method, is widely used to measure the efficiency of health systems that use a wide range of resources and achieve results (Franco Miguel et al., 2019).

In the literature, evaluations with burdens of disease are almost non-existent. There is also no research using DEA method. The importance of this study is that burden of disease as an output variable is associated with health workforce as input variables. Burden of disease is also an indicator of the health capacity to provide services. The most important resources of health capacity are qualified health workforce. Especially in health services, higher quality health service delivery, standardizations, technological developments, etc. have led to the diversification of the professions involved in service delivery. In this respect, our study was conducted to evaluate the health capacity by taking into account the burden of disease and the factor of professionalization in the health workforce.

Data Envelopment Analysis (DEA) model was used in the study. The research was conducted using quantitative data. Study analyses were conducted with 2 different programs. Eviews program was used for descriptive analysis and DEAP 2.1 program was used for Data Envelopment Analysis. In Data Envelopment Analysis, the model is developed and analyzed in a certain order.

According to the BCC output-oriented model, the average technical efficiency value of the countries is 0.995 and the number of countries found to be efficient according to the BCC Output-oriented model is 16. According to this result, it is recommended that inefficient countries should refer to the countries that are cited as reference countries. Namely, it is understood that Lithuania is inefficient with an efficiency score of 0.923. In order to become efficient, it can update its data by taking Italy 71.3%, USA 9.8%, Greece 2.3% and Netherlands 16.6% as examples.

According to the CCR output-side model, the average technical efficiency value of the countries is 0.866 and the number of countries found to be efficient according to the CCR output-side model is 10. According to this result, it is recommended that inefficient countries should refer to the countries that are cited as reference countries. Namely, it is understood that Sweden is inefficient with an efficiency score value of 0.599. In order to become efficient, it can update its data by taking the Netherlands 39.5%; Türkiye 100.6%; and the USA 34.6% as examples.

In the study, using DEA method, the efficiency score of the countries at the level of 4 (four) models in health services manpower capacity was determined between 0.866-0.995, and 24-52% of the countries were not found to be efficient in all models. Cutting resources in the field of health can have serious negative consequences rather than becoming efficient. This is because the input-oriented model is based on output production with minimum inputs. In future research, the results obtained in this study can be compared with the results of the analysis using different year intervals and different countries.

1.GİRİŞ

Sağlık, etkili insan kaynakları uygulamaları gerektiren emek yoğun bir hizmet alanıdır. Etkili insan kaynakları yönetimi, hastanelerin verimliliği ve performansından ziyade toplumun sağlık statüsünün yükseltilmesine etki eder. Toplumun sağlık statüsünü yükseltmekten anlaşılması gereken temel husus, toplum sağlığı için elde edilmesi mümkün olan en iyi ortalama seviyeye ulaşmaktır. Bu açıdan ele alındığında sağlık sisteminin adil bir finansman ile toplumun beklentilerini karşılayacak yeterli sayıda ve nitelikte iş gücüne ihtiyacı vardır (Teleş ve diğerleri, 2018). Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) ifadesi ile "Sağlık iş gücü olmadan sağlık olmaz". İşlevsel bir sağlık sisteminin itici gücü ve mimarı, sağlık sisteminin en önemli girdisi olan sağlık çalışanlarıdır (Campbell ve diğerleri, 2013). Uygun ve motive edilmiş bir sağlık iş gücünün olmaması ve iş gücünün en iyi şekilde performans göstermesi için gerekli ortamın geliştirilip konuşlandırılmaması, toplumların sağlık durumunun kritik bir belirleyicisidir.

Sağlık iş gücü, sağlık sektöründe çalışanların sayısı ve niteliği ile ilgilidir ve sağlık hizmetlerinin sunumunda önemli bir rol oynamaktadır. Sağlık iş gücü, doktorlar, hemşireler, diğer sağlık çalışanları ve yöneticileri içermektedir. Sağlık hizmetlerinin kalitesi, erişilebilirliği ve etkililiği açısından kritik bir faktör olan sağlık iş gücü, sağlık sektöründeki değişimler ve yeniliklerle birlikte sürekli olarak gelişmektedir. Sağlık iş gücü planlaması, sağlık hizmetlerinin sürdürülebilirliği açısından önemlidir. Sağlık iş gücü, sağlık sistemlerinin en önemli bileşenlerinden biridir ve hastalık yükleri arttıkça, sağlık iş gücü üzerindeki baskı da artmaktadır. Hastalık yükleri, bir toplumda bulunan hastalıkların sayısı, yaygınlığı ve etkileri ile ilgilidir ve bir toplumun sağlık durumunu belirleyen diğer önemli faktörlerden biridir. Hastalık yükleri, ölüm oranları, hastalık oranları, sakatlık oranları ve yaşam kalitesi gibi faktörlerle ölçülebilir. Hastalık yükleri, bir toplumun sağlık politikalarının belirlenmesinde ve sağlık hizmetlerinin planlanmasında ve sağlık iş gücünün etkinliğinin değerlendirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Başka bir deyişle, sağlık sistemlerinin hastalık yüklerine cevap verebilirliği, sağlık iş gücünün yeterli sayı ve nitelikte olmasına bağlıdır. Sağlık iş gücü etkinliği, iş gücü kıtlığı, tükenmişlik ve yetersiz eğitim ve kaynaklar gibi faktörlerden etkilenebilir. Bu faktörler, sağlık iş gücünün kapasitesini azaltarak, sağlık sistemlerinin dayanıklılığını olumsuz etkileyebilir. Sağlık sistemi dayanıklılığı, bir sağlık sisteminin bir kriz zamanında veya herhangi bir zorluk durumunda normal hizmetleri sunmaya devam edebilme kabiliyetini ifade eder (Mukherjee ve Parashar, 2020). Bu duruma karşı sağlık sistemleri, sağlık iş gücünün etkinliğini artırmak için stratejiler geliştirmelidir. Ekonomik İş Birliği ve Kalkınma Örgütü (OECD), üye ülkelerdeki sağlık iş gücüne ilişkin verileri toplar ve yayınlar. Bu veriler, kişi başına düşen doktor, hemşire ve diğer sağlık çalışanlarının sayısı ile bunların farklı bölgeler ve uzmanlıklar arasındaki dağılımına ilişkin bilgileri içermektedir. Veriler ayrıca iş gücü eksiklikleri, eğitim ve öğretim ve çalışma koşulları gibi konuları da kapsamaktadır. Politika yapıcılar ve sağlık hizmeti liderleri, bu verileri analiz ederek iyileştirmelerin gerekli olduğu alanları belirleyebilir ve iş gücü zorluklarını ele almak için stratejiler geliştirebilir. Dünya Sağlık Örgütü sağlık alanında kritik iş gücü zorluklarıyla karşı karşıya kalan ülkelere, kendi sistemlerini aşamalı olarak optimize etmek, inşa etmek ve güçlendirmek için sağlık iş gücünün planlaması ve finansmanı; eğitimi ve istihdamı ile korunma ve performans şeklinde üç ana tema belirlemiştir. Sağlık ilerleme modeli olarak ele alınan model mevcut sağlık ve bakım iş gücünün optimize edilmesini, eksikliklerin belirlenerek sağlık ve bakım iş gücünün çeşitliliğinin, kullanılabilirliğini ve kapasitesinin oluşturulmasını, herkese sağlık sağlamak ve sağlıkla ilgili acil durumlara yanıt vermek için sağlık ve bakım iş gücünün korumasını ve performansının güçlendirilmesini önermektedir. OECD'nin sağlık iş gücüne ilişkin verileri, üye ülkelerdeki sağlık sistemlerinin durumuna ilişkin değerli bilgiler sunmakta ve sağlık hizmetlerinin kalitesini ve erişilebilirliğini iyileştirme çabalarına bilgi sağlayabilmektedir. Ülke genelinde yeteri kadar ve yeterli niteliklere sahip sağlık personeli istihdamı sağlık bakım kalitesinin geliştirilmesi, toplumun sağlık statüsünün yükseltilmesi ve hastalık yüklerinin karşılanması için değerlendirilmesi gereken önemli bir konudur (Sonğur ve diğerleri, 2017). Literatürde sağlık iş gücü verimliliği ile ilgili çalışmalar genellikle muayene sayıları, ameliyat sayıları gibi çıktılar ile ilişkilendirilerek yapılmıştır. Hastalık yükü ile sağlık iş gücü arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışmaya ise rastlanmamıştır. Hastalıkla geçirilen yaşam yılları sağlık personeli ihtiyacını artırmaktadır. Bu açıdan bu çalışmanın özgünlüğü hastalık yükü ile sağlık insan gücü arasındaki ilişkiyi kurarak, sağlık iş gücü verimliliğinin değerlendirilmesinden gelmektedir.

Bu bağlamda bu çalışma ülkelerin sağlık iş gücü potansiyellerinin değerlendirilmesi için bir çerçeve oluşturmayı amaçlamıştır ve bu çerçeve şunları içermektedir: i) ülkelerin sağlık iş gücü kapasitesine yönelik teknik etkinliğinin belirlenmesi, ii) ülkelerin sağlık iş gücü kapasitesine yönelik referans kümelerinin tespit edilmesi, iii) ülkelerin sağlık iş gücü kapasitesinin ortalama teknik etkinliğinin belirlenmesi.

Çalışmanın ilk kısmında, sağlık alanında verimlilik değerlendirilmesi yapılırken en çok kullanılan yöntemlerden biri olan VZA kullanılarak yapılan araştırmalara yer verilmiş, en çok çalışılan ve eksik kalan konulara odaklanılmıştır. Bu doğrultuda bir sonraki bölümde kullanılacak yöntem belirlenmiş ve yapılan analizler sonucunda elde edilen bulgulara yer verilmiştir. Son olarak elde edilen bulgular literatürde yer alan bilgilerle karşılaştırılarak tartışma ve sonuç bölümünde önerilere yer verilmiştir.

2.LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Ülke sağlık sistemlerinin çok büyük miktarlarda kaynak kullanarak hizmet verdiği düşünöldüğünde ve sağlık hizmetlerinin sunumuna aktarılan ülke kaynaklarının miktarı göz önünde bulundurulduğunda mevcut durumun tespiti ve gelecek planlamalarının yapılması açısından etkinlik analizleri sağlık yöneticileri için yol gösterici olacaktır. Etkinlik analizlerinin sonuçları ile ülkeler optimum kaynak seçimine yönlendirilebilir. Çok çeşitli kaynaklar kullanan ve sonuçlar elde eden sağlık sistemlerinin etkinliğini ölçmek için yaygın olarak parametrik olmayan bir yöntem olan Veri zarflama Analizi (VZA) kullanıldığı söylenebilir (Franco Miguel ve diğerleri, 2019). Veri Zarflama Analizi, doğrusal programlamaya dayanır ve çoklu girdi ile belirli bir süreç sonucunda elde edilen çoklu çıktıları bulunan kurumların göreceli etkinliğini ölçmek üzere birçok ulusal ve uluslararası çalışmada kullanılmıştır (Danayiyen ve Yılmaz, 2022).

Sağlık alanında kapasite değerlendirmelerinde VZA analizi kullanılarak çok sayıda yayın yer almakla birlikte Tablo 1'de çalışmamızda kullanılan değerşkenlere benzer çalışmalara yer verilmiştir. Bu çalışmalarda ortak özellikler incelendiğinde; girdi değerşkeni olarak hekim, hemşire sayıları, sağlık harcamaları, kişi başı düşen yatak sayısı kullanılırken; çıktı değerşkeni olarak ise muayene sayıları, anne-bebek ölüm oranları, doğumda beklenen yaşam süresi gibi veriler kullanılmıştır. Çalışmalar OECD ülkeleri, Avrupa ülkeleri, Türkiye özelinde yapılmış ve kimi ülkeler etkinsiz değerlendirilirken, Türkiye'nin genel olarak daha iyi durumda olduğu tespit edilmiştir.

Literatürde hastalık yükleri ile değerlendirmeler yok/az denecek kadardır. VZA yöntemi kullanılarak yapılmış bir araştırmaya da rastlanmamıştır. Bu çalışmanın önemi çıktı değerşkeni olarak hastalık yüklerinin girdi değerşkenleri olan sağlık iş gücü ile ilişkilendirmiş olmasıdır. Hastalık yükleri aynı zamanda hizmet sunulması gereken sağlık kapasitesinin de bir göstergesidir. Sağlık kapasitesinin en önemli kaynakları nitelikli sağlık iş gücüdür. Özellikle sağlık hizmetlerinde yaşanan daha kaliteli sağlık hizmet sunumu, standartlaşmalar, teknolojik gelişmeler vb. nedenlerle hizmet sunumunda görev alan mesleklerin de çeşitlenmesini sağlamıştır. Bu mihvalde çalışmamız hastalık yükleri ve sağlık iş gücünde meslekleşme faktörü dikkate alınarak sağlık kapasitesinin değerlendirilmesi amacıyla yapılmıştır.

Hastalık Yükleri Kapsamında Sağlık Sistem Dayanıklılığının Sağlık İşgücü Açısından Değerlendirilmesi

Tablo 1. VZA yöntemi ile yapılan çalışmalar

Çalışma	Metot	Örneklem	Girdiler	Çıktılar	Amaç	Sonuç
Durur ve diğerleri (2022)	VZA	Sağlık Bakanlığına bağlı 30 sağlık hizmet bölgesi	Yatak sayısı, pratisyen hekim sayısı, uzman hekim sayısı, hemşire/ebe sayısı	Başvuru sayısı, yatan hasta sayısı, ağırlıklı ameliyat sayısı, doğum sayısı	Sağlık Bakanlığına bağlı 30 sağlık hizmet bölgesinin etkinliğinin değerlendirilmesi.	Çalışmada CCR etkinlik skoru %94, BCC etkinlik skoru ise %97 olarak bulunmuştur. İki etkinlik skoruna göre 4. Sağlık Hizmet bölgesi en düşük teknik etkinliğe sahiptir.
Kaman ve Yücel (2021)	VZA	Covid-19 salgınından etkilenen 9 OECD ülkesi	Nüfus yoğunluğu, sağlık harcamalar, Gayri Safi Yurtiçi Hasıla içindeki oranı ve 1000 kişi başına toplam sağlık çalışması	Sağlık çalışanlarının milyon kişi başına ölüm ve vaka sayısı	Covid-19 pandemisinde 9 OECD ülkesi içerinden hangisinin daha etkin bir yol oynadığını tespit etmek.	VZA yöntemiyle tam etkinlik gösteren üç ülke saptanmıştır. (Çek Cumhuriyeti, Polonya ve Portekiz)
Johannessen ve diğerleri (2017)	VZA	2001-2013 yılları arasında on dokuz Norveç hastanesinde hekim işgücünün verimliliğini ve personel karmasının bu ölçüt üzerindeki etkisi	Kaynak değişkenleri: Doktorların, hemşirelerin, sekreterlerin ve diğer personelin TZE ve maaş maliyetleri. Hasta ölçütleri: Hastaneye yatış, gündüz bakımı ve ayakta tedavi ile tedavi edilen hasta sayısı ve hasta karışımındaki farklılıkları hesaba katan ilgili tanı-ilişkili grup (DRG) puanları.	Araştırma yayınları ve asistan/ tam zamanlı hekim oranı, araştırma ve hekim eğitimi için vekil olarak kullanılmıştır.	Sağlık reformları makro düzeyde verimliliği artırabilse de sağlık personelinin kullanımı üzerindeki etkileri hakkında değerlendirme yapmak.	Hekim verimliliği ölçümleri 2001'den 2013'e kadar azalmıştır. Daha fazla destek personeli, hekim verimliliğini öngörmeye önemli bir değişkendir. Çalışma dönemindeki personel karması gelişmeleri hekim üretkenliği açısından olumsuzdu.
Şahinbaş ve diğerleri (2019)	VZA	OECD üyesi 35 ülke	Sağlık harcaması (ABD doları), 1000 kişiye düşen hekim sayısı, 1000 kişiye düşen hemşire sayısı ve 1000 kişiye düşen Yatak sayısı	Doğumda beklenen yaşam süresi, her 1000 canlı doğumda bebek ölüm hızı, algılanan sağlık statüsü, sağlık hizmetlerinden memnuniyet düzeyi	OECD üyesi 35 ülkenin sağlık hizmetlerindeki etkinliğinin değerlendirilmesi ve var olan sorunlara yönelik önerilerde bulunmayı amaçlamaktadır.	Çalışmanın sonuçlarına göre, Türkiye ve Meksika etkinlik skorları daha yüksek çıkmıştır.
Ahmed ve diğerleri (2019)	VZA	Bangladeş'te bulunan bölge hastaneleri	Bu modelde, işgücünün yanı sıra yatan hasta yatak sayısı girdi değişkenleri olarak alınmıştır.	Hastaneler tarafından sağlanan yatan hasta, ayakta tedavi ve anne hizmetlerinin sayısı	Bangladeş'teki bölge hastanelerinin teknik verimliliğini tahmin etmek amaçlanmıştır.	Bölge hastanelerinin ortalama teknik verimliliği %79 olduğundan, girdileri ayarlayarak bu tesislerde genel iyileştirmeler için çok az alan vardır. Bu nedenle, hizmetlerin iyileştirilmesi için hastanelere daha fazla yatırım yapılması önerilmiştir.
Şenol ve diğerleri (2019)	VZA	OECD üyesi 32 ülke	Hekim sayısı (1000), Yatak sayısı kişi başı sağlık harcaması (1000), GDP'den ayrılan pay	Doğumdan beklenen yaşam süresi, bebek ölüm oranı (1000)	OECD ülkeleri içerisinde seçilen 32 ülkenin sağlık göstergelerini VZA yöntemiyle karşılaştırarak etkinliğini araştırmayı amaçlamıştır.	Çalışmada genel verimlilik oranı CCR girdi yönelimli tekniğe göre %85, BCC girdi yönelimli tekniğe göre ise %92 olarak tespit edilmiştir. 32 OECD ülkesi arasından CCR çıktı yönelimli analiz tekniğine göre 8 ülke etkin bulunurken, BCC çıktı yönelimli analiz tekniğine göre ise 16 ülke etkin bulunmuştur.

Tablo 1. (Devamı)

Çalışma	Metot	Örnekleme	Girdiler	Çıktılar	Amaç	Sonuç
Çakmak ve Konca (2019)	VZA	OECD ülkelerinin içerisinde seçilen 20 ülkenin Ruh Sağlığı Hizmetleri	Psikiyatri hasta yatağı sayısı, psikiyatri sayısı, psikiyatri hemşiresi sayısı ve psikolog sayısı	Kaba intihar hızı	OECD ülkelerinin ruh sağlığı performanslarını değerlendirmek ve karşılaştırma yapmayı amaçlanmıştır.	OECD ülkeleri içerisinde 20 ülkenin ruh sağlığı performansları karşılaştırıldığında Türkiye Kaba intihar hızında en düşük olduğu ülke çıkmıştır. Refah seviyesi yüksek olan ülkelerde ise bu oran daha yüksek bulunmuştur.
Zhang ve diğerleri (2020)	VZA	Shanxi Eyaletinden otuz üç ilçe ve 84 il düzeyindeki AÇSH seçilmiştir.	Doktor, hemşire, eczacı, muayene teknisyeni ve görüntü teknisyeni dahil üzere sağlık çalışanların oranı	Mali sübvansiyon miktarı	Çin'deki ilçe ve il düzeyindeki AÇSH'lerin verimliliğini değerlendirmek ve ilişkili faktörleri belirlemek.	Shanxi Eyaletindeki ilçe ve il düzeyindeki AÇSH'lerin operasyonel verimsizliği ciddi boyutlardadır. Ek tıbbi personel istihdamına ve işgücünün istikrarının sağlanmasına öncelik verilmelidir. Çin hükümeti, hizmet maliyetlerini telafi etmek için yeterli mali sübvansiyon sağlamalıdır.
Teleş ve diğerleri (2018)	VZA	Avrupa Birliği Döngüsündeki ülkeler çalışmaya dahil edilmiştir.	1000 kişiye düşen hekim sayısı, 1000 kişiye düşen hemşire sayısı, 1000 kişiye düşen yatak sayısı, kişi başı sağlık harcamaları	Doğuştan beklenen yaşam süresi, ortalama yatış süresi, bebek ölüm oranı, ana ölüm oranı	Çalışmada kapsamında Avrupa Birliği Döngüsündeki ülkelerin tamamına ve kümelere göre VZA yapılması amaçlanmıştır.	Birinci kümedeki ülkelerin etkinliği %56,25, ikinci kümedeki ülkelerin %65 be AB döngüsündeki ülkelerin ise %58,33 olarak bulunmuştur.
Hu ve diğerleri (2020)	VZA	Taiwan'da bulunan 22 idari bölge veri yıl aralığı 2013-2017.	Bölgesel nüfus, bölgesel gelir ve yerel yönetimin sağlık harcamaları.	Doktor sayısı ve hemşire sayısı.	Tayvan'ın idari bölgelerindeki tıbbi personelin kapasitesini, verimliliğini ve potansiyel uyum oranını araştırmak için kapasitesi teorisini ve verilen talep tarafına uygulamaktadır.	Tayvan'ın sağlık personelinin verimliliği yıldan yıla zayıflarken, ülkedeki hemşirelerin verimliliği doktorlarınkinden daha düşüktür. (ii) Tayvan'ın dış bölgelerinde ana bölgeye kıyasla daha ciddi doktor ve hemşire açığı bulunmaktadır. (iii) Merkezi hükümet, verimliliği düşük olan bölgelerde daha fazla doktor ve hemşirenin çalışmasını teşvik etmelidir.
Sonğur ve diğerleri (2017)	VZA	OECD ülkeleri içerisinde seçilen 14 ülke seçilmiştir.	GSYH İçinde Toplam Sağlık Harcamalarının Yüzdesi, 1000 Kişiye Düşen Hekim Sayısı, 1000 Kişiye Düşen Hasta Yatağı Sayısı	Anne Ölüm Oranı, Anne Ölüm Hızı, Doğumdan Beklenen Yaşam Süresi	OECD ülkeleri içerisinde seçilen 14 ülkenin sağlık göstergeleri açısından etkinliğinin ortaya konması amaçlanmıştır.	OECD ülkelerinin sağlık kaynaklarının hangi düzeyde etkin kullanıldığı ve kullanmayan ülkelerin kaynaklarını nasıl etkin kullanabileceğine dair etkin bilgiler sunmaktadır.
Pelone ve diğerleri (2013)	VZA	2009/2010'da 22 Avrupa ülkesindeki Birinci basamak sağlık sistemleri	Model 1, girdi olarak birinci basamak sağlık sistemi yönetişimi, işgücü gelişimi ve ekonomik koşullar ile Model 2, girdi olarak önceki süreç boyutlarını içermektedir.	Model 1 çıktı olarak erişim, koordinasyon, süreklilik ve bakımın kapsamlılığına ilişkin verileri içermiştir.	Avrupa için Temel Sağlık Hizmetleri Etkinlik Monitörü projesinin veri setine dayanarak göreceli teknik verimliliği karşılaştırmak.	Sadece beş ülke, tam verimli birinci basamak sağlık sistemine sahiptir. Etkin olmayan ülkelerin hizmet sunumlarını kaliteli sonuçlara dönüştürmede elde ettikleri verimlilik seviyelerinde büyük farklılıklar vardır.
Šoltés ve Gavurová (2014)	VZA	2010-2012 döneminde Slovakya'nın tüm bölgelerinden hastaneler	Doktor, hemşire ve yatak sayısı	Hastaneye yatış prosedürlerinin sayısı ve gün cinsinden ortalama kalış süresine ilişkin veriler	Slovak hastanelerinin teknik verimliliğini 2010-2012 dönemi için bölgesel düzeyde değerlendirmek.	Analizden elde edilen sonuçlara dayanarak bölgelerin etkinliklerine göre bir sıralaması yapılmıştır. Slovak hastanelerindeki etkinliğin, OECD ülkeleri ve AB'deki performans açısından daha iyi işleyen sağlık sistemlerini örnek alabileceği.

3.YÖNTEM

Araştırmada Veri Zarflama Analizi (VZA) modeli kullanılmıştır. Araştırma nicel veriler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma analizleri 2 ayrı program ile yapılmıştır. Eviews programı tanımlayıcı analizler için ve DEAP 2.1 Programı Veri Zarflama Analizi için kullanılmıştır.

Veri Zarflama Analizi doğrusal programlama ilkelerine dayanan ve Karar Verme Birimleri (KVB)'nin etkinlik ölçümünde kullanılan parametrik olmayan bir analiz tekniğidir (Norman ve Stoker, 1991: 27). VZA yönteminin sağladığı en büyük avantaj birden fazla girdi ve çıktı değerini tek bir verimlilik değerine dönüştürerek karar vericilere fayda sağlamasıdır (Frehe, 2013:11). VZA'nın literatürde 1950'lerden sonra çalışmalarda kullanılmaya başladığı, çalışmaların ise kâr amacı gütmeyen kurumların değerlendirilmesinde ağırlıklı kullanıldığı görülmektedir (Kıllı ve Uludağ, 2020; Kasap ve Güç, 2022). VZA'nın önemli bir avantajı etkin olmayan birimlerin etkin olabilmeleri için ulaşmaları gerekli hedefleri belirtmesidir (Cooper ve Seiford, 2007; 98; Seiford, 1996). VZA analizinde iki model kullanılmaktadır: Charnes-Cooper-Rhodes ve Banker-Charnes-Cooper Modeli

Charnes-Cooper-Rhodes (CCR) Modeli: VZA analizi olarak ilk çalışılan modeldir. CCR modeli ölçekte sabit getiri yaklaşımı ile verimlilik sınırı, başlangıç noktası ile en iyi performans değerlerini kesen düz bir çizgidir. En iyi performans gösteren, en yüksek çıktı/girdi oranına göre belirlenir (Frehe, 2013:12-13).

Banker-Charnes-Cooper (BCC) Modeli: BCC modeli ölçüğe göre değişken getiri modelini esas alır. CCR modelinin her analize uygun düşmemesi nedeniyle 1984'te Banker, Charnes ve Cooper tarafından geliştirilmiştir. Araştırmacılar modeli verimlilik sınırını düz bir çizgiden dışbükey gövdeye dönüştüren "dışbükeylik kısıtlaması" ile orijinal modeli genişletti. Bu kısıtlama, her bir bileşik birimin kendi bileşenlerinin bir kombinasyonu olmasını sağlamaktadır. Modelin en önemli özelliği daha fazla birim verimli olarak kabul edilebilir ve verimsiz birimlerin uygun emsallerle karşılaştırılabilmesi sağlanabilir böylece gerçekçi durumlara daha yakın olabilecek sonuçlar verebilmektedir (Banker ve diğerleri, 1984). CCR ve BCC modellerinde girdi ve çıktı yönelimli modeller kullanılabilir.

Girdi Yönelimli Model: Girdi yönelimli model verimsiz bir karar verme biriminin kendi ile aynı çıktı değerine sahip hayali bir karar verme birimi ile karşılaştırılmasına dayanır. Modelde etkinliği ölçülen karar birimi ile belirli bir çıktı düzeyine ulaşabilmek için girdilerinde ne kadar azaltma yapması gerektiğini ortaya koyar. Modelde çıktı oranları sabit iken girdilerinin orantılı olarak azaltılması yoluyla bir birim verimli hale getirilir (Frehe, 2013;17-19).

Çıktı Yönelimli Model: Çıktı yönelimli modelde girdi oranları değişmeden kalırken, verimsiz bir birim, çıktılarının orantılı artışı yoluyla verimli hale getirilir (Frehe, 2013:17-19). Girdi düzeyini sabit tutarak çıktıyı en üst seviyeye çıkarma esasına dayanır.

Veri Zarflama Analizinde model belirli sıraya uyularak geliştirilir ve analizleri yapılır. Bu aşamalar;

- Karar Verme Birimlerinin seçilmesi
- Girdi/Çıktı değişkenlerinin belirlenmesi ve verilerin elde edilmesi
- VZA modelinin belirlenmesi ve etkinliğin ölçümü
- Etkinlik değerinin ve sıralamasının belirlenmesi
- Referans grupları ve etkin olmayan karar birimleri için hedef belirlenmesi
- Sonuçların değerlendirilmesidir.

3.1. Karar Verme Birimlerinin Seçilmesi

VZA yönteminde yeterli sayıda KVB ile analizlerin yapılması sonuçların doğruluğu için gereklidir. Araştırmada OECD veri tabanından sağlık iş gücü kapsamında 2019 yılına ait 1000 kişi başına düşen hekim, hemşire, ebe, diş hekimi, eczacı ve fizyoterapist sayılarına ait düzenli verisi olan 21 ülke belirlenmiş ve analizlerde KVB olarak ele alınmıştır.

3.2. Girdi/Çıktı Değişkenlerinin Belirlenmesi ve Verilerin Elde Edilmesi

Sağlık iş gücüne ait veriler araştırmada girdi değişkenleri olarak tanımlanmıştır. Daha sonra bu ülkelere ait doğumda beklenen yaşam süresi ve hastalık yükleri çıktı değişkeni olarak hesaplanmıştır. Hastalık yükleri hesaplamasında ilgili ülkelere ait hastalık yükü Kaybedilen Yaşam Yıllarının (YLD) yıl cinsinden toplamı alınmış, ilgili ülke nüfusuna bölünmüş ve daha sonra 1000 ile çarpılarak 1000 kişi başına düşen hastalık yükü hesaplanarak Eşitlik 1'de verilmiştir. Veri Zarflama Analizinde kullanılan girdi ve çıktı değişkenlerine ait açıklayıcı bilgiler Tablo 2'de verilmiştir.

$$1000 \text{ kişibaşı hastalık y¼k¼} = \left(\frac{A \text{ ülkesine ait Toplam YLD}}{A \text{ ülke n¼fusu}} \right) \times 1000 \quad (1)$$

Tablo 2. Değişkenlere ait açıklayıcı bilgiler

Değişkenler	Birim	Kaynak	Kısaltmalar
Doğumda Beklenen Yaşam S¼resi (DBYS)	Yıl	OECD Health Data	 ₁
Hastalık Y¼k¼	1000/kişibaşı	Gbdx.data	 ₂
Hekim Sayısı	1000/kişibaşı	OECD Health Data	G ₁
Hemşire Sayısı	1000/kişibaşı	OECD Health Data	G ₂
Ebe Sayısı	1000/kişibaşı	OECD Health Data	G ₃
Dış Hekimi Sayısı	1000/kişibaşı	OECD Health Data	G ₄
Eczacı Sayısı	1000/kişibaşı	OECD Health Data	G ₅
Fizyoterapist Sayısı	1000/kişibaşı	OECD Health Data	G ₆

Değişkenlere ait ortalama, ortanca, maksimum, minimum vb. tanımlayıcı bilgilere Tablo 3'te yer verilmiştir. Araştırmada yer alan ülkelere ait eksik veriler Wordbank data ve UNESCO verileri ile tamamlanmaya çalışılmıştır (ör: Yunanistan ebe/hemşire verisi gibi).

Tablo 3. Girdi ve çıktı değişkenlerine ait tanımlayıcı bilgiler

	 ₁	 ₂	G ₁	G ₂	G ₃	G ₄	G ₅	G ₆
Ortalama	81,07143	132,0352	3,881429	9,288571	0,518571	0,994286	0,875238	1,142857
Ortanca	82,10000	134,1300	3,890000	10,77000	0,320000	0,940000	0,930000	1,100000
Maksimum	84,00000	162,3900	6,160000	21,03000	1,850000	1,760000	1,370000	2,480000
Minimum	75,70000	100,3700	1,950000	1,480000	0,040000	0,400000	0,170000	0,070000
Std. Sapma	2,594445	13,82359	1,047961	4,854940	0,459231	0,398906	0,304346	0,631404
Çarpıklık	-0,908671	-0,219386	0,240783	0,266443	1,561962	0,286552	-0,782660	0,506004
Basıklık	2,384894	3,540211	2,714249	2,951690	4,953731	1,821514	3,123170	2,608910
Jarque-Bera	3,220954	0,423806	0,274365	0,250514	11,87897	1,502618	2,157225	1,029971
Olasılı	0,199792	0,809043	0,871811	0,882270	0,002633	0,471749	0,340067	0,597509
Toplam	1702,500	2772,740	81,51000	195,0600	10,89000	20,88000	18,38000	24,00000
Karesel Sapmaların Toplamı	134,6229	3821,833	21,96446	471,4089	4,217857	3,182514	1,852524	7,973429

Bir sonraki aşamada girdi ve çıktılar arasındaki ilişkinin belirlenmesi gerekmektedir. Değişkenler arasındaki ilişkide 0,80 ve üzerinde korelasyon tespit edilmesi durumunda y¼ksek korelasyona değerine sahip değişkenlerin çalışma dışında bırakılması önerilmektedir (Kalaycı, 2016:63).

Tablo 4. Değişkenlere ait korelasyon analizi sonuçları

	G ₁	G ₂	G ₃	G ₄	G ₅	G ₆
 ₁	0,37	0,51	0,09	0,03	0,43	0,47
 ₂	0,41	0,21	0,29	0,13	0,45	0,27

Tablo 4'de yer aldığı üzere girdi ve çıktılar arasındaki korelasyon değerinin 0,13 ile 0,51 arasında d¼ř¼k d¼zeyde olduğu tespit edilmiş ve t¼m değişkenler elenmeden analize dahil edilmiştir. Böylece ülkelerin etkinlik analizinde 6 girdi ve 2 çıktı olmak üzere toplam 8 değişken kullanılmıştır. Literat¼rde KVB'lerin girdi ve çıktı sayısının toplamının 2 ya da 3 katı olmalı şeklinde bilgiler yer almaktadır. Araştırmada KVB sayısı 21 ülkedir. Girdi 6 ıktı 2 olmak üzere 16'dır ve bu sonuç araştırmada istenen bu koşulu da karşılamaktadır.

3.3. VZA Modelinin Belirlenmesi ve Etkinliğin Ölçümü

VZA'da girdi veya çıktı yönlü modellerin seçiminde dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta kontrol gücünün hangi yönde olduğudur (Özbek ve Demirkol, 2019). Girdi yönelimli modellerin amacı çıktı değerini sabitlemek şartıyla girdi miktarını azaltmaya çalışırken; çıktı yönelimli modellerin amacı mevcut girdi seviyesini aşmadan çıktı miktarını artırmaya çalışmaktadır. Sağlık hizmetleri kendine has doğası gereği çıktılar üzerinde kontrol gücüne sahip değildir dolayısıyla literatürde sağlık alanında yapılan çalışmalar daha çok girdi yönelimli modeller üzerinde durmaktadırlar (Bahurmoz, 1999). Bu çalışma ile ülkelerin sağlık iş gücü kapasitesinin teknik ve ölçek etkinliğinin ölçülmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda toplam etkinlik değerini ortaya koymak için CCR girdi ve çıktı yönelimli modeli, etkin olmayan ülkelerin ise teknik veya ölçek etkisizliğinden kaynaklı olarak etkin olmadığını belirlemek için BCC girdi ve çıktı yönelimli modeller kullanılarak teknik etkinlik ve ölçek etkinlik değerleri araştırılmıştır.

3.4. Etkinlik Değerinin ve Sıralamasının Belirlenmesi

Etkinlik değeri 0 ve 1 arasında olup; ülkelerin etkinlik değerinin 1'e eşit olduğu durumda o ülke kapasite kullanımında etkin olarak tanımlanırken; etkinlik değerinin 1'den küçük olması durumunda ülkeler görel olarak etkisiz kabul edilmiştir.

3.5. Referans Grupları ve Etkin Olmayan Karar Birimleri için Hedef Belirlenmesi

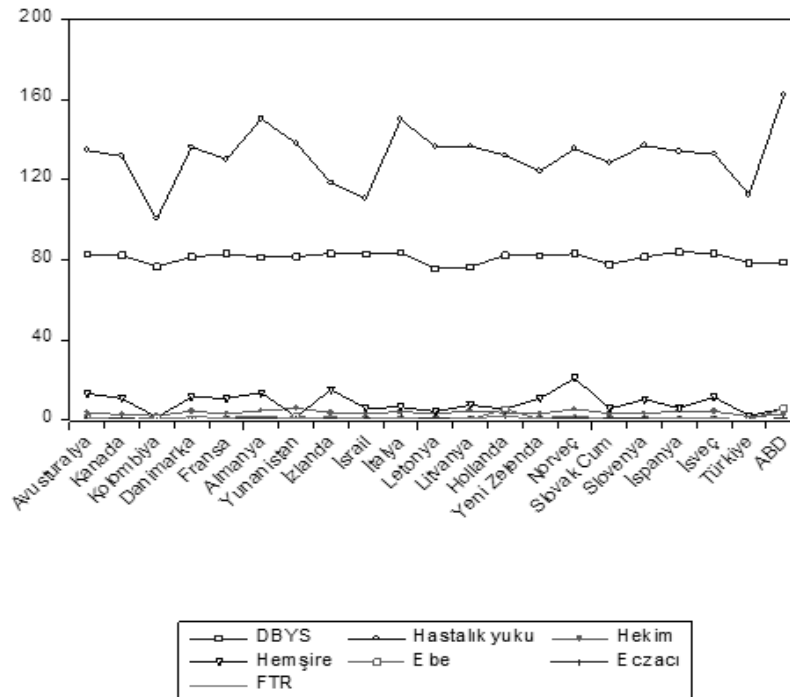
Analiz sonuçlarında her ülke için etkinlik skorunun yanında referans gösterilen ülke bilgilerine yer verilmiştir. Bu bilgilendirmeler analiz sonuçlarını gösteren tablolarda belirtilmiş ve etkin olmayan ülkeler için değerler yorumlanmıştır.

3.6. Sonuçların Değerlendirilmesi

Çalışmanın bütün aşamaları için girdi ve çıktı yönelimli CCR ve BCC modeli kullanılmış, DEAP 2.1 yazılımı ile etkinlik analizleri gerçekleştirilmiştir.

4. BULGULAR

Araştırmada kullanılan değişkenlere ait tanımlayıcı bilgilere göre; 1000 kişi başına düşen hekim sayısının ortalaması $3,88 \pm 1,04$ (min: 1,95, max: 6,16); 1000 kişi başına düşen hemşire sayısının ortalaması $9,28 \pm 4,85$ (min: 1,48, max: 21,03); 1000 kişi başına düşen ebe sayısının ortalaması $0,52 \pm 0,46$ (min: 0,04, max: 1,85); 1000 kişi başına düşen diş hekimi sayısının ortalaması $0,99 \pm 0,39$ (min: 0,40, max: 1,76); 1000 kişi başına düşen eczacı sayısının ortalaması $0,88 \pm 0,30$ (min: 0,17, max: 1,37); 1000 kişi başına düşen fizyoterapist sayısının ortalaması $1,14 \pm 0,63$ (min: 0,07, max: 2,48); 1000 kişi başına düşen hastalık yükünün ortalaması $132,04 \pm 13,82$ (min: 100,37, max: 162,39); Doğumda beklenen yaşam süresinin ortalaması $81,07 \pm 2,59$ (min: 75,7, max: 84,0)'dür ($p > 0,05$).



Şekil 1. Ükelere göre sağlık işgücü sayıları, doğumda beklenen yaşam süresi ve hastalık yükleri (1000 kişi başı, 2019)

VZA analizi kapsamında girdi ve çıktı yönlü CCR ve BCC modelleri kullanılarak analizler yapılmıştır. BCC çıktı yönlü modele göre ülkelerin ortalama teknik etkinlik değeri 0,995'tir ve BCC Çıktı yönlü modele göre etkin bulunan ülke sayısı 16'dır. Bu ülkeler Avustralya, Kanada, Kolombiya, Fransa, Almanya, Yunanistan, İsrail, İtalya, Letonya, Hollanda, Slovakya, Slovenya, İspanya, İsveç, Türkiye ve ABD'dir. Etkin olmayan ülkeler Danimarka, İzlanda, Litvanya, Yeni Zelanda ve Norveç'tir. Etkin durumda olan Hollanda ve İtalya etkin durumda bulunmayan ülkeler aracılığıyla 3'er defa, İspanya ve İsveç 2'ser defa, Türkiye, ABD, İsrail, Almanya, Yunanistan, Fransa ve Kanada 1'er defa referans gösterilmiştir. Ayrıca Avustralya, Letonya, Yeni Zelanda, Slovakya ve Slovenya etkin bulunmalarına rağmen hiçbir ülkeye referans ülke olarak gösterilmemiştir. Bu sonuca göre etkin olmayan ülkelerin kendilerine referans gösterilen ülkeleri referans alması önerilir. Şöyle ki; Litvanya'nın 0,923 etkinlik skoru değeri ile etkin olmadığı anlaşılmaktadır. Etkin hale gelmesi için İtalya'yı %71,3, ABD'yi %9,8 Yunanistan'ı %2,3 Hollanda'yı %16,6 oranında örnek olarak verilerini güncelleyebilir.

Tablo 5. Ülkeler için BCC çıktı yönlü model sonuçları

No	Ülkeler	Teknik Etkinlik	Referans Kümesindeki Ülkeler	Referans Alınma Sıklığı	Ölçek Etkinliği*
1	Avustralya	1,000	1(1,000)	0	0,682(d)
2	Kanada	1,000	2(1,000)	1	1,000(c)
3	Kolombiya	1,000	3(1,000)	0	1,000(c)
4	Danimarka	0,988	10(0,233); 13(0,685); 6(0,082)	0	0,795(d)
5	Fransa	1,000	5(1,000)	1	0,877(d)
6	Almanya	1,000	6(1,000)	1	0,755(d)
7	Yunanistan	1,000	7(1,000)	1	1,000(c)
8	İzlanda	0,999	19(0,042); 9(0,601); 18(0,348)	0	0,604(d)
9	İsrail	1,000	9(1,000)	1	0,991(d)
10	İtalya	1,000	10(1,000)	3	0,853(d)
11	Letonya	1,000	11(1,000)	0	1,000(c)
12	Litvanya	0,923	10(0,713); 21(0,098); 7(0,023); 13(0,166)	0	0,772(d)
13	Hollanda	1,000	13(1,000)	3	1,000(C)
14	Yeni Zelanda	1,000	5(0,127); 13(0,358); 2(0,454); 20(0,062)	0	0,788(d)
15	Norveç	0,994	10(0,181); 19(0,576); 18(0,243)	0	0,544(d)
16	Slovakya	1,000	16(1,000)	0	1,000(c)
17	Slovenya	1,000	17(1,000)	0	1,000(c)
18	İspanya	1,000	18(1,000)	2	1,000(c)
19	İsveç	1,000	19(1,000)	2	0,599(d)
20	Türkiye	1,000	20(1,000)	1	1,000(c)
21	ABD	1,000	21(1,000)	1	1,000(c)

Not: *(i): increasing-artan; (d): decreasing-azalan i; (-): sabit

BCC girdi yönlü modele göre ülkelerin ortalama teknik etkinlik değeri 0,967'dir ve BCC girdi yönlü modele göre etkin bulunan ülke sayısı 16'dır. Bu ülkeler Avustralya, Kanada, Kolombiya, Fransa, Almanya, Yunanistan, İsrail, İtalya, Letonya, Hollanda, Slovakya, Slovenya, İspanya, İsveç, Türkiye ve ABD'dir. Etkin olmayan ülkeler Danimarka, İzlanda, Litvanya, Yeni Zelanda ve Norveç'tir. Etkin durumda olan Hollanda 5'er kez, İtalya ve Türkiye 3'er defa, İspanya ve İsrail ve Fransa 2'ser defa, Kanada, Yunanistan, Letonya ve Slovenya 1'er defa referans gösterilmiştir. Ayrıca Avustralya, Kolombiya, Almanya, Slovakya ve İsveç etkin bulunmalarına rağmen hiçbir ülkeye referans ülke olarak gösterilmemiştir. Bu sonuca göre etkin olmayan ülkelerin kendilerine referans gösterilen ülkeleri referans alması önerilir. Şöyle ki; Norveç'in 0,707 etkinlik skoru değeri ile etkin olmadığı anlaşılmaktadır. Etkin hale gelebilmek için İspanya'yı %31,3; İtalya'yı %16,3; Hollanda'yı %51,3 ve İsrail'i %1,0 oranında örnek olarak verilerini güncelleyebilir.

Tablo 6. Ülkeler için BCC girdi yönlü model sonuçları

No	Ülkeler	Teknik Etkinlik	Referans Kümesindeki Ülkeler	Referans Alınma Sıklığı	Ölçek Etkinliği*
1	Avustralya	1,000	1(1,000)	0	0,682(d)
2	Kanada	1,000	2(1,000)	1	1,000(c)
3	Kolombiya	1,000	3(1,000)	0	1,000(c)
4	Danimarka	0,853	10(0,020); 17(0,048); 20(0,056); 7(0,062); 13(0,676); 21(0,138)	0	0,921(d)
5	Fransa	1,000	5(1,000)	2	0,877(d)
6	Almanya	1,000	6(1,000)	0	0,755(d)
7	Yunanistan	1,000	7(1,000)	1	1,000(c)
8	İzlanda	0,969	5(0,026); 18(0,282); 10(0,002); 9(0,669); 13(0,021)	0	0,623(d)
9	İsrail	1,000	9(1,000)	2	0,991(d)
10	İtalya	1,000	10(1,000)	3	0,853(d)
11	Letonya	1,000	11(1,000)	1	1,000(c)
12	Litvanya	0,725	20(0,067); 11(0,735); 13(0,111); 21(0,087)	0	0,983(d)
13	Hollanda	1,000	13(1,000)	5	1,000(c)
14	Yeni Zelanda	0,996	5(0,136); 20(0,070); 13(0,354) 2(0,440)	0	0,791(d)
15	Norveç	0,757	18(0,313); 10(0,163); 13(0,513); 9(0,010)	0	0,715(d)
16	Slovakya	1,000	16(1,000)	0	1,000(c)
17	Slovenya	1,000	17(1,000)	1	1,000(c)
18	İspanya	1,000	18(1,000)	2	1,000(c)
19	İsveç	1,000	19(1,000)	0	0,599(d)
20	Türkiye	1,000	20(1,000)	3	1,000(c)
21	ABD	1,000	21(1,000)	2	1,000(c)

Not: *(i): increasing-artan; (d): decreasing-azalan; (c): sabit

CCR çıktı yönlü modele göre ülkelerin ortalama teknik etkinlik değeri 0,866'dır ve CCR çıktı yönlü modele göre etkin bulunan ülke sayısı 10'dur. Bu ülkeler Kanada, Kolombiya, Yunanistan, Letonya, Hollanda, Slovakya, Slovenya, İspanya, Türkiye ve ABD'dir. Etkin olmayan ülkeler Avustralya, Danimarka, Fransa, Almanya, İzlanda, İsrail, İtalya, Litvanya, Yeni Zelanda, Norveç ve İsveç'tir.

Etkin durumda olan Türkiye etkin durumda bulunmayan ülkeler aracılığıyla 11 defa, ABD 9 defa; Hollanda 7 defa; Letonya 5 defa; Kanada 2 defa; Slovakya 1'er defa referans gösterilmiştir. Ayrıca Kolombiya, Yunanistan, Slovenya ve İspanya etkin bulunmalarına rağmen hiçbir ülkeye referans ülke olarak gösterilmemiştir. Bu sonuca göre etkin olmayan ülkelerin kendilerine referans gösterilen ülkeleri referans alması önerilir. Şöyle ki; İsveç'in 0,599 etkinlik skoru değeri ile etkin olmadığı anlaşılmaktadır. Etkin hale gelebilmek için Hollanda'yı %39,5; Türkiye'yi %100,6; ve ABD'yi %34,6 oranında örnek alarak verilerini güncelleyebilir.

Tablo 7. Ülkeler için CCR çıktı yönlü model sonuçları

No	Ülkeler	Teknik Etkinlik	Referans Kümesindeki Ülkeler	Referans Alınma Sıklığı
1	Avustralya	0,682	21(0,291); 20(1,332)	0
2	Kanada	1,000	2(1,000)	2
3	Kolombiya	1,000	3(1,000)	0
4	Danimarka	0,786	11(0,138); 20(0,229); 21(0,110); 13(0,840)	0
5	Fransa	0,877	21(0,758); 20(0,444)	0
6	Almanya	0,755	11(0,184); 21(0,412); 20(0,103); 13(0,723)	0
7	Yunanistan	1,000	7(1,000)	0
8	İzlanda	0,604	2(0,272); 21(0,332); 20(1,136)	0
9	İsrail	0,991	11(0,773); 2(0,192); 13(0,023); 20(0,094)	0
10	İtalya	0,853	16(0,329); 21(0,074); 11(0,884); 20(0,008)	0
11	Letonya	1,000	11(1,000)	5
12	Litvanya	0,712	11(1,143); 13(0,249); 20(0,026)	0
13	Hollanda	1,000	13(1,566)	7
14	Yeni Zelanda	0,788	21(0,423); 13(0,009); 20(0,892)	0
15	Norveç	0,541	20(0,602); 13(0,674); 21(0,643)	0
16	Slovakya	1,000	16(1,000)	1
17	Slovenya	1,000	17(1,000)	0
18	İspanya	1,000	18(1,000)	0
19	İsveç	0,599	13(0,395); 20(1,006); 21(0,346)	0
20	Türkiye	1,000	20(1,000)	11
21	ABD	1,000	21(1,000)	9

Kaynak: Yazarlar tarafından hazırlanmıştır.

CCR girdi yönlü modele göre ülkelerin ortalama teknik etkinlik değeri 0,866'dır ve CCR girdi yönlü modele göre etkin bulunan ülke sayısı 10'dur. Bu ülkeler Kanada, Kolombiya, Yunanistan, Letonya, Hollanda, Slovakya, Slovenya, İspanya, Türkiye ve ABD'dir. Etkin olmayan ülkeler Avustralya, Danimarka, Fransa, Almanya, İzlanda, İsrail, İtalya, Litvanya, Yeni Zelanda, Norveç, İsveç'tir.

Etkin durumda olan Türkiye etkin durumda bulunmayan ülkeler aracılığıyla 11; ABD 9; Hollanda 7; Letonya 5; Kanada 2; Slovakya 1'er defa referans gösterilmiştir. Ayrıca Kolombiya, Yunanistan, Slovenya ve İspanya etkin bulunmalarına rağmen hiçbir ülkeye referans ülke olarak gösterilmemiştir. Bu sonuca göre etkin olmayan ülkelerin kendilerine referans gösterilen ülkeleri referans alması önerilir. Şöyle ki; Almanya'nın 0,744 etkinlik skoru değeri ile etkin olmadığı anlaşılmaktadır. Etkin hale gelebilmek için Letonya'yı %13,9; ABD'yi %31,1; Türkiye'yi %7,8 ve Hollanda'yı %54,6 oranında örnek alarak verilerini güncelleyebilir. Ayrıca CCR girdi ve çıktı modellerine ait karar verme birimleri aynı, referans kümeleri farklıdır.

Tablo 8. Ülkeler için CCR girdi yönlü model sonuçları

No	Ülkeler	Teknik Etkinlik	Referans Kümesindeki Ülkeler	Referans Alınma Sıklığı
1	Avustralya	0,682	20(0,908); 21(0,198)	0
2	Kanada	1,000	2(1,000)	2
3	Kolombiya	1,000	3(1,000)	0
4	Danimarka	0,786	11(0,108); 20(0,180); 21(0,086); 13(0,660)	0
5	Fransa	0,877	20(0,390); 21(0,665)	0
6	Almanya	0,755	11(0,139); 21(0,311); 20(0,078); 13(0,546)	0
7	Yunanistan	1,000	7(1,000)	0
8	İzlanda	0,604	20(0,686); 21(0,200); 2(0,164)	0
9	İsrail	0,991	11(0,766); 13(0,023); 2(0,191); 20(0,093)	0
10	İtalya	0,853	16(0,281); 11(0,754); 20(0,007); 21(0,063)	0
11	Letonya	1,000	11(1,000)	5
12	Litvanya	0,712	11(0,814); 20(0,019); 13(0,177)	0
13	Hollanda	1,000	13(1,000)	7
14	Yeni Zelenda	0,788	13(0,007); 20(0,703); 21(0,333)	0
15	Norveç	0,541	13(0,365); 21(0,348); 20(0,326)	0
16	Slovakya	1,000	16(1,000)	1
17	Slovenya	1,000	17(1,000)	0
18	İspanya	1,000	18(1,000)	0
19	İsveç	0,599	13(0,237); 21(0,208); 20(0,603)	0
20	Türkiye	1,000	20(1,000)	11
21	ABD	1,000	21(1,000)	9

Rastgele seçilmiş bir BCC çıktı yönlü BCC etkinlik modeli etkinlik değeri ve CCR çıktı yönlü CCR modeli etkinlik değeri olmak üzere $BCC \geq CCR$ kısıtı tüm durumlar için geçerlidir. Bunun nedeni BCC Modelindeki konveks üretim imkânları kümesinin CCR modelindeki üretim imkanları kümesinin bir alt kümesi olmasından kaynaklanmaktadır (Çağlar, 2003). Yani CCR çıktı yönlü bir modeldeki etkin bir karar verme birimi mutlaka BCC çıktı yönlü modelde de etkin bulunacaktır. Örneğin CCR çıktı yönlü modele göre etkinlik değeri 0,599 ile etkin olmayan İsveç'in BCC çıktı yönlü modelde 1 değeri ile etkin olarak tespit edilmiş ve bu durum yukarıda bahsettiğimiz durumu karşılayan bir örnek olarak değerlendirilmiştir.

BCC ve CCR modellerinden elde edilen Girdi-Çıktı atık değerlerini yorumlarken CCR modelinde hedeflenen değeri yorumlamak yerine referans kümesinden en yüksek ağırlık değerine sahip etkin birimin seçilmesi önerilir; BCC modelinde ise ağırlık katsayıları oranında hedef değerlerin belirlenmesi önerilmektedir (Tepe, 2006: 68).

5. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Çalışmada VZA yöntemi kullanılarak, sağlık hizmetleri insan gücü kapasitesinde 4 (dört) model düzeyinde ülkelerin etkinlik skoru 0,866-0,995 arasında tespit edilmiş, ayrıca ülkelerin %24-52'si tüm modellerde etkin bulunmamıştır. Modeller referans alınma sıklığına göre değerlendirildiğinde girdi yönelimli modellerde en çok Hollanda'nın (BCC: 5; CCR: 7) referans ülke gösterilebileceğini söyleyebiliriz. Çıktı yönelimli modeller değerlendirildiğinde ise Hollanda'nın (BCC: 3; CCR: 7) yanı sıra Türkiye (BCC: 1; CCR: 11) ve ABD'nin (BCC: 1; CCR: 9) referans gösterilebileceğini söyleyebiliriz.

Rutin sağlık bilgileri ve karma yöntem yaklaşımları gibi diğer yöntemleri kullanarak sağlık iş gücü üretkenliğini ve etkinliğini ölçen birkaç önemli çalışma vardır. Örneğin, Hasan ve diğerleri (2021) çalışmalarında Etiyopya'da sağlık çalışanı üretkenliğini ölçmek için rutin sağlık bilgilerini kullanmışlardır. Penev ve diğerleri (2023) çalışmalarında iş gücü ruh sağlığı programının işveren tıbbi plan harcaması üzerindeki etkisini analiz etmek için bir maliyet etkinliği ölçüm sürecini ele almıştır. Johannessen ve diğerleri (2017), Norveç'te yaptıkları çalışmada hekim verimliliği ve sağlık reformu ilişkilerini VZA analizi ile değerlendirmiştir. Hekim verimliliği ölçümleri 2001'den 2013'e kadar azalmıştır. Daha fazla destek personeli, hekim verimliliğini artırmada önemli bir değişken olarak belirlenmiştir. Zhang ve diğerleri (2020), Çin'de yaptıkları çalışma sonuçlarına göre Shanxi Eyaletindeki ilçe ve il düzeyindeki AÇSH'lerin operasyonel verimsizliği ciddi boyutlardadır. Tıbbi personel istihdamına ve iş gücünün istikrarının sağlanmasına öncelik verilmelidir. Çin hükümeti, hizmet maliyetlerini telafi etmek için yeterli mali

sübvansiyon sağlamalıdır. Hu ve diğerleri (2020), Tayvan'da bölgelerin sağlık hizmet etkinliğini değerlendirmek için yaptıkları çalışmada, Tayvan'ın sağlık personeli verimliliğinin yıldan yıla zayıflarken, ülkedeki hemşirelerin verimliliğinin doktorlarından daha düşük olduğunu belirlemişlerdir. Bu çalışmalar, sağlık iş gücü etkinliğini ölçmenin, çeşitli performans göstergelerini ve sonuçları dikkate alan kapsamlı ve çok boyutlu bir yaklaşım gerektirdiğini göstermektedir. Kaplan ve diğerlerinin (2013) yaptığı çalışmaya göre de sağlık sisteminde değişimi gerçekleştirmek için sağlık yönetişiminin yanı sıra insan kaynakları sistemlerinin de güçlendirilmesini gerektirmektedir. Sağlık sisteminin güçlendirilmesine yönelik yaklaşımların belirlenmesi için sağlık işgücü ile yönetim arasındaki bağlantıyı güçlendiren belirli müdahalelerin etkinliğine ilişkin daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir.

Veri zarflama modelinin sağlık sistemlerindeki teknik verimliliği ölçmek ve iyileştirme alanlarını belirlemek için yararlı bir araç olduğu çeşitli çalışmalarda vurgulanmıştır (Johannessen ve diğerleri, 2017; Stefko ve diğerleri, 2018; Li ve diğerleri, 2020). Ancak, modelin sonuçlarının kullanılan veri kaynaklarına ve metodolojiye bağlı olarak değişebileceğini not etmek önemlidir. Bu nedenle, sonuçları yorumlarken modelin sınırlamaları ve varsayımları dikkatlice göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu çalışmanın varsayımları araştırmada ele alınan değişkenleri oluşturan kişi başına düşen hastalık yükü, hekim, hemşire/ebe, diş hekimi, eczacı, fizyoterapist sayısı ile sınırlıdır. Araştırma 21 ülke verisini içermektedir. Kullanılan metod gereği politika geliştirirken dikkate alınması gereken önemli bir husus doğrudan doğruya VZA sonuçlarını baz almanın yanıltıcı sonuçlar verebileceğidir. Sağlık alanında kaynakları kısmak etkin duruma gelmekten ziyade çok ciddi olumsuz sonuçlara sebep olabilir. Bunun nedeni girdi odaklı modelin en az girdi ile çıktı üretimini baz almasıdır. Gelecek araştırmalarda; farklı yıl aralıkları ve farklı ülkeler kullanılarak yapılacak analiz sonuçları ile bu çalışmada elde edilen sonuçlar karşılaştırılabilir.

Yazar Katkıları / Author Contributions

*Gülay Ekinci: Kavramsallaştırma, Metodoloji, Veri Derleme, Analiz, Makale Yazımı-rijinal taslak
Aysun Danayiyen Literatür taraması, Modelleme, Makale Yazımı-inceleme ve düzenleme
Gülay Ekinci Conceptualization, Methodology, Data Collection, Analysis, Article Writing-original draft
Aysun Danayiyen Literature review, Modeling, Article writing-review and editing*

Çatışma Beyanı / Conflict of Interest

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

Fon Desteği / Funding

Bu çalışmada herhangi bir resmi, ticari ya da kâr amacı gütmeyen organizasyondan fon desteği alınmamıştır.
This study did not receive funding from any governmental, commercial or non-profit organization.

Etik Standartlara Uygunluk / Compliance with Ethical Standards

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

Etik Beyanı / Ethical Statement

Yazarlar tarafından bu çalışmada bilimsel ve etik ilkelere uyulduğu ve yararlanılan tüm çalışmaların kaynakçada belirtildiği beyan edilmiştir.
It has been declared by the authors that scientific and ethical principles were followed in this study and all the studies utilized are mentioned in the bibliography.



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

- Ahmed, S., Hasan, M.Z., Laokri, S., Jannat, Z., Ahmed, M.W., Dorin, F., Vargas, V. ve Khan, J.A. (2019). "Technical Efficiency of Public District Hospitals in Bangladesh: A Data Envelopment Analysis", *Cost Effectiveness and Resource Allocation*, 17(1), 1-10.
- Bahurmoz, A.M. (1999). "Measuring Efficiency in Primary Health Care Centres in Saudi Arabia", *Economics and Administration* 12(2), 3-18.
- Banker R.D., Charnes A., Cooper W.W. (1984). "Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in DEA", *Management Science*, 30(9), 1078-1092.
- Campbell J., Dussault G., Buchan J, Pozo-Martin, F. (2013). "A Universal Truth: No Health without A Workforce." *Third Global Forum on Human Resources for Health*, Recife, Brazil.
- Cooper W.W. ve Seiford L.M. ve Tone, K. (2007), "Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models Applications, References and DEA Solver Software", Second Edition, Springer.
- Çağlar A. (2003). "Veri Zarflama Analizi ile Belediyelerin Etkinlik Ölçümü", Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Çakmak, C. ve Konca, M. (2019). "Seçilmiş OECD Ülkelerinin Ruh Sağlığı Hizmetleri Performansının Değerlendirilmesi", *Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 7(2), 51-56.
- Danayiyen, A. ve Yılmaz, S. (2022). "İstanbul'daki Devlet Hastaneleri ile Eğitim ve Araştırma Hastanelerinde Sağlık Kaynak Kullanımının Etkinliği: Bir Veri Zarflama Analizi Uygulaması", *International Journal of Disciplines Economics & Administrative Sciences Studies*, 8(43), 453-461.
- Durur, F., Günaltay, M. M. ve Işıkçelik, F. (2022). "Sağlık Hizmet Bölgelerinin Performansının Veri Zarflama Analizi ile Değerlendirilmesi". *Verimlilik Dergisi*, 2, 165-181.
- Franco Miguel, J.L., Fullana Belda, C. ve Rúa Vieites, A. (2019). "Analysis of the Technical Efficiency of the Forms of Hospital Management Based on Public-Private Collaboration of the Madrid Health Service, as Compared with Traditional Management", *International Journal of Health Planning and Management*, 34(1), 414-442.
- Frehe T. (2013). "An Efficiency Evaluation of Small and Medium Sized Industries by Data Envelopment Analysis", Master Thesis, University of Vaasa, Finland.
- Hasan, M.Z., Dinsa, G.D. ve Berman, P. (2021). "A Practical Measure of Health Facility Efficiency: An Innovation in the Application of Routine Health Information to Determine Health Worker Productivity in Ethiopia", *Human Resources for Health*, 19(1), 1-14.
- Hu, J.L., Chang, M.C. ve Chung, H.J. (2020). "Projecting the Target Quantity of Medical Staff in Taiwan's Administrative Regions by the Theory of Carrying Capacity". *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(9), 2998.
- Johannessen, K.A., Kittelsen, S.A. ve Hagen, T.P. (2017). "Assessing Physician Productivity Following Norwegian Hospital Reform: A Panel And Data Envelopment Analysis", *Social Science & Medicine*, 175, 117-126.
- Kalaycı S. (2016). "SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik", Asil Yayın Dağıtım, Ankara.
- Kaman, F.B. ve Yücel, A. (2021). "Covid-19'dan En Çok Etkilenen 9 OECD Ülkesinin Sağlık Çalışanlarının Etkinliğinin İncelenmesi Üzerine Bir Çalışma", *Uygulamalı Sosyal Bilimler ve Güzel Sanatlar Dergisi*, 3(5), 14-25.
- Kaplan, A. D., Dominis, S., Palen, J. G., & Quain, E. E. (2013). "Human Resource Governance: What Does Governance Mean for the Health Workforce in Low-and Middle-Income Countries?", *Human resources for health*, 11(1), 1-12.
- Kılıcı M. ve Uludağ S. (2020). "Veri Zarflama Analizi ile Maliyet Performansı Ölçümü: BIST Tekstil Sektöründe Bir Uygulama", *BMIJ*, 8(4), 797-828, DOI: 10.15295/bmij.v8i4.1600.
- Li, Q., Wei, J., Jiang, F., Zhou, G., Jiang, R., Chen, M., Zhang, X. ve Hu, W. (2020). "Equity and Efficiency of Health Care Resource Allocation in Jiangsu Province, China", *International Journal for Equity in Health*, 19, 1-13.
- Mukherjee A. ve Parashar R. (2020). "Impact of the COVID-19 Pandemic on the Human Resources for Health in India and Key Policy Areas to Build a Resilient Health Workforce", *Gates Open Research*, 2020 (4), 159, DOI:10.12688/gatesopenres.13196.1.
- Norman, M. ve Stoker, B. (1991). "Data Envelopment Analysis: The Assessment Of Performance", John Wiley & Sons, Inc, Chichester, New York.
- Özbek, A. ve Demirkol, İ. (2019). "Avrupa Birliği Ülkeleri ile Türkiye'nin Ekonomik Göstergelerinin Karşılaştırılması", *Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, 26(1), 71-91.
- Pelone, F., Kringos, D.S., Spreeuwenberg, P., De Belvis, A.G. ve Groenewegen, P.P. (2013). "How to Achieve Optimal Organization of Primary Care Service Delivery at System Level: Lessons from Europe", *International Journal For Quality in Health Care*, 25(4), 381-393.

- Penev, T., Zhao, S., Lee, J.L., Chen, C.E., Metcalfe, L. ve Ozminkowski, R.J. (2023). "The Impact of A Workforce Mental Health Program on Employer Medical Plan Spend: An Application of Cost Efficiency Measurement for Mental Health Care", *Population Health Management*, 26(1), 60-71.
- Seiford, L.M. (1996). "Data Envelopment Analysis: The Evolution of the State of the Art (1978-1995)", *Journal of Productivity Analysis*, 7(2), 99-137.
- Šoltés, V. ve Gavurová, B. (2014). "Slovak Hospitals Efficiency-Application of The Data Envelopment Analysis", *International Multidisciplinary Scientific Conferences on Social Sciences and Arts (SGEM)*, 773-784.
- Sonğur, C., Ahmet, K.A.R., Teleş, M. ve Turaç, İ.S. (2017). "OECD Üye Ülkelerinin Sağlık Göstergeleri Açısından Etkinliklerinin Değerlendirilmesi ve Çoklu Uyum Analizi", *Siyaset, Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi*, 5(3), 1-12.
- Stefko, R., Gavurova, B. ve Kocisova, K. (2018). "Healthcare Efficiency Assessment Using DEA Analysis in the Slovak Republic", *Health Economics Review*, 8(1), 1-12.
- Şenol, O., Kişi, M. ve Eroymak, S. (2019). "OECD Ülkelerinin Sağlık Göstergelerini Veri Zarflama Analiz Yöntemiyle Karşılaştırılması", *Journal of Süleyman Demirel University Institute of Social Sciences Year*, 3(35), 277-293.
- Teleş, M., Çakmak, C. ve Konca, M. (2018). "Avrupa Birliği Döngüsündeki Ülkelerin Sağlık Sistemleri Performanslarının Karşılaştırılması", *Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, 25(3), 811-835.
- Tepe M. (2006). "Kıyaslama Çalışmasında Veri Zarflama Analizi Kullanımı", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Zhang, T., Lu, W. ve Tao, H. (2020). "Efficiency of Health Resource Utilisation in Primary-Level Maternal and Child Health Hospitals in Shanxi Province, China: A Bootstrapping Data Envelopment Analysis and Truncated Regression Approach", *BMC Health Services Research*, 20(1), 1-9.

Eko-İnovasyon Performansının Ekonomik Büyüme Etkisi: Avrupa Birliği Ülkeleri Üzerine Panel Veri Analizi

Zehra Binnur AVUNDUK¹, Hüseyin İÇEN²

ÖZET

Amaç: Küresel ısınma ve iklim değişikliğiyle mücadelede sürdürülebilirliğe yönelik yenilikçi yollar arayışı uluslararası gündemde özellikle son birkaç yıl içerisinde daha fazla önem kazanmıştır. Avrupa Birliği'ne göre bu konuda en önemli yollardan biri olarak addedilen eko-inovasyon, olumsuz çevresel etkilerin azaltılmasını ve kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlayan bir araçtır. Bu bağlamda çalışma temel olarak, eko-inovasyon performansının ekonomik büyüme üzerinde nasıl bir etkiye sahip olduğunu araştırmayı amaçlamaktadır.

Yöntem: Araştırmanın örneklemini olarak Avrupa Birliği ülkeleri seçilmiş ve analizler, Eurostat veri tabanından elde edilen ikincil verilerle uygulanmıştır. Bu çalışmada, eko-inovasyon performansı ve ekonomik büyüme, sırasıyla eko-inovasyon endeksi ve gayri safi yurtiçi hasıla (GSYİH) kullanılarak ölçülmüştür. Ampirik analiz panel veri yöntemiyle gerçekleştirilmiştir.

Bulgular: Araştırmanın sonucuna göre AB ülkeleri için 2013-2022 döneminde eko-inovasyondaki %1'lik artış ekonomik büyümeyi %0,53 oranında artırmıştır. Eko-inovasyonun son 10 yıllık dönemde AB üyesi ülkelerin ekonomik refahında yükselme etkisi yarattığı ifade edilebilir.

Özgünlük: Mevcut çalışma, eko-inovasyon performansının ekonomik büyüme üzerinde nasıl bir etkisi olduğu sorusunu tartışarak literatüre teorik ve ampirik olarak, yönetici ve politika geliştiricilere ise sunduğu önerilerle katkı sağlayan ülke düzeyindeki ilk çalışma olma özelliğine sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Eko-inovasyon, Sürdürülebilirlik, Ekonomik Büyüme, Panel Veri Analizi.

JEL Kodları: C23, O10, O30, O47, Q56.

The Impact of Eco-Innovation Performance on Economic Growth: Panel Data Analysis on European Union Countries

ABSTRACT

Purpose: The search for innovative ways to combat global warming and climate change has gained more importance on the international agenda, especially in the last few years. Eco-innovation, which is considered one of the most important ways in this regard according to the European Union, is a tool that reduces negative environmental impacts and uses resources more efficiently. In this context, the study basically aims to investigate what impact eco-innovation performance has on economic growth.

Methodology: The research sample consisted of European Union countries, and analyses were conducted using secondary data obtained from the Eurostat database. This research measured eco-innovation performance and economic growth using the eco-innovation index and gross domestic product (GDP), respectively. Empirical analysis was carried out using the panel data method.

Findings: According to the research findings, a %1 increase in eco-innovation during the period of 2013-2022 has led to a 0.53% increase in economic growth for EU countries. It can be stated that eco-innovation has had a positive impact on the economic well-being of EU member countries over the past decade.

Originality: The present study is the first of its kind at the country level, aiming to make theoretical and empirical contributions to the literature. It addresses the question of how eco-innovation performance impacts economic growth and provides practical recommendations for managers and policymakers.

Keywords: Eco-innovation, Sustainability, Economic Growth, Panel Data Analysis.

JEL Codes: C23, O10, O30, O47, Q56.

¹ Arş. Gör. Dr., İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu, İstanbul, Türkiye, avundukz@istanbul.edu.tr, ORCID: 0000-0001-6627-6454 (Sorumlu Yazar-Corresponding Author).

² Arş. Gör., İstanbul Üniversitesi, İktisat Fakültesi, Ekonometri Bölümü, İstanbul, Türkiye, huseyin.icen@istanbul.edu.tr, ORCID: 0000-0002-8982-8386.

DOI: 10.51551/verimlilik.1357187

Araştırma Makalesi / Research Article | Geliş Tarihi / Submitted Date: 08.09.2023 | Kabul Tarihi / Accepted Date: 19.10.2023

Atıf: Avunduk, Z.B. ve İcen, H. (2023). "Eko-İnovasyon Performansının Ekonomik Büyüme Etkisi: Avrupa Birliği Ülkeleri Üzerine Panel Veri Analizi", *Verimlilik Dergisi*, 57(4), 657-670.

EXTENDED ABSTRACT

Based on the increasing significance of global climate change and environmental issues related to resources, eco-innovation, or general technological innovation that also serves the function of “greening,” has become a topic of growing importance that is studied in institutions producing scientific research and developing socio-economic policies (Berkhout, 2011; Borghesi et al., 2013). As a new paradigm of technological innovation, eco-innovation is defined as “Eco-innovation is the introduction of any new or significantly improved product (good or service), process, organisational change or marketing solution that reduces the use of natural resources (including materials, energy, water and land) and decreases the release of harmful substances across the whole life-cycle (Eco-Innovation Observatory, 2012: 8).” Chen et al. (2017) express that eco-innovation has become a fundamental locomotive for achieving long-term stable economic development and reducing the tension between economic growth and environmental resource management.

Eco-innovation contributes to reducing costs and increasing economic growth by creating opportunities such as entering new markets and increasing employment opportunities. Moreover, businesses mitigate damaging environmental effects and create positive socio-economic effects by developing eco-innovations for the sustainable and effective usage of resources in their products, processes, and methods. This study aims to investigate how eco-innovation, which is of vital importance in reducing negative impacts on the environment, using resources more efficiently, supporting the transition to a circular economy, and achieving the European Green Deal goals, has an impact on economic growth. The current study contributes to the literature by evaluating the effects in the last 10-year period (2013-2022) with the most current data set for 27 European countries with panel data regression analysis.

In this study, which investigates the impact of eco-innovation performance on economic growth, the independent variable measured as an index represents eco-innovation, while the dependent variable is the real GDP. The research sample consisted of European Union countries, and analyses were conducted using secondary data obtained from the Eurostat database. Data for both variables were obtained annually for the period 2013-2022 from the European Commission Green Business and Eurostat databases, respectively, depending on data availability. Empirical analysis was carried out using the panel data method. The countries included in the analysis are as follows: Belgium, Bulgaria, Czech Republic, Denmark, Germany, Austria, Estonia, Finland, France, Netherlands, Croatia, Ireland, Spain, Sweden, Italy, Cyprus, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Hungary, Malta, Poland, Portugal, Romania, Slovakia, Slovenia, and Greece. The GDP data for the United Kingdom, North Macedonia, and Albania, as well as the eco-innovation index data for Iceland, Norway, Switzerland, the United Kingdom, Montenegro, North Macedonia, Albania, and Türkiye, were not included in the analysis due to the unavailability of data or missing data for certain years.

According to the research findings, a 1% increase in eco-innovation during 2013-2022 has led to a 0.534% increase in economic growth for EU countries. It can be stated that eco-innovation performance has had a positive impact on the economic well-being of EU member countries over the past decade. Ireland was found to have the highest impact of eco-innovation on GDP, while the country with the lowest impact (excluding the negative impact in Romania) is Greece. In other countries as well, eco-innovation positively affects GDP.

In the post-Kyoto Protocol era, eco-innovation will be a key driver of industrial efforts to combat climate change and achieve green growth. Eco-innovation requires the faster introduction of groundbreaking technologies and a more systematic implementation of existing solutions, including non-technological ones. Furthermore, eco-innovation offers opportunities to involve new players, develop new industries, and enhance competitiveness. Given that structural change in economies will become necessary in the coming period, it is recommended that governments adopt and develop eco-innovation policies, provide the necessary support to the industrial sector, and encourage businesses to develop eco-innovative products and invest in clean technologies to promote the economic, social, and environmental benefits (OECD, 2010). As eco-innovation increases, the use of high-cost and environmentally harmful fossil fuels will decrease. Therefore, efficient resource utilization and the adoption of clean production methods will lead to reduced production costs and the provision of products and services to consumers at more affordable prices. However, the impact of eco-innovation on economic growth may not be entirely positive. The development and implementation of new technologies can be costly, potentially reducing short-term profits for businesses.

As is the case in any study, there are certain limitations in this research as well. Future studies could contribute to the literature by comparing different groups of countries and analyzing their results based on various levels of development. By adding socio-economic variables to the research model, it could be examined whether different effects are present or not.

1. GİRİŞ

18. yüzyılda Sanayi Devrimiyle birlikte icatların üretim yöntemlerine etkisi, buhar gücü ile işlev gören teçhizatın makineleşmiş endüstriyi doğurması, endüstriyel yeni ürünlerin üretilmesi, seri üretime geçilmesi ve pazarların hızla genişlemesi ekonomik gelişim ve refah seviyesi açısından olumlu etkiler yaratmıştır. Bu gelişmelerle birlikte sanayide fosil yakıtların kullanımı ve hızla artan üretim sonucu doğayı kirleten zararlı atıkların sebep olduğu sera gazı salınımları, kuzey yarım küredeki buzulların ve karların erimesiyle Dünyanın yarım küreleri arasındaki sıcaklık farkının artmasının başlıca nedenlerinden olmuştur.

Özellikle 21. yüzyıldan itibaren Dünya çok sayıda küresel kriz ve bu krizlerin ortaya çıkardığı durumlarla karşı karşıya kalmıştır. Bu krizlerin en kritiklerinden biri, küresel ısınma ve iklim değişikliği olarak ifade edilebilir. Bu nedenle uluslararası gündemlerde sürdürülebilirliği sağlamaya yönelik yenilikçi yolların arayışı ön plana çıkmıştır. Avrupa Birliği (AB) ve Birleşmiş Milletler gibi uluslararası örgütler ve kurumlar hem küresel hem de yerel düzeyde küresel ısınma ve iklim değişikliğine sebep olan olumsuz etkileri en aza indirgeyerek sürdürülebilirliğin nasıl daha verimli bir şekilde sağlanabileceğine ilişkin politikalar geliştirmektedir. Özellikle AB'nin politika belgelerinde ve finansman planlarında eko-inovasyonun sürdürülebilirlik için kilit bir kavram olarak ortaya çıkmaya başladığı dikkat çekmektedir.

Küresel iklim değişikliğinin artan önemine ve kaynaklarla ilgili çevre sorunlarına dayanarak, eko-inovasyon veya aynı zamanda “yeşilleştirme” işlevine de sahip olan genel teknik inovasyon, bilimsel çalışmalar üreten ve sosyoekonomik politikalar geliştiren kurumlarda incelenen ve önemi gün geçtikçe artan bir konu haline gelmiştir (Berkhout, 2011; Borghesi ve diğerleri, 2013). Teknolojik inovasyonun yeni bir paradigması olarak eko-inovasyon, “doğal kaynakların (hammadde, enerji, su ve toprak dahil) kullanımını ve zararlı maddelerin salınımını azaltmaya yönelik yeni veya önemli ölçüde geliştirilmiş bir ürün (mal veya hizmet), süreç, organizasyonel değişim veya pazar programları” olarak tanımlanmaktadır (Eco-Innovation Observatory, 2012: 8). Chen ve diğerleri (2017) eko-inovasyonun, uzun vadeli istikrarlı ekonomik kalkınma için temel bir lokomotif ve ekonomik büyüme ile çevresel kaynak yönetimi arasındaki gerilimi azaltmanın temel bir yolu haline geldiğini ifade etmektedir.

Eko-inovasyon, AB’de kaynak ve enerji verimliliğini teşvik etmek ve düşük karbonlu bir toplum yaratmak için önde gelen stratejilerden biridir çünkü bu stratejinin malzeme satın alma maliyetlerini düşürme gibi başka avantajları da söz konusudur. Dolayısıyla eko-inovasyon AB’yi küresel dünyada daha rekabetçi olmaya yönlendirmektedir (Eryigit ve Özcüre, 2015). Eko-inovasyon ve yeşil teknolojiler, Avrupa’nın geleceğinin anahtarıdır ve AB politikalarının merkezinde yer alır. AB’nin ekonomik ve genel refahı, temel olarak doğal çevresiyle bağlantılıdır (European Commission Green Business, 2023). Yenilenebilir enerji ve kaynak verimli çözümlere yönelik küresel talep, önümüzdeki yıllarda bir istihdam ve ekonomik büyüme kaynağı olacaktır (Lesakova, 2019). Eko-inovasyon, maliyetlerin düşürülmesine katkı sağlayabileceği gibi yeni pazarlara girme, istihdam olanaklarının artması gibi imkânlar yaratarak ekonomik büyümeyi arttırabilir. İşletmeler; ürün, süreç ve yöntemlerinde kaynakların sürdürülebilir ve verimli kullanımına yönelik eko-inovasyonlar geliştirerek olumsuz çevresel etkileri azaltmanın yanı sıra olumlu sosyoekonomik etkiler de yaratır.

Eko-inovasyon literatüründe yer alan ekonometrik çalışmalar esas olarak küçük ölçekli, firma düzeyinde ve kesitsel örneklere dayanmaktadır (Cainelli ve diğerleri, 2013; Cuerva ve diğerleri, 2014; Horbach, 2008; Horbach, 2014; Horbach, 2016; Horbach ve diğerleri, 2012; Horbach ve diğerleri, 2013; Petruzzelli ve diğerleri, 2011; Triguero ve diğerleri, 2013) panel veri analizinin nadiren kullanıldığı görülmektedir (Jové-Llopis ve Segarra-Blasco, 2018). Puertas ve Marti (2021) ’nin çalışmasında gelişmiş ülkelerin (OECD ülkeleri) panel veri örneği kullanılarak eko-inovasyon ile sera gazı emisyonları arasındaki bağlantının belirlenmesi amaçlanmıştır. Araştırmanın analiz yöntemi olarak veri zarflama analizi ve genelleştirilmiş momentler yöntemi kullanılmıştır. Konuyla ilgili ulusal literatürdeki çalışmaların ise daha az sayıda olduğu dikkat çekmektedir. Örneğin, Fikirli ve diğerleri (2022) Türkiye’de eko-inovasyonun AB ülkeleri ile karşılaştırmalı etkinliğini 2010-2018 dönemi için parametrik olmayan veri zarflama analizi yöntemi kullanarak belirlemeye yönelik bir çalışma yapmıştır. Ünlü (2021) ise 1999-2014 dönemine ilişkin verileri kullanarak yüksek ve orta gelirli ülkelerde çevresel inovasyonlar ile toplam faktör verimliliği arasındaki ilişkiyi panel veri analiziyile incelemiştir. Yücel ve Terzioğlu (2023), 2010-2018 döneminde sürdürülebilir kalkınma çerçevesinde Türkiye ve Avrupa ülkelerinde eko-inovasyon kapasitelerinin ortaya çıkarılması amacıyla dinamik mekânsal panel veri analizi uygulamıştır.

Hem ulusal hem de uluslararası literatür incelendiğinde eko-inovasyonun ekonomik büyüme üzerinde doğrudan etkisini araştıran bir araştırmanın bulunmadığı görülmüştür. Daha önceki çalışmalar farklı değişken ve analiz yöntemleri kullanarak eko-inovasyonun önemini ortaya koymuştur. Özellikle ulusal literatürde konuyla ilgili sınırlı sayıda çalışma olması sebebiyle Türkiye’nin uyguladığı sürdürülebilirlik ve ekonomi politikaları ile işletmelerin uyguladığı üretim yönetimi stratejilerine yönelik tartışmanın genişletilmesi ve derinleştirilmesine ihtiyaç vardır. Bu çalışmanın özgün değeri, eko-inovasyon

performansının ekonomik büyüme üzerindeki etkisini 27 AB ülkesi üzerinde panel veri analizi yöntemiyle ölçmesi ve veri tabanlarında mevcut olan en yeni verileri kullanarak, literatüre güncel sonuçlar sunmasıdır. Böylece hem ulusal literatüre ampirik sonuçlarla katkı sağlanmakta hem de araştırma bulguları değerlendirilerek araştırmacılara ileriki çalışmalar; yönetici ve politika yapıcılara ise uygulama için öneriler sunulmaktadır.

Sürdürülebilirliğin ve yeşil kalkınmanın sağlanmasında AB politikalarının kalbinde yer alan ekono-vasyonun ekonomik büyüme üzerindeki etkisinin araştırılmasının amaçlandığı bu makale aşağıdaki şekilde planlanmıştır. Takip eden bölümlerde sırasıyla; konuyla ilgili literatür özetlenmekte, araştırmanın yöntemi kısmında 27 AB ülkesi için Eurostat tarafından yayınlanan ekono-vasyon endeksi ve ekonomik büyüme (GSYİH) verisi kullanılarak araştırma modeli 2013-2022 dönemi panel veri analiziyle tahmin edilmiştir. Son olarak, araştırmanın bulguları değerlendirilerek sonuç ve öneriler kısmında tartışılmıştır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Günümüzde sürdürülebilir yeniliklerin geliştirilmesinin önemi konusunda artan bir sosyal ve politik farkındalık söz konusudur. Örneğin, 2011’de Avrupa Komisyonu, AB’yi yeşil teknolojilerin ötesine taşıyan ve kapsamlı bir ekono-yenilikçi ürün, süreç ve hizmet yelpazesini teşvik eden Ekono-vasyon Eylem Planı’nı başlatmıştır. Firmalar faaliyetlerinin sonuçlarının daha fazla farkında oldukça ve sosyal olarak sorumlu olmaya çalıştıkça, inovasyon için çevresel kaygılar giderek daha yaygın hale gelmektedir (Díaz-García ve diğerleri, 2015).

“Ekono-vasyonu Ölçmek” (MEI) adlı AB tarafından finanse edilen bir araştırma projesinde, ekono-vasyon şu şekilde tanımlanmıştır: OECD’nin OSLO kılavuzundaki inovasyon tanımından hareketle Kemp ve Pearson (2007: 7)’in önerdikleri ekono-vasyon tanımı, “kaynak kullanımının (enerji kullanımı dâhil) çevresel risk, kirlilik gibi diğer negatif etkileri alternatiflerine göre yaşam döngüsü boyunca azaltan kuruluş için yeni olan (geliştirme veya benimseme) bir ürün, üretim süreci, hizmet, yönetim veya iş yönteminin üretimi, özümsemesi veya kullanılmasıdır.” Fussler ve James (1996) tarafından geliştirilen bu kavram, hane halklarına ve firmalara fayda sağlayan daha yeni ürünler ve süreçler yaratırken olumsuz ekolojik etkileri azaltmak için kaynakların daha iyi kullanılması olarak tanımlanmıştır (Larbi-Siaw ve diğerleri, 2022). İnovasyon türlerinden biri olan ekono-vasyon, çevresel ve ekonomik yenilik arasındaki kesişim ve ekonomik faaliyetlerde toplumun hem çevresel hem de ekonomik performansını geliştiren bir değişiklik (Huppel ve diğerleri, 2008: 29) olarak ifade edilebilir. Bu tanımlar ışığında terim incelendiğinde “eko” ön ekinin hem “eko-nomik” hem de “eko-lojik” kavramlarını temsil eden yapısı itibarıyla hem ekonomik hem de ekolojik boyutu olan yenilikleri kapsadığı ifade edilebilir (Avunduk, 2021).

Ekono-vasyon, olumsuz çevresel etkileri azaltır, fosil yakıtlardan elde edilen enerji kullanımında azalmaya yol açar veya temiz teknolojiler geliştirilmesine katkı sağlayarak üretimde yenilenebilir enerji sistemlerinin kullanılmasına olanak sağlar ve bu nedenle kaynak ve iklim koruması için çok önemlidir. Buna ek olarak, ekono-vasyon ekonomik faaliyetlerin olumsuz dış çevresel etkilerinin giderilmesine yardımcı olur (Horbach, 2016). Ayrıca, özellikle malzeme ve enerji kullanımının azaltılmasından kaynaklanan bir motivasyon olarak maliyet tasarrufları, ekono-vasyon için daha önemli olabilir, çünkü çoğu durumda daha az düzeyde çevresel etkiye sebep olurlar. Örneğin, daha az malzeme tüketimi, atıkların azaltılması anlamına gelir ve enerji tasarrufuna normalde CO₂ emisyonlarının azaltılması eşlik eder (Horbach ve diğerleri, 2013). Ürün/hizmet verimliliğinin artırılması, çevresel negatif etkilerin azaltılması, geri dönüştürülebilirlik oranının artırılması, yenilenemeyen kaynak tüketiminin azaltılması ve ürün yaşam döngüsünün daha uzun olması için kalite iyileştirilmesi gerektiğini savunan ekono-verimlilik yaklaşımı, endüstriyel sürdürülebilirliğin sağlanması ve ulusların sürdürülebilir kalkınmasının yönetilmesine katkı sağlayan önemli stratejik bir alan olarak görülmektedir (Yücel, 2021).

Teknolojilerdeki inovasyon ve bunların nasıl uygulandığı, sanayinin insanlara ve dünyaya fayda sağlarken yeni katma değerler yaratmasını sağlamanın anahtarıdır. İmalat işletmeleri, son dönemde, sürdürülebilir üretime yönelik çabalarını kirliliğin önlenmesinden ürün yaşam döngülerini ve daha geniş etkileri dikkate alan bütünleşik yaklaşımlar yönünde geliştirmektedir. Ekono-vasyon, önemli çevresel iyileştirmeler sağlayabilen teknolojik ve teknolojik olmayan değişikliklerin bir bileşimi yoluyla bu evrimi mümkün kılmaya yardımcı olur. Mevcut iklim değişikliği ve ekonomik kriz müzakereleri, ekono-vasyonu hızlandırarak yeşil bir ekonomiye ulaşma yolunda için önemli bir fırsat olarak değerlendirilmelidir (OECD, 2022).

Ekono-vasyon, çevresel sürdürülebilirliği ve verimliliği artırmak amacıyla yeni ürünler, hizmetler, süreçler veya iş modelleri geliştirmeyi içeren bir yaklaşımdır. Ekono-vasyon, ekonomik rekabetçiliğin sürdürülebilir kalkınmayla ilişkilendirilmesini ve dolaylı olarak doğal kaynakların rasyonel ve verimli kullanımıyla bağlantılı olarak ekonomik faaliyetlerin çevre üzerindeki olumsuz etkisinin azaltılmasını içeren bir inovasyon türüdür (Dogaru, 2020). Bu inovasyon türü aynı zamanda üretimden itibaren tüm süreçlerde

çevresel ve toplumsal olumsuz etkileri önleyerek rekabet gücünü artırmanın bir yolu (OECD, 2009) ve sürdürülebilirliğin vazgeçilmez bir koşulu olarak da kabul edilmektedir (Aghion ve diğerleri, 2009; European Commission, 2011).

Eko-inovasyon çevre dostu ürün, süreç ve teknolojiler geliştirilmesini içerdiğinden, bu tür inovasyonlar şirketlere rekâbet üstünlüğü sağlayabilir. Bu da pazar payını arttırabilir ve dolayısıyla ekonomik büyümeyi destekleyerek ülke ekonomilerine rekabet üstünlüğü sağlar. Bu kavram, çevresel faydaları, kaynakların daha verimli kullanımı ve tüketiminde artan verimliliği içeren rekabetçi teknolojilerin ve yenilikçi iş modelleri dahil olmak üzere kurumsal yapıların gelişiminde önemli bir rol oynamaktadır (De Jesus ve diğerleri, 2018). Buna ek olarak, sürdürülebilirlik konusunda toplumsal farkındalık düzeyi yükseldikçe çevre dostu ürün ve hizmetlere olan talep artacağı için yeni pazar fırsatları doğabilir. Eko-inovasyon kapsamında geliştirilen ürünler, bu sayede yeşil pazar segmentinde büyüme yardımcı olabilir.

Yeni gelişen bir olgu olan dögüsel ekonomi, birim çıktı başına hammaddeyi en aza indirmeye ve atıkları mümkün olduğunca geri dönüştürerek üretim girdisi olarak yeniden kullanmaya çalışmaktadır. Dögüsel ekonomi yaklaşımı, atıkların veya kullanılmış malzemelerin katma değer yaratarak geri dönüştürülmesini ve ekonomiye fayda sağlayacak şekilde yeniden kullanılmasını sağlar. Bu nedenle işletmelerin üretim süreçlerinde köklü değişiklikler yapması gerekmektedir. Üretim süreçlerinin dögüsel hale getirilmesi, araştırma geliştirme (Ar-Ge) ve yeni faaliyetlerin uygulanmasını gerekli kılmakta, bu da işletmelerin dögüsel ilkeleri benimseyerek inovasyon yapmasını gerektirmektedir (Avunduk, 2023). De Jesus (2018) eko-inovasyon ile dögüsel ekonomiyi ilişkilendirdiği makalesinde dögüsel ekonominin oluşturulmasının, iş birliğine dayalı ve çok paydaşlı sistemik entegrasyona dayalı bir sürece bağlı olduğunu ve eko-inovasyonun bunu başarma yolunda önemli bir rol teşkil ettiğini vurgulamaktadır. De Jesus (2018) literatür araştırmasının sonucuna göre, genel olarak dögüsel ekonominin makro düzeyinde temiz uyumun, orta düzeyinde yeşil kolektif inovasyonun ve mikro düzeyde ise dinamik dögüsel iş modellerinin önemini vurgulamaktadır.

Çeşitli türdeki eko-inovasyonların (ürün, süreç ve organizasyonel) üretilmesi ve uygulanmasını içeren ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin uygulanmasını sağlayan, işletmeler tarafından yürütülen eko-inovasyon faaliyetleri, dögüsel bir ekonomideki birçok sürecin karakteristik özelliğinin önemli bir parçasını oluşturur. Eko-inovasyonu dögüsel iş modelleri oluşturmanın merkezi olarak düşünmek, sinerji etkisini kullanarak işletmeler tarafından yürütülen faaliyetlerin sosyo-ekonomik verimliliğini arttırabilir (Pichlak ve Szromek, 2022). Eko-inovasyon, enerji verimliliğini artırma ve atık miktarını azaltarak geri dönüşüm yoluyla atık parçaları yeniden üretimle ekonomiye kazandırma gibi alanlarda iyileştirmeler yaparak şirketlerin işletme maliyetlerini düşürebilir. Bu da işletmelerin daha yüksek kâr marjları elde etmesine ve büyümelerine katkı sağlayabilir. Bu inovasyon türü, yenilikçiliği teşvik edebilir ve işletme içinde bir inovasyon kültürünün oluşmasına yardımcı olabilir, bu da uzun vadede ekonomik büyümeyi destekleyebilir. Buna ek olarak, çevre üzerinde olumlu etkiler yaratmayı amaçlayarak ekonomik büyümenin sürdürülebilirliği için önemli olan temiz hava, su ve toprak gibi doğal kaynakların korunmasına katkı sağlar. Eko-inovasyon projeleri, sürdürülebilir finansman kaynakları ve yatırımcıları çekme potansiyeline sahip olduğundan işletmelerin büyüme için gerekli kaynakları daha kolay elde etmelerine yardımcı olur.

Teknolojik yetenekler eko-inovasyonun gerçekleştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Horbach, 2016). Literatürde eko-verimlilik, eko-inovasyon ve makro iktisadi değişkenlerle yapılan çalışmalar bulunmaktadır. Horbach'ın (2008) Alman panel verilerine dayanarak gerçekleştirdiği çalışmada, teknolojik yeteneklerin ("bilgi sermayesi") araştırma-geliştirme tarafından geliştirilmesinin eko-inovasyonları tetiklediği tespit edilmiştir. Cañón-De-Francia ve diğerleri (2006)'nın çalışmasının bulguları, bir şirkette daha fazla teknik bilginin bulunmasının, yeni çevresel düzenlemelerin talepleri karşısında kırılganlığını hafiflettiğini göstermektedir. Yücel (2021) eko-verimlilik ve eko-inovasyon tahmin ve ölçme süreçlerinde mekânsal ilişkilerin önemine vurgu yapmaktadır. Bu motivasyon ile Yücel ve Terzioğlu (2022), dinamik mekânsal panel veri yöntemi ile Türkiye ve Avrupa ülkeleri için eko-verimliliği iki farklı model üzerinden analiz etmişlerdir. Mekânsal etkinin dahil edildiği durumda önemli bulgular elde etmişlerdir. Yücel ve Terzioğlu'nun (2022) dinamik mekânsal panel veri analizi uyguladığı araştırmanın bulgularına göre, eko-inovasyon kısa-uzun vadede herhangi bir ülke ve komşuluk ilişkilerinin bulunduğu ülkelerdeki enerji verimliliğinin artmasını sağlayabilmektedir. Buna ek olarak, Yücel ve Terzioğlu (2023) sürdürülebilir kalkınma kapsamında Türkiye ve Avrupa ülkelerinde 2010-2018 dönemlerinde eko-inovasyon kapasitelerinin ortaya çıkarılması amacıyla dinamik mekânsal panel veri yöntemi kullanılan çalışmasının sonucunda, ülkelerin eko-inovasyon ve göstergeleri arasında kısa ve uzun dönem doğrudan-dolaylı olarak anlamlı bir mekânsal ilişki elde edildiğini bulmuştur. Güncel literatür, en iyi bilgi altyapısına yakınlığın ve daha fazla bölgesel ve konum koşullarının eko-inovasyonu desteklediğini göstermektedir (Cainelli ve diğerleri, 2011; Horbach, 2014).

Bazı araştırmacılar, çevre politikasının geliştirme/yenilik aşamasında eko-inovasyonu tetiklediğini, diğerleri ise benimseme/yayımla aşamasında bir etki yarattığını bulmuşlardır (Hojnik ve Ruzzier, 2016).

Çevre politikasının önemli bir yönü, her iki aşamada da eko-inovasyonu etkileyen katılığdır. Ek olarak, katı düzenlemeler, küresel talep veya düzenleyici eğilimler tarafından desteklendiğinde öncü pazarların yaratılmasına neden olabilir (Beise ve Rennings, 2005). Arfaoui ve diğerleri (2014), katılığın politikanın en belirleyici özelliği olduğunu vurgulamıştır. Buna ek olarak, ekonomik teşvik araçları her iki aşamada da eko-inovasyonu teşvik etme eğilimindedir. Özellikle devlet sübvansiyonları/hibeleri, vergiler ve gönüllü anlaşmalar her iki aşamada da eko-inovasyonu teşvik eder.

Andabaka ve diğerlerinin (2019) uyguladığı ekonometrik analize göre, 2010-2016 döneminde GSYİH büyüme oranının, kurumların kalitesinin ve belediye atıklarının geri dönüşüm oranının eko-inovasyon üzerinde istatistiksel olarak anlamlı ve olumlu bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Eko-inovasyonun GSYİH üzerindeki rolü, sürdürülebilir ekonomik büyüme sağlama, iş fırsatları yaratma, kaynak verimliliğini artırma ve çevresel sorunların çözümüne katkı sağlama gibi rollerle önemli bir etkiye sahiptir. Ekonomik büyümenin sürdürülebilirliği için çevresel faktörlerin göz önünde bulundurulması, kaynakların verimli kullanımı, temiz üretim teknolojilerine geçilmesi ve döngüsel ekonomi uygulamalarının ülkedeki tüm işletmeler ve kurumlar tarafından benimsenmesi, uzun vadede daha dengeli ve sağlıklı bir ekonomiye tesis etme yolunda katkı sağlayabilir.

Literatür araştırmasına göre hem ulusal hem de uluslararası literatürde eko-inovasyonun ekonomik büyüme üzerinde doğrudan etkisini araştıran bir çalışmanın bulunmadığı görülmüştür. Önceki çalışmalar, farklı örneklemeler üzerinde farklı değişken ve analiz yöntemleri kullanarak elde ettikleri bulgularla eko-inovasyonun önemini vurgulamıştır. Özellikle ulusal literatürde konuyla ilgili sınırlı sayıda çalışma olması sebebiyle Türkiye'nin uyguladığı sürdürülebilirlik ve ekonomi politikaları ile işletmelerin uyguladığı üretim yönetimi stratejilerine yönelik tartışmanın genişletilmesi ve derinleştirilmesine ihtiyaç vardır. Bu sebeple mevcut çalışma, eko-inovasyon performansının ekonomik büyüme üzerindeki etkisini veri tabanlarında mevcut olan en yeni verileri kullanarak 27 AB ülkesi üzerinde panel veri analizi yöntemiyle ölçerek literatüre sunduğu güncel sonuçlarla ilgili araştırma boşluğuna hitap etmeyi amaçlamaktadır. Böylece hem ulusal literatüre ampirik sonuçlarla katkı sağlanmakta hem de araştırma bulguları değerlendirilerek araştırmacılara ileriki çalışmalar; yönetici ve politika yapıcılara ise uygulama için öneriler sunularak katkı sağlanmaktadır.

3. VERİ, YÖNTEM VE AMPİRİK BULGULAR

Eko-inovasyon performansının ekonomik büyüme üzerindeki etkisinin araştırıldığı bu çalışmada eko-inovasyona ait değişken endeks olarak ölçülen bağımsız değişken iken, ekonomik büyüme değişkeni ise reel GSYİH, bağımlı değişken olarak ele alınmıştır. Her iki değişkene ait veri seti, verinin ulaşılabilirliğine bağlı olarak 2013-2022 dönemi için yıllık biçimde sırasıyla; Avrupa Komisyonu Yeşil İş (European Commission Green Business, 2023) ve Eurostat veri tabanından elde edilmiştir. Ampirik analiz panel veri yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Analize dâhil edilen ülkeler; "Belçika, Bulgaristan, Çekya, Danimarka, Almanya, Avusturya, Estonya, Finlandiya, Fransa, Hollanda, Hırvatistan, İrlanda, İspanya, İsveç, İtalya, Kıbrıs, Letonya, Litvanya, Lüksemburg, Macaristan, Malta, Polonya, Portekiz, Romanya, Slovakya, Slovenya, Yunanistan"dir. İngiltere, Kuzey Makedonya ve Arnavutluk'un GSYİH; İzlanda, Norveç, İsviçre, İngiltere, Karadağ, Kuzey Makedonya, Arnavutluk ve Türkiye'nin eko-inovasyon endeksi verisi, veri setinde mevcut olmadığı veya bazı yılların verisi eksik olduğu için bu ülkeler analize dâhil edilememiştir.

Eko-inovasyon endeksi, AB Üye Devletleri genelinde eko-inovasyon performansını göstermektedir. Beş boyutta gruplandırılmış 16 gösterge uygulayarak eko-inovasyonun farklı yönlerini anlamayı amaçlar. Bu boyutlar, eko-inovasyon girdileri-faaliyetleri-çıktıları, kaynak verimliliği ve sosyo-ekonomik sonuçlardır. Eko-inovasyon endeksi, bireysel üye devletlerin AB ortalamasına kıyasla eko-inovasyonun farklı boyutlarında ne kadar iyi performans sergilediğini göstermekle birlikte güçlü ve zayıf yönlerini de sunar. Eko-inovasyon endeksi, AB ülkelerinin diğer yenilikçilik ölçüm yaklaşımlarını tamamlayarak ekonomik, çevresel ve sosyal performansa bütünsel bir bakış açısı getirmeyi amaçlamaktadır. Eko-inovasyon endeksinin oluşturulan boyutlar Tablo 1'de sunulmaktadır.

Tablo 1. Eko-inovasyon endeksindeki boyutlar

Boyutlar	Açıklama	Göstergeler
Eko-inovasyon Girdileri	Eko-inovasyon girdileri, faaliyetlerini tetiklemeyi amaçlayan yatırımları (finansal veya insan kaynakları) içerir.	<ul style="list-style-type: none"> - GSYİH'nin yüzdesi olarak devletlerin çevre ve enerji Ar-Ge ödenekleri ve harcamaları - Toplam istihdamın yüzdesi olarak toplam Ar-Ge personeli ve araştırmacıları - Yeşil erken aşama yatırımlarının toplam değeri
Eko-inovasyon Faaliyetleri	Eko-inovasyon faaliyetleri, şirketler tarafından üstlenilen eko-inovasyon faaliyetlerinin kapsamını ve ölçeğini izlemeye yönelik göstergeleri içerir. Bileşen, yenilik faaliyetinin fiili sonuçlarından ziyade çabalara ve faaliyetlere odaklanır.	<ul style="list-style-type: none"> - KOBİ'ler arasında kaynak verimliliği eylemlerinin uygulanması - KOBİ'ler arasında sürdürülebilir ürünlerin uygulanması - ISO 14001 sertifika sayısı
Eko-inovasyon Çıktıları	Eko-inovasyon çıktıları, eko-inovasyon faaliyetlerinin anlık sonuçlarını tanımlar. Bu bileşendeki göstergeler, işletmeler ve araştırmacılar tarafından üretilen bilgi çıktılarının eko-inovasyon ile ne ölçüde ilişkili olduğunu izlemek için kullanılır.	<ul style="list-style-type: none"> - Eko-inovasyonla ilgili patentler - Eko-inovasyon ile ilgili akademik yayınlar - Eko-inovasyonla ilgili medya kapsamı
Eko-inovasyonun Sosyo-ekonomik Çıktıları	Eko-inovasyonun sosyo-ekonomik sonuçları, eko-inovasyon faaliyetlerinin toplum ve ekonomi üzerindeki daha geniş etkilerini göstermektedir. Bu, geniş ölçüde anlaşılan eko-inovasyon faaliyetleriyle ilgili olabilecek istihdam, ciro veya ihracattaki değişiklikleri içerir.	<ul style="list-style-type: none"> - Toplam ihracatın yüzdesi olarak eko-endüstrilerden ürün ihracatı - İş gücünün yüzdesi olarak çevre koruma ve kaynak yönetimi faaliyetlerinde istihdam - GSYİH'nin yüzdesi olarak çevre koruma ve kaynak yönetimi faaliyetlerinde katma değer
Eko-inovasyonun Kaynak Verimliliği Çıktıları	Kaynak verimliliği çıktıları, eko-inovasyonun gelişmiş kaynak üretkenliği üzerindeki daha geniş etkileriyle ilgilidir. Eko-inovasyonun kaynak verimliliği üzerinde iki kat olumlu etkisi olabilir: Üretilen ekonomik değeri artırırken aynı zamanda doğal çevre üzerindeki baskıları azaltabilir.	<ul style="list-style-type: none"> - Malzeme verimliliği (GSYİH/Yurtiçi Malzeme Tüketimi) - Su verimliliği (GSYİH/toplam tatlı su kullanımı) - Enerji verimliliği (GSYİH/brüt iç enerji tüketimi) - Sera gazı emisyonu yoğunluğu (CO2e/GDP)

Kaynak: Eco-innovation Action Plan (2022).

Ampirik analizde her iki değişkenin de doğal logaritmaları dikkate alınmıştır. Veri dönemi 2013-2022 yıllarını kapsamakta olup ele alınan panel regresyon modeli Eşitlik 1'de verilmektedir:

$$\ln GDP_{it} = a_{it} + a_1 \ln ECO_{it} + \mu_i + \lambda_t + u_{it}, \quad i = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T \quad (1)$$

Eşitlik 1 ile verilen modelde μ_i ülkelere özgü birim etkiyi, λ_t ise yıllara özgü zaman etkiyi ifade etmektedir. Panel veri analizi ile birim (ülke) değişkenliği ve gözlenemeyen heterojenlik modellenebilmekte, gözlem sayısı ve serbestlik derecesi artmakta, dolayısıyla tahmin sapması da azalmaktadır. Panel veri modelleri ile çalışırken öncelikle birim ve /veya zaman etkinin test edilmesi gerekmektedir. Tablo 2'de birim etkinin olmadığını ifade eden temel hipotez reddedilirken zaman etkisini ifade eden temel hipotez reddedilememiştir. Dolayısıyla birimlere özgü etkinin modelde yer alması gereklidir. Ancak bu etkinin sabit mi tesadüfi mi olduğuna karar verilmesi gerekmektedir.

Tablo 2. Birim ve/veya zaman etkinin F testi

	Birim etki	Zaman etkisi
Hipotez	$H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_{N-1} = 0$	$H_0 = \lambda_1 = \lambda_2 = \dots = \lambda_{T-1} = 0$
Test İstatistiği	371.04 [0.0000]	0.31 [0.9700]

Not: [.] olasılık değerini ifade etmektedir. Alternatif hipotez en az birisi sıfırdan farklıdır şeklinde kurulmaktadır.

Tablo 3'te GSYİH ve Eko-inovasyon arasındaki ilişki sabit etkiler (FE) ve tesadüfi etkiler (RE) modelleri ile tahmin edilmiş ve elde edilen bulgular verilmiştir. Tablo 2'de elde edilen birim etkinin bağımsız değişken ile arasında korelasyon olup olmadığını sınamak için Hausman testi yapılmıştır. Açıklayıcı değişken ile birim etki arasında korelasyon olmadığını ifade eden temel hipotez reddedilmiştir. Bu durumda sabit etkiler tahmincisi tutarlı olduğundan bu modelin tercih edilmesi uygundur.

Tablo 3. Panel regresyon sonuçları

Bağımlı değişken: $\ln GSYİH$	FE	RE	Robust [†]
$\ln ECO$	0.534* (0.037)	0.557* (0.038)	0.534* (0.058)
Sabit Terim	7.558* (0.171)	7.450* (0.189)	7.558* (0.270)
F/Wald	203.60*	217.98*	85.96*
χ^2_{HET}/F	1257.42* [0.0000]	6.294* [0.0000]	
Mod. Bhargava et al.	0.519	0.519	
Durbin Watson			
Baltagi-Wu LBI	0.889	0.8890	
Pesaran CD	14.138* [0.0000]	13.018* [0.0000]	
Hausman		13.91 [0.0002]	

Not: * %1 düzeyinde istatistiksel açıdan anlamlılığı, (.) standart hatayı, [.] olasılık değerini göstermektedir. [†] ise Driscoll-Kraay standart hatalar ile sabit etkiler tahminini ifade etmektedir.

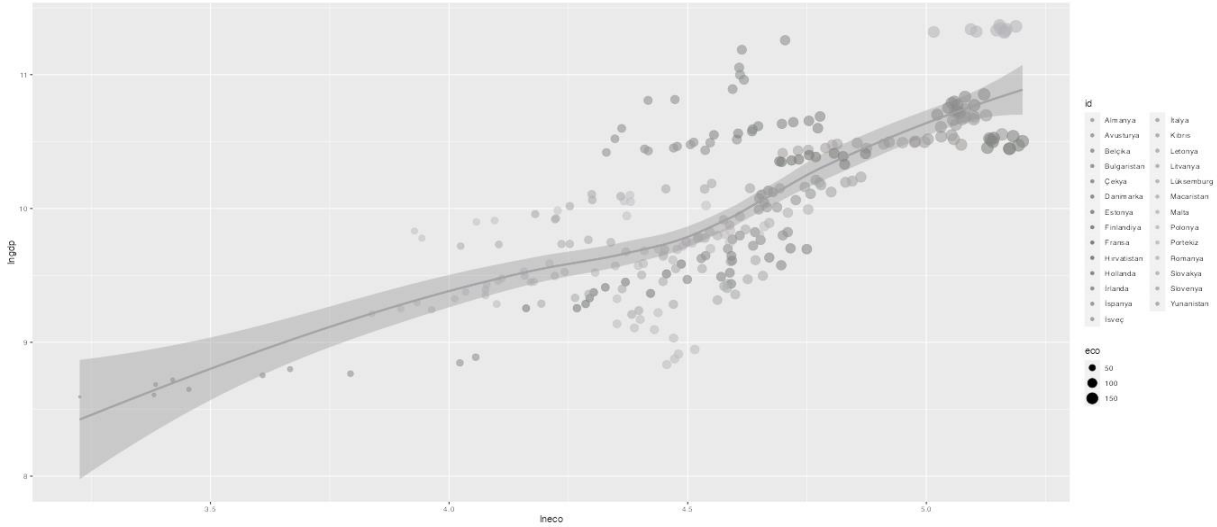
Tablo 3'te sabit etkiler ve tesadüfi etkiler modellerine ait varsayımdan sapmalar (otokorelasyon, değişen varyans ve birimlerarası korelasyon) için uygulanan test sonuçları verilmektedir. Sabit etkiler modelinde birimlere göre değişen varyansın test edilmesinde modifiye edilmiş Wald testi kullanılmış olup ki-kare test istatistiği (χ^2_{HET}) verilmiştir. Varyansın birimlere göre homojen olduğu (homoskedastik) temel hipotez reddedilmiştir. Otokorelasyonun test edilmesinde Bhargava ve diğerleri (1982) Durbin Watson testi ve Baltagi-Wu (1999) yerel en iyi değişmez testleri uygulanmıştır. Hem sabit hem tesadüfi etkiler modelinde elde edilen değerler 2'den küçük olduğu için otokorelasyon probleminde söz edilebilmektedir. Tesadüfi etkiler modelinde değişen varyansın test edilmesinde Levene (1960) ve Brown ve Forsythe (1974) önermiş olduğu testlerden yararlanılmıştır. F test sonucuna göre (W50) varyansların eşit olduğu temel hipotez reddedilmiştir. Hem sabit hem tesadüfi etkiler modelinde birimler arası korelasyonun test edilmesinde Pesaran (2004) CD test kullanılmıştır. Burada da elde edilen bulgulara göre her iki modelde de birimler arası korelasyon olduğu görülmektedir. Dolayısıyla her iki modelde de söz edilen her üç varsayımdan sapmanın olduğu görülmektedir. Bu durumda Hausman test sonucunu da dikkate alarak sabit etkiler modeli için dirençli (robust) tahmin sonuçlarına yer verilmektedir. Dirençli tahmin yöntemi olarak Driscoll - Kraay (1998) standart hatalar kullanılmıştır. Nihai model (robust) sonuçlarına göre eko-inovasyondaki %1'lik artış GSYİH'da %0,534 artışa neden olmaktadır. Tahmin edilen model istatistiksel olarak anlamlıdır. Ünelere göre eko-inovasyonun GSYİH üzerindeki etkisini görmek amacıyla birimler bazında tahmin sonuçları elde edilmiş ve Tablo 4'te raporlanmıştır.

Tablo 4'te ülkelere göre GSYİH ve eko-inovasyon arasındaki ilişkiye ait eğim katsayıları görülmektedir. Birimler bazında bakıldığında 5 ülke haricindeki (İspanya, Fransa, Lüksemburg, Finlandiya ve İsveç) tüm ülkelere ait tahminler istatistiksel olarak anlamlıdır. Romanya ve Finlandiya'ya ait parametreler beklenenin aksine negatif olarak tahmin edilmiştir. Ancak Finlandiya'ya ait parametre tahmini istatistiksel olarak anlamsız çıkmıştır. Eko-inovasyonun GSYİH'ye etkisinin en yüksek olduğu ülke İrlanda, en düşük olduğu ülke (negatif olan Romanya hariç) ise Yunanistan'dır. Diğer ülkelerde de eko-inovasyon GSYİH'yi pozitif yönde etkilemektedir. Şekil 1'de tüm ülkelere göre eko-inovasyon ve GSYİH arasındaki pozitif yönlü ilişki açıkça görülmektedir.

Tablo 4. Birimlere göre panel regresyon sonuçları

Ülkeler	Eğim Katsayısı (lnECO)	Ülkeler	Eğim Katsayısı (lnECO)
Belçika	0.324*	Litvanya	0.779*
Bulgaristan	0.329*	Lüksemburg	0.152
Çekya	0.977*	Macaristan	0.514**
Danimarka	1.199**	Malta	0.430*
Almanya	0.276*	Hollanda	0.485*
Hırvatistan	0.985*	Avusturya	0.220***
İtalya	0.287**	Finlandiya	-0.196
Kıbrıs	0.652*	İsveç	0.732
Letonya	0.982*		

Not: *, ** ve *** sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeyinde istatistiksel açıdan anlamlılığı ifade etmektedir.



Şekil 1. Eko-inovasyon ile GSYİH ilişkisi

4. SONUÇ ve ÖNERİLER

AB'nin sürdürülebilir ekonomik büyümeye olan bağlılığı, yaşam kalitesini sağlarken, kaynak verimliliği ve çevrenin korunmasını teşvik eden politika çerçevesine de yansımaktadır. Eko-inovasyon, sürdürülebilir kalkınmanın ekonomik, çevresel ve sosyal boyutlarını hesaba katarken bu taahhüdü destekleyen güçlü bir araçtır (Andabaka ve diğerleri, 2019). Bu araştırmada, eko-inovasyonun ekonomik büyüme üzerindeki etkisi 27 AB ülkesi için incelenmiştir. Araştırma modeli, Eurostat tarafından yayınlanan eko-inovasyon endeksi ve büyüme verileriyle 2013-2022 dönemi panel veri regresyon analiziyle tahmin edilmiştir. Araştırmanın bulgularına göre AB ülkeleri için 2013-2022 döneminde eko-inovasyondaki %1'lik artış ekonomik büyümeyi %0,534 oranında arttırmıştır. Eko-inovasyonun son 10 yıllık dönemde AB üyesi ülkelerin ekonomik refahında yükselme etkisi yarattığı ifade edilebilir. Eko-inovasyonun GSYİH'ye etkisinin en yüksek olduğu ülke İrlanda, en düşük olduğu ülke (negatif olan Romanya hariç) ise Yunanistan olarak bulunmuştur. Diğer ülkelerde de eko-inovasyon GSYİH'yi pozitif yönde etkilemektedir. Eko-inovasyonun ekonomik büyümeyi nasıl etkilediği, sektörden sektöre ve ülkeden ülkeye farklılık gösterebilir.

Eko-inovasyon arttıkça hem yüksek maliyetli hem de çevreye zararlı olan fosil yakıtların kullanımı azalacaktır. Dolayısıyla kaynakların verimli kullanılması ve temiz üretim yöntemlerinin benimsenmesiyle üretim maliyetlerinin düşürülmesi, ürün ve hizmetlerin de daha uygun fiyata tüketicilere sunulmasını sağlayacaktır. Buna ek olarak eko-inovasyonun sağladığı sürdürülebilir koşullar, tüm bireylerin temiz teknolojilerle üretilen ürünlere ulaşmasını kolaylaştıracaktır. Böylece hem ekonomik hem sosyal hem de çevresel faydalar sağlanarak refah düzeyinin artmasına katkı sağlanacaktır. Bir diğer yandan eko-inovasyonun ekonomik büyüme üzerindeki etkisi tamamen olumlu olmayabilir. Yeni teknolojilerin geliştirilmesi ve uygulanması maliyetli olabileceği için işletmelerin kısa vadeli kârını azaltabilir.

Eko-inovasyonla ilişkilendirilen sosyal değer, araçsal olarak ekonomik değer yaratılmasına atfedilmiş ve AB'nin eko-inovasyon söylemi, ekonomik büyümenin çevre koruma ve sosyal kalkınma için ön koşul olduğu çevre ekonomisi söylemi etrafında şekillenmiştir (Colombo ve diğerleri, 2018). Eko-inovasyonun AB içinde döngüsel ekonomiye giden yolu açtığını göz önünde bulundurarak, eko-inovasyon faaliyetlerini teşvik etmek için kurumsal destek sağlamak ve nihai kullanıcıların sürdürülebilir tüketim uygulamalarını benimsemeleri, mevcut sosyo-ekonomik modelde sistemik değişimi yönlendiren önemli faktörler olarak addedilmektedir (Andabaka ve diğerleri, 2019). Bir diğer öneri olarak, çevre dostu teknolojilerin, eko-inovasyon uygulamaları ve politikalarının kalkınma politikalarıyla birlikte ele alınması önem arz eder (Yücel ve Terzioğlu, 2023).

Eko-inovasyon, Kyoto Protokolü sonrası dönemde iklim değişikliğiyle mücadele ve yeşil büyümeyi gerçekleştirmeye yönelik endüstri çabalarının temel itici gücü olacaktır. Eko-inovasyon, çığır açan teknolojilerin daha hızlı tanıtılmasını ve teknolojik olmayanlar da dâhil olmak üzere mevcut çözümlerin daha sistematik bir şekilde uygulanmasını gerektirir. Buna ek olarak eko-inovasyon, yeni oyuncularını dahil etmek, yeni endüstriler geliştirmek ve rekâbet gücünü artırmak için fırsatlar sunar. Ekonomilerdeki yapısal değişim, önümüzdeki dönemde zorunlu bir hal alacağı için devletler tarafından eko-inovasyon politikalarının benimsenmesi ve geliştirilmesi önem arz etmekte olup, sanayi sektörüne gerekli desteğin sağlanarak, işletmelerin eko-yenilikçi ürünler geliştirmesi ve üretim süreçlerinde temiz teknolojilerin kullanımına yönelik yatırım yapılması hususunda teşvik edilmesi önerilir.

Eko-inovasyonun gelişmesi ve benimsenmesi için ülkelerin uygulayabileceği politikalar, çevresel sürdürülebilirliği teşvik etmek, işletmelerin ve toplumun yeşil teknolojilere geçişini kolaylaştırmak amacıyla tasarlanmalıdır. Ülkeler, eko-inovasyonu teşvik etmek için döngüsel ekonomi politikalarını geliştirebilir, eko-inovasyonun bir parçası olan geri dönüşüm ve atık yönetimi sistemleri için teşvikler ve yönergeler oluşturarak, atık azaltma ve kaynakların kapalı döngü içinde kalma süreçlerine destek sağlayabilirler. Buna ek olarak, kamu kurumları ve devlet birimleri aracılığıyla yeşil ürün ve hizmetlere öncelik veren alım politikaları uygulayabilirler. Bu politikaların uygulanması yeşil pazarları büyütürken işletmeleri çevre dostu ürünler geliştirmeye yönlendirebilir. Ülke yönetimleri, eko-inovasyonu desteklemek için finansal teşvikler, hibe programları ve düşük faizli krediler gibi araçlar sunabilir ve yeşil teknolojilerin Ar-Ge aşamalarına fon sağlanarak yenilikçilik teşvik edebilir. Toplumun ve iş dünyasının eko-inovasyonun faydaları ve önemi hakkında bilgi sahibi olmasını sağlamak amacıyla farklı hedef kitlelere yönelik eğitim programları ve farkındalık kampanyaları düzenlenebilir.

Yeşil ürünler ve hizmetler için standartlar belirlemek ve sertifikasyon süreçlerini geliştirmek, işletmelerin sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmalarına yardımcı olabilir ve müşterilere güvence sağlayabilir. Bu sertifikalar, ISO 14001 çevre yönetim sistemi, ISO 140064 sera gazı emisyonları ve ölçümü yönetimiyle ilgili standartlar, ISO 50001 enerji yönetim sistemi gibi kaynakları verimli kullanma ve negatif çevresel etkileri azaltma konusunda yol gösteren uluslararası standartlara dair kalite belgeleridir. İşletmelerin belirtilen kalite sertifikasyonlarını alması, bu standartların akredite edilen işletmeler tarafından sağlandığına dair güvence vermekte olup, yeşil mutabakat kapsamında AB ülkeleriyle ticaret yapılmasında, 2030 yılına kadar sıfır emisyon hedefine ulaşma yolculuğunda ciddi katkılar sağlayabilir, tüketici güvenini artırabilir ve piyasada şeffaflık sağlayabilir.

Ülke yönetimleri, eko-inovasyonun mevcut durumu, etkileri ve fırsatları hakkında veri toplama ve analizini teşvik edebilir. Toplanan bu veri, politika kararlarını desteklemek için kullanılabilir. Yücel ve Terzioğlu'nun (2023) önerdiği üzere, eko-inovasyon faaliyetlerinin uygulanabilirliği ve kazanımları AB ve çeşitli yabancı kuruluşlar tarafından değerlendirilmekteyken, Türkiye'de bu konu kapsamında yeterli inceleme yapılamamaktadır. Türkiye'nin eko-inovasyon faaliyetleri bakımından hangi düzeyde yer aldığının belirlenmesi, eksik yönlerinin tespit edilerek geliştirilmesi için neler yapılması gerektiği ve küresel piyasalarda rekâbet gücünün ortaya konulmasında veri eksikliği sebebiyle araştırma yapılamaması önemli bir kısıtlılık olarak değerlendirilmektedir. Bu çerçevede, Türkiye'de eko-inovasyon faaliyetlerinin düzeyinin bölgesel seviyede ortaya çıkarılması gerekmektedir.

Ülkeler; akademi, sanayi, teknoparklar, meslek odaları ve sivil toplum örgütleri arasında iş birliği ağı oluşturmayı teşvik edebilir. Bu ekosistem, açık inovasyonu destekleyerek bilgi paylaşımıyla sinerji yaratarak

daha yenilikçi üretim ortamı yaratabilir. Buna ek olarak ülke yönetimleri, eko-inovasyonu teşvik etmek için vergi indirimi veya muafiyetleri gibi finansal teşvikler sağlayabilirken, çevre dostu olmayan ürünlerin kullanımını sınırlamak amacıyla cezai uygulamalar veya ek vergiler getirebilir. Politika yapıcılar, eko-inovasyonun gelişmesini desteklemek için uygun hukuki ve düzenleyici çerçeve oluşturabilirler. Bu ise, yeni teknolojilerin benimsenmesini kolaylaştırabilir.

Her çalışmada olduğu gibi bu çalışmada da birtakım kısıtlar bulunmaktadır. İleriki çalışmalar farklı ülke gruplarını karşılaştırıp elde ettikleri sonuçlarla çeşitli gelişmişlik seviyelerine göre analiz yaparak literatüre katkı sağlayabilir. Araştırma modeline sosyo-ekonomik değişkenler eklenerek, farklı etkilerin söz konusu olup olmadığı incelenebilir.

Bilgilendirme / Acknowledgements

Çalışmanın gelişmesine katkıda bulunan hakemlere ve Dergi Editörüne teşekkürlerimizi sunarız.

We would like to thank to the reviewers and Journal Editor who contributed to the improvement of the study.

Yazar Katkıları / Author Contributions

Zehra Binnur Avunduk: Literatür Taraması, Kavramsallaştırma, Metodoloji, Veri Derleme, Makale Yazımı-rijinal taslak, Makale yazımı-inceleme ve düzenleme Hüseyin İçen: Metodoloji, Veri Derleme, Modelleme, Analiz, Makale Yazımı-rijinal taslak

Zehra Binnur Avunduk: Literature Review, Conceptualization, Methodology, Data Curation, Writing original draft, Writing-review and editing Hüseyin İçen: Methodology, Data Curation, Modelling, Analysis, Writing-original draft

Çatışma Beyanı / Conflict of Interest

Yazarlar tarafından herhangi bir potansiyel çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No potential conflict of interest was declared by the authors.

Fon Desteği / Funding

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

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

Etik Standartlara Uygunluk / Compliance with Ethical Standards

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

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

Etik Beyanı / Ethical Statement

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

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



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

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

KAYNAKÇA

- Aghion, P., Hemous, D. ve Veugelers, R. (2009). "No Green Growth without Innovation", Bruegel, Brussels. Bruegel Policy Brief 2009/07.
- Andabaka, A., Sertić, M. ve Harc, M. (2019). "Eco-innovation and Economic Growth in the European Union", *Zagreb International Review of Economics and Business*, 22(2), 43-54.
- Arfaoui, N., Brouillat, E. ve Saint Jean, M. (2014). "Policy Design and Technological Substitution: Investigating the REACH Regulation in An Agent-Based Model", *Ecological Economics*, 107, 347-365.
- Avunduk, Z.B. (2021). "Üretim Yönetiminde Yeşil İnovasyon: (S)SCI Dergilerinde Yayımlanan Makalelerin İçerik Analizi", *Yönetim Bilimleri Dergisi*, 19 (Özel Sayı), 187-210.
- Avunduk, Z.B. (2023). "Scientometric Analysis of Circular Innovation: A Novel Approach for Sustainability", *Opportunities and Challenges in Sustainability*, 2(2), 62-70, DOI: 10.56578/ocs020201.
- Baltagi, B.H. ve Wu, P.X. (1999). "Unequally Spaced Panel Data Regressions with AR(1) Disturbances", *Econometric Theory*, 15, 814-823.
- Beise, M. ve Rennings, K. (2005). "Lead Markets and Regulation: A Framework for Analyzing the International Diffusion of Environmental Innovations", *Ecological Economics*, 52(1), 5-17.
- Berkhout, F. (2011). "Eco-innovation: Reflections on an Evolving Research Agenda", *International Journal of Technology, Policy and Management*, 11(3-4), 191-197.
- Bhargava, A., Franzini, L. ve Narendranathan, W. (1982). "Serial Correlation and the Fixed Effects Model", *The Review of Economic Studies*, 49(4), 533-549.
- Borghesi, S., Costantini, V., Crespi, F. ve Mazzanti, M. (2013). "Environmental Innovation and Socioeconomic Dynamics in Institutional and Policy Contexts", *Journal of Evolutionary Economics*, 23(2), 241-245.
- Brown, M. B. ve Forsythe, A. B. (1974). "Robust tests for the equality of variances", *Journal of the American Statistical Association*, 69, 364-367.
- Cainelli, G., Mazzanti, M. ve Zoboli, R. (2011). "Environmental Innovations, Complementarity and Local/Global Cooperation: Evidence From North-East Italian Industry", *International Journal of Technology, Policy and Management*, 11(3-4), 328-368.
- Cañón-De-Francia, J., Garcés-Ayerbe, C. ve Ramírez-Alesón, M. (2006). "Are More Innovative Firms Less Vulnerable to New Environmental Regulation?", *Environmental and Resource Economics*, 36(3), 295-311.
- Chen, J., Cheng, J. ve Dai, S. (2017). "Regional Eco-innovation in China: An Analysis of Eco-innovation Levels and Influencing Factors", *Journal of Cleaner Production*, 153, 1-14.
- Colombo, L. A., Pansera, M. ve Owen, R. (2018). "The Discourse of Eco-innovation in the European Union: An Analysis of the Eco-Innovation Action Plan and Horizon 2020", *Journal of Cleaner Production*, 214, 653-665.
- Cuerva, M. C., Triguero-Cano, Á., ve Córcoles, D. (2014). "Drivers of Green and Non-green Innovation: Empirical Evidence in Low-Tech SMEs", *Journal of Cleaner Production*, 68, 104-113.
- De Jesus, A., Antunes, P., Santos, R., ve Mendonça, S. (2018). "Eco-innovation in the Transition to a Circular Economy: An Analytical Literature Review", *Journal of Cleaner Production*, 172, 2999-3018.
- Díaz-García, C., González-Moreno, Á. ve Sáez-Martínez, F. J. (2015). "Eco-innovation: Insights from a Literature Review", *Innovation: Management, Policy & Practice*, 17(1), 6-23.
- Dogaru, L. (2020). "Eco-innovation and the Contribution of Companies to the Sustainable Development", *Procedia Manufacturing*, 46, 294-298.
- Driscoll, J. ve A.C. Kraay. (1998). "Consistent Covariance Matrix Estimation with Spatially Dependent Data", *Review of Economics and Statistics*, 80, 549-560.
- Eco-Innovation Observatory. (2012). "Methodological Report", https://ams-forschungsnetzwerk.at/downloadpub/eio_methodological_report_2012.pdf, (Erişim Tarihi: 30.08.2023).
- Eco-Innovation Action Plan (2022). https://ec.europa.eu/environment/ecoap/indicators/index_en, (Erişim Tarihi: 14.04.2022).
- Eryigit, N. ve Özcüre, G. (2015). "Eco-Innovation as Modern Era Strategy of Companies in Developing Countries: Comparison Between Turkey and European Union", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 195, 1216-1225.
- European Commission (2022). "The Eco-innovation Action Plan", https://ec.europa.eu/environment/ecoap/about-action-plan/objectives-methodology_en, (Erişim Tarihi: 08.04.2022).
- European Commission Green Business (2023). https://green-business.ec.europa.eu/eco-innovation_en, (Erişim Tarihi: 16 Eylül 2023).

- European Commission, (2011). Horizon 2020-The Framework Programme for Research and Innovation, Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions.
- Eurostat (2023). <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database>, (Erişim tarihi: 16 Eylül 2023).
- Fikirlı, Ö., Ünlü, H. ve Yücel, E.M. (2022). "Türkiye'de Eko-İnovasyon Göstergeleri ve Eko-İnovasyon Etkinliği", *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi*, 17(1), 104-126.
- Fussler, C. ve James, P. (1996). "Driving Eco-Innovation: A Breakthrough Discipline for Innovation and Sustainability", Financial Times/Prentice Hall.
- Hojnik, J., ve Ruzzier, M. (2016). "What Drives Eco-innovation? A Review of an Emerging Literature", *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 19, 31-41.
- Horbach, J. (2008). "Determinants of Environmental Innovation-New Evidence from German Panel Data Sources", *Research Policy*, 37(1), 163-173.
- Horbach, J. (2014). "Do Eco-innovations Need Specific Regional Characteristics? An Econometric Analysis for Germany", *Review of Regional Research*, 34(1), 23-38.
- Horbach, J. (2016). "Empirical Determinants of Eco-innovation in European Countries Using the Community Innovation Survey", *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 19, 1-14.
- Horbach, J., Rammer, C. ve Rennings, K., (2012). "Determinants of Eco-innovations by Type of Environmental Impact—The Role of Regulatory Push/pull, Technology Push and Market Pull", *Ecological Economics*, 78, 112-122.
- Horbach, J., Oltra, V., ve Belin, J. (2013). "Determinants and Specificities of Eco-Innovations Compared to Other Innovations—An Econometric Analysis for the French and German Industry Based on the Community Innovation Survey", *Industry and Innovation*, 20(6), 523-543.
- Huppes, G., Kleijn, R., Huele, R., Ekins P., Shaw, B., Esders, M. ve Schaltegger, S. (2008). "Measuring eco-innovation: framework and typology of indicators based on causal chains", *Final Report of the ECODRIVE Project*, University of Leiden.
- Jové-Llopis, E., ve Segarra-Blasco, A. (2018). "Eco-innovation strategies: A panel data analysis of Spanish manufacturing firms", *Business Strategy and the Environment*, 27(8), 1209-1220.
- Kemp, R. ve Pearson, P. (2007). "Final Report MEI Project about Measuring Eco-innovation", <http://www.merit.unu.edu/MEI>, (Erişim Tarihi: 12.04.2022).
- Larbi-Siaw, O., Xuhua, H., Owusu, E., Owusu-Agyeman, A., Fulgence, B. E. ve Frimpong, S. A. (2022). "Eco-innovation, Sustainable Business Performance and Market Turbulence Moderation in Emerging Economies", *Technology in Society*, 68, 101899.
- Lesakova, L. (2019). "Small and Medium Enterprises and Eco-Innovations: Empirical Study of Slovak SME's". *Marketing and Management of Innovations*, 3, 89-97, DOI: <http://doi.org/10.21272/mmi.2019.3-07>.
- Levene, H. (1960). "Robust Tests for Equality of Variances", *Contributions to Probability and Statistics: Essays in Honor of Harold Hotelling*, Editorler: Olkin, I., Ghurye, S.G., Hoeffding, W., Madow, W.G. ve Mann, H.B., Stanford University Press, Menlo Park, CA, 278-292.
- OECD (2009). Sustainable Manufacturing and Eco-innovation. Framework, Practices and Measurement. Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris. Synthesis report.
- OECD (2010). "Eco-Innovation in Industry: Enabling Green Growth", <https://www.oecd.org/sti/inno/eco-innovationinindustryenablinggreengrowth.htm>, (Erişim Tarihi: 04.04.2022).
- OECD (2022). "Green Growth and Eco-innovation", <https://www.oecd.org/sti/ind/greengrowthandeco-innovation.htm>, (Erişim Tarihi: 04.04.2022).
- Pesaran, M. Hashem, (2004). "General Diagnostic Tests for Cross Section Dependence in Panels", IZA Discussion Papers 1240, Institute of Labor Economics (IZA).
- Petruzzelli, A. M., Dangelico, R. M., Rotolo, D. ve Albino, V. (2011). "Organizational Factors and Technological Features in the Development of Green Innovations: Evidence from Patent Analysis", *Innovation: Management, Policy & Practice*, 13(3), 291-310, DOI: <https://doi.org/10.5172/impp.2011.13.3.291>.
- Pichlak, M. ve Szromek, A.R. (2022). "Linking Eco-Innovation and Circular Economy-A Conceptual Approach", *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 8, 121, DOI: <https://doi.org/10.3390/joitmc8030121>.
- Puertas, R. ve Marti, L. (2021). "Eco-innovation and Determinants of GHG Emissions in OECD Countries", *Journal of Cleaner Production*, 319, 128739.
- Triguero, A., Moreno-Mondéjar, L., ve Davia, M. A. (2013). "Drivers of Different Types of Eco-Innovation in European SMEs", *Ecological Economics*, 92, 25-33, DOI: [10.1016/j.ecolecon.2013.04.009](https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.04.009).

- Ünlü, F. (2021). "Çevresel İnovasyonların Toplam Faktör Verimliliği Üzerindeki Etkisi: Panel ARDL Yaklaşımı", *Verimlilik Dergisi*, 4, 21-34.
- Yücel, M.A. (2021). "Çevresel Sürdürülebilirliğin Değerlendirilmesi: Dinamik Mekânsal Panel Veri Yaklaşımı", *Bilgi Sosyal Bilimler Dergisi*, 23(1), 53-90.
- Yücel, M.A. ve Terzioğlu, M.K. (2022). "Türkiye ve Avrupa Bölgesinde Eko-verimlilik: Dinamik Mekânsal Panel Veri Yaklaşımı", *Verimlilik Dergisi*, 4, 569-584.
- Yücel, M.A. ve Terzioğlu, M.K. (2023). "Sürdürülebilir Kalkınma ve Eko-İnovasyon: Dinamik Mekânsal Etkileşim", *Verimlilik Dergisi*, Döngüsel Ekonomi ve Sürdürülebilirlik Özel Sayısı, 171-186.

Kurumlar Arası Belge Paylaşımında Dijitalleşmenin Verimliliğe Etkisi

Muhammed Raşit ÖZDAŞ¹, Aslıhan TÜFEKÇİ²

ÖZET

Amaç: Çalışmada, kurumlar arasında fiziki ortamda paylaşılan resmî belgelerin kamuya mali yükünün boyutlarının ne olduğu incelenmektedir. Bu kapsamda, kâğıt ortamda paylaşılan yazılara kıyasla verimlilik artışının ekonomik açıdan analiz edilmesi ve en yüksek maliyet unsuru teşkil eden bileşenlerin ortaya konması amaçlanmıştır.

Yöntem: Çalışmada, insan performans teknolojisi yönteminden yararlanılmıştır. Elektronik ortamda paylaşılan resmi yazılarla kâğıt ortamında paylaşılan resmi yazılar arasındaki performans farkı örnek bir merkezi kamu kurumunun evrak biriminde analiz edilmiş ve bir maliyet analiziyle desteklenmiştir.

Bulgular: İncelemesi yapılan kurumda kâğıt ortamında belge paylaşımından kaynaklı doğrudan maliyetin yıllık 23.414 TL olduğu, buna mukabil fiziki ortamda gönderilip alınan resmi yazıların gecikmesinden kaynaklı fırsat maliyetinin yıllık 3.905.702 TL olduğu anlaşılmıştır. Fırsat maliyeti resmi yazıya muhatap personelin yazıyı beklemesinde geçen sürenin maliyet karşılığı olarak hesaplanmıştır.

Özgünlük: Çalışmada resmi yazışma sürecinde maliyet unsuru olan bileşenler ortaya konmuş ve sayısal verilerle ekonomik analiz yapılmıştır. Ayrıca fırsat maliyeti olarak nitelendirilebilecek şekilde resmi yazıya muhatap personelin zaman maliyeti de analize dâhil edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kurumlar Arası Belge Paylaşımı, Elektronik Belge, Verimlilik, Dijitalleşme, İnsan Performans Teknolojisi.

JEL Kodları: D73, H83, J22, J38.

The Impact of Digitization on Efficiency in Inter-Organizational Record Sharing

ABSTRACT

Purpose: This study examines the extent of the financial burden to the public of official documents that are physically shared between institutions. In this context, it is aimed to analyze the increase in efficiency compared to paper documents in economic terms and to identify the components that constitute the highest cost element.

Methodology: The study utilizes the human performance technology method. The difference in performance between electronic and paper-based official correspondence was analyzed in a sample central public institution's document unit and supported by a cost analysis.

Findings: It was found that the direct cost of sharing documents on paper in the analyzed organization was 23,414 TL per year, while the opportunity cost due to the delay in sending and receiving official letters in physical environment was 3,905,702 TL per year. Opportunity cost is calculated as the cost equivalent of the time spent by the personnel addressed to the official letter waiting for the letter.

Originality: In the study, the components that are cost elements in the official correspondence process were revealed and economic analysis was made with numerical data. In addition, the time cost of the personnel addressing the official letter, which can be described as opportunity cost, was also included in the analysis.

Keywords: Interagency Document Sharing, Electronic Document, Efficiency, Digitalization, Human Performance Technology.

JEL Codes: D73, H83, J22, J38.

¹ Doktora Öğrencisi, Gazi Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü, Yönetim Bilişim Sistemleri Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye, muhammedrasit.ozdas@gazi.edu.tr, ORCID: 0000-0003-3925-1205 (Sorumlu Yazar-Corresponding Author).

² Prof. Dr., Gazi Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü, asli@gazi.edu.tr, ORCID: 0000-0002-8669-276X.

DOI: 10.51551/verimlilik.1294293

Araştırma Makalesi / Research Article | Geliş Tarihi / Submitted Date: 09.05.2023 | Kabul Tarihi / Accepted Date: 07.10.2023

Atıf: Özdaş, M.R. ve Tüfekçi, A. (2023). "Kurumlar Arası Belge Paylaşımında Dijitalleşmenin Verimliliğe Etkisi", *Verimlilik Dergisi*, 57(4), 671-686.

EXTENDED ABSTRACT

Today, as in many areas of the service sector, service delivery through electronic media has rapidly become widespread in the field of e-government. With the entry into force of the Electronic Signature Law No. 5070 in 2004, it has become possible for documents in electronic media to be recognized as official documents and thus to be used as a component of e-government. Well-established document management practices are an integral part of public business processes. The fact that official correspondence is carried out both within and between institutions makes it mandatory to plan electronic document management systems (EDMS) processes for the entire public sector. However, if one of the institutions does not use EBYS, it directly affects the process efficiency of all counterpart organizations.

Units and institutions that have not transferred their official correspondence processes to electronic environment or partially transferred them negatively affect both the performance of internal processes and the performance of counterpart organizations. Therefore, the active use of EDMS in one public institution is not sufficient to increase performance across the public sector, as many processes involve more than one public institution.

In this study, the cost of documents sent in physical environment to the public is presented for a sample public institution in the light of concrete data.

The fact that transfer of official documents is a fundamental element of public processes increases the importance of EDMS in public institutions. Since official correspondence is carried out between institutions as well as within the institution, it becomes necessary to plan EDMS processes for the entire public sector. However, if one of the institutions does not use EDMS, it directly affects the process efficiency of all related institutions. The purpose of this study is to reveal the cost of documents of an institution that are still shared in the physical environment due to fact that addressee institutions have not done such transition. The main purpose of the study is create a basis for a cost analysis for public institutions that have not adapted to EDMS processes and to raise awareness. In the study, the public cost of documents sent in physical form is presented for an exemplary public institution in the light of concrete data.

The human performance technology method was used in the study. The performance difference between official records shared in electronic format and paper-based format has been analyzed within the document unit of a central public institution, supported by a cost analysis. While performing the cost analysis, costs such as postal and courier expenses, paper costs, and personnel expenses in the document unit and also units receiving documents were calculated using real data, covering a 1-year period.

Cost elements in the official correspondence process were revealed and an economic analysis based on numerical data was made. In addition, time cost of the personnel addressed to the official letter, viewed as the opportunity cost, is also included in the analysis. It has been understood that the direct cost of document sharing in the paper environment in the institution examined is 23.414 TL per year, whereas the opportunity cost due to the delay of official letters sent in physical environment is 3.905.702 TL per year. Opportunity cost is calculated as the cost equivalent of the time spent waiting for the official letter by the correspondent personnel.

In this study, an approach to measuring indirect costs is presented. On the basis of the approach, overtime costs arising from the waiting time of the personnel responding to the official letter are taken into account. While the staff is waiting for an official letter, they can deal with other work, but the fact that all activities that can be completed in a year in the public sector are directly affected by delays in official correspondence justifies an approach focused on working hours, although not in the most ideal way. It is clear that the cost analysis put forward in a public institution alone will not be decisive for the general public. In fact, the necessary framework for the application of the same methodology to the general public is provided. The framework can easily be applied to other institutions as well. Within the scope of the study, the opportunity cost (over working hours) arising from the waiting of the personnel stands out as an important and priority cost item. Highlighting this cost element will raise awareness in this area. It would be beneficial for the integrity of the academic writing in this field to expand the use of personnel costs in benefit-cost analyzes by making similar performance evaluations in other areas, which are examined specifically in EDMS for this study.

1. GİRİŞ

Günümüzde hizmet sektörünün pek çok alanında olduğu gibi e-devlet alanında da elektronik ortamdaki hizmet sunumu hızlı bir şekilde yaygınlaşmıştır. e-Devlet uygulamaları ile hizmetlerin verimliliğinin artırılması ve devlet ile vatandaş etkileşiminin iyileştirilmesi amaçlanmaktadır (Külcü, 2009). 2004 yılında 5070 sayılı Elektronik İmza Kanunu'nun yürürlüğe girmesiyle birlikte elektronik ortamdaki dokümanların resmî belge olarak tanınabilmesi ve dolayısıyla e-devletin bir bileşeni olarak kullanılabilmesi mümkün hale gelmiştir (Elektronik İmza Kanunu, 2004). İlgili kanun kapsamında elektronik belge; elektronik ortamda oluşturulan, gönderilen ve saklanan her türlü belge anlamına gelmektedir (Aşık ve Civelek, 2011:3). Resmî belgelerin kamu süreçlerinin temel bir unsuru olması kamu kurumlarında elektronik belge yönetim sistemlerinin (EBYS) önemini artırmaktadır. EBYS en kısa tanımıyla resmi yazışma süreçlerini yöneten temel yazılım sistemi ve teknik altyapı olarak adlandırılabilir.

EBYS'lerin yaygınlaşmasıyla insana bağlı olası ihmal ve hataların da önüne geçerek sistem kararlılığının artırılması (Kopec ve diğerleri, 2003; Handel ve diğerleri, 2011), kolay arama yapabilme, belge süreçlerinin hızlanması, istatistiklerin tutulabilmesi, düşük maliyetlere imkân sağlanması, daha az personelle süreçleri yürütebilme, elektronik belge yönetim süreçlerinin kurumsallaşması ve bilgi yönetimine katkı sağlanması hedeflenmektedir (Önaçan ve diğerleri, 2012). İyi kurgulanmış belge yönetimi uygulamaları, kurumsal iş süreçlerinin ayrılmaz bir parçasıdır (Chaffey ve Wood, 2011: 61). Resmî yazışmaların kurum içi olduğu kadar kurumlar arası da yapıyor olması, EBYS süreçlerinin tüm kamu geneli için planlanmasını zorunlu kılmaktadır. Ancak kurumlardan birinin EBYS kullanmaması, tüm muhatap kuruluşların süreç verimliliğini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, çalışmada fiziki ortamda gönderilen belgelerin kamuya maliyeti somut veriler ışığında, örnek bir kamu kurumu için ortaya konmuştur.

EBYS kullanımı kamuda yaygınlaşmış olmakla birlikte uygulamada teknik ve operasyonel sorunların yaşanmakta olduğu gözlenmektedir. Özellikle yüksek yazışma hacmine sahip kurumlarda yazı işleri süreçlerini yürüten birimlerin performansı sürecin genelini etkileyen önemli bir faktördür. Bu birimlerdeki teknik bilgi eksikliği, iletişim sorunları, kaynak yetersizliği gibi sorunlar resmi yazışma süreçlerinin işleyişini temel olarak etkileyen sorunlardır. Ayrıca resmi yazışma süreçlerini elektronik ortama aktarmamış veya kısmi aktarmış birimler ve kurumlar da hem kurum iç süreçlerinin performansını hem de muhatap kuruluşların performansını olumsuz etkilemektedir. Rummler ve Morrill (2004)'e göre, bir kuruluşta birey bazındaki işlerle bu kişilerin parçası olduğu süreçler ve kurumsal seviyede sonuçlar arasında bir ilişki mevcuttur. Bu ilişki kamu genelinde düşünüldüğünde, bir personelin performans düşüklüğü, farklı bir kurumda ama aynı sürecin farklı bir adımında yer alan başka bir personelin performansından etkilenecektir. Benzer bir ilişki teknik sistemlerle insanlar arasında da mevcuttur. Araştırmacılar insan kaynakları ile sistem ve teknolojilerin hepsinin performans artışında birlikte etkili olduğunu belirtmektedir (Appelbaum ve diğerleri, 1998). Dolayısıyla, EBYS'nin bir kamu kurumunda aktif kullanılıyor olması, pek çok süreç birden fazla kamu kurumunu ilgilendirdiğinden, kamu genelinde performansı artırmak için yeterli değildir.

Bu çalışmanın amacı, EBYS süreçlerine adapte olamamış kamu kurumlarında gerçekleştirilebilecek iyileştirmelere bir zemin hazırlamak ve farkındalık oluşturmak üzere, EBYS geçişi sağlamış bir kurumun (muhatap kurumlar sebebiyle) halen fiziki ortamda paylaşılan belgelerinin maliyetini ortaya koymaktır. Çalışma merkezî bir kamu kurumunun bilgi ve belge yönetimi biriminde, bilgi işlem birimi desteğiyle gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sistematik olarak yürütülebilmesi ve genellenebilirlik özelliğinin sağlanması için insan performans teknolojisi (İPT) yaklaşımı kullanılmıştır. İnsan performans teknolojisi (İPT), örgüt içinde performans sorunlarının ele alınmasına ve nedenlerinin belirlenmesine yönelik iyileştirme sürecini sistematik bir süreçle ele alan, uygulayıcı ve profesyonellerin deneyimleri ve yansımaları sonucu geliştirilen bir uygulama alanı olarak ortaya çıkmıştır (Stolovitch ve Keeps, 1992: 3). Kamu kurumları arasındaki resmi yazışmaların elektronik ortamda yürütülmesi ile fiziksel ortamında sürdürülmesi arasındaki performans farkının analiz edilmesi için İPT uygun bir yöntem seti sunmaktadır. Fiziki ortamda gönderilen elektronik belgelerin, elektronik ortamda gönderilen belgelerden daha verimsiz olduğu bilinmektedir. Uygulamada bu durum bilinmekle birlikte, verimsizliğin daha somut bir şekilde ortaya konmasında fayda olacağı düşünülmektedir. Zira kamu sektöründe karar süreçlerinde verimlilik önemli bir parametredir. Verimlilik analizi yapılabilmesi ise karara konu hususun fayda ve maliyetinin ortaya konmasına bağlıdır. Çalışma ile, fiziki ortamda gönderilen resmî belgelerin kamuya maliyeti somut olarak ortaya konmaktadır. Bu suretle literatüre katkı sağlanmaktadır.

Bu kapsamda, ikinci bölümde konuya ilişkin literatür incelemesi yapılmakta, üçüncü bölümde insan performans teknolojisine ilişkin bilgi verilmekte, dördüncü bölümde İPT modelinin incelenen duruma uyarlanması yapılmakta ve beşinci bölümde uygulama sonucunda elde edilen bulgulara yer verilmektedir. Altıncı ve yedinci bölümlerde sırasıyla araştırmanın kısıtları ile sonuç ve öneriler yer almaktadır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

EBYS; “Kurumların gündelik işlerini yerine getirirken oluşturdukları her türlü dokümantasyonun içerisinde kurum aktivitelerinin delili olabilecek belgelerin ayıklanarak bunların içerik, format ve ilişkisel özelliklerini korumak ve bu belgeleri üretimden nihai tasfiyeye kadar olan süreç içerisinde yönetmek amacıyla kullanılan sistem” olarak tanımlanmaktadır (Aşık ve Civelek, 2011: 3). Bununla birlikte, e-Dönüşüm Türkiye Projesi 2005 yılı Eylem Planınının 37 numaralı “Kamuda Elektronik Kayıt Yönetimi” eylemi ile EBYS'lere yönelik bir standart oluşturulması çalışmalarına başlanmıştır (Resmi Gazete, 2005). Bu kapsamda ISO 15489 örnek alınarak TS 13298 numaralı Elektronik Belge Yönetimi Standardı oluşturulmuştur. Bu standart 2008/16 sayılı (mülga) Başbakanlık Genelgesi ile kamu kurumlarında kullanılan EBYS'ler için zorunlu hale getirilmiştir. Aynı zamanda kurumlarda EBYS'nin kullanımının yaygınlaştırılması için Devlet Arşivleri Genel Müdürlüğü önderliğinde çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların da etkisiyle ülkemizde EBYS kullanımı zaman içinde yaygın bir hale gelmiştir.

Kamu kurumlarında EBYS'lerin varlığı büyük oranda kurum içi yazışma süreçlerinin elektronik ortamda yürütülmesini kapsamaktadır. Ancak resmi yazışma süreçlerinde asıl zaman kaybı belgenin kurumlar arası taşınması esnasında yaşanmaktadır. Alıcı ve gönderici kurumların her ikisinin de EBYS'ye sahip oldukları, ancak aralarında bir entegrasyonun söz konusu olmadığı bir senaryoda, gönderici kurumun evrak birimi elektronik ortamdaki belgeyi fiziksel ortama aktarmakta, posta ya da kurye ile belgeyi göndermekte, alıcı kurum ise fiziksel ortamda kendisine ulaşan belgeyi taratmak ve belgeye ilişkin öznitelik verilerini EBYS'ye girmek suretiyle yeniden elektronik ortama aktarmaktadır. Bu süreç, vakit maliyetinin yanı sıra veri girişi esnasında insan hatasına açık olması, alıcı kurumda taratılan belgenin içeriğinin OCR gibi yöntemlerle dahi tam olarak dijitalleştirilememesi, eksik kontrollerden kaynaklı güvenilirlik eksikliği gibi sorunları da beraberinde getirmektedir. Resmi yazışma süreçlerindeki bu tür aksaklıkların bütün kamu kurumları için tek seferde çözüme kavuşturulmasını amaçlayan e-Yazışma Projesine ilişkin çalışmalara Mülga Kalkınma Bakanlığı tarafından 2010 yılında başlanmıştır. e-Yazışma Projesi kapsamında resmi belgelerin içeriği ve üst verisi ile gönderim usullerini, belirlenmiş ortak bir standart dahilinde tanımlayan e-Yazışma Teknik Rehberi oluşturulmuştur.

e-Yazışma Projesi kapsamında geliştirilmiş olan teknik çözüm, 6321 sayılı Resmi Yazışmalarda Uygulanacak Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik'in 2014 yılında güncellenen sürümünde yer almış ve EBYS kullanan kamu idareleri için e-Yazışma Teknik Rehberine uyum zorunlu hale getirilmiştir. Söz konusu yönetmelik, idarelere EBYS kurma zorunluluğu getirmemekte, hali hazırda EBYS kullanmakta olan kurumlara ilişkin yaptırımlar içermektedir. Öte yandan, yönetmelik kapsamında bütün idareler, kendilerine e-Yazışma Teknik Rehberine uyumlu olarak gönderilen resmi yazıları kabul etmekle yükümlü tutulmuştur (Resmi Gazete, 2015).

Kurum ve kuruluşlar arasında gönderilen ve alınan yazıların belirli periyotlarla elektronik ortamda karşılıklı olarak teyit edilmesi ve bunun elektronik imza ve zaman damgası gibi hukuki geçerliliğe sahip araçlarla kayıt altına alınması için Kayıtlı Elektronik Posta'nın (KEP) kullanılması tercih edilmiş ve bu yönde bir (mülga) Başbakanlık Genelgesi yayımlanmıştır (Resmî Gazete, 2017). KEP ile elektronik ortamda gönderilen e-postaların fiziksel ortamda gönderilen taahhütlü postalara eşdeğer nitelik kazanması sağlanmıştır. KEP hizmet sağlayıcılarının üçüncü güvenli taraf olarak faaliyet gösterdiği bir teknik altyapıya sahip olan KEP ile hizmet sağlayıcıların kendilerine ulaşan e-postalara ilişkin hukuki geçerliliği olan elektronik kanıtlar oluşturarak saklaması mümkün hale gelmektedir (Ruggieri, 2009). Halen yürürlükte olan mevzuata göre, kamu kurumları kendi aralarında mutabakat sağlamak kaydıyla alternatif bir aktarım ortamı kullanma imkânına sahiptir. Ancak kurumlar arası resmî belge paylaşımında varsayılan aktarım ortamı KEP olarak belirlenmiştir.

Mevcut durumda: (1) Düzenlemelerin EBYS kurma zorunluluğu getirmemesi nedeniyle tamamen veya kısmi olarak fiziksel ortamda yürütülen belge süreçleri, (2) Fiziksel yolla gelen belgenin ilgili öznitelik verileriyle birlikte paket formatına çevrilmesi ve paket formatında alınan belgenin öznitelik verilerinin ayrıştırılarak sisteme dâhil edilmesi sürecindeki insan faktörü, (3) Oluşturulan paketin iletim yöntemine ilişkin yaklaşımın gündeme gelebilecek yeni aktarım mekanizmalarına esneklik sağlamak amacıyla belirlenmemiş oluşu ve (4) Kamu kurumlarının sıklıkla yazışma yaptığı sivil toplum ve özel sektör kuruluşlarının henüz kapsamda olmaması gibi birçok iyileştirmeye açık alan bulunmaktadır.

Yeter ve Temiz (2021), bir üniversitede yaptıkları çalışmada, EBYS kullanımının kâğıt israfını azalttığı ve resmi yazışma süreçlerini kolaylaştırdığı ve dolayısıyla verimliliği artırdığını gösteren çalışma yapmışlardır. Ancak çalışma kapsamında ele alınan verim artışı somut rakamsal verilere indirgenerek sunulmamıştır. Özdemirci ve Odabaş (2005:2), resmi yazışmalara yönelik tüm süreçlerin basit ve standart olması ile hataların önlenerek üretimin hızlandırılması gerektiğini ifade etmektedir. Ayrıca iletişim maliyetlerinin azaltılmasını, yazışma yönetiminde aslî bir unsur olarak görür. Kayalı ve diğerleri (2021),

çalışmalarında kurumlar arası belge paylaşımının önemini ortaya koyarak bunu kamu hizmetlerinde düzenlilik ilkesi ve idari işleyişte verimlilik anlayışı ile bağdaştırmaktadır.

Bahsi geçen bu çalışmalar, kurumlar arası yazışmaların elektronik ortamda yapılmasının faydasını farklı yönlerden ele almaları nedeniyle çalışma bulgularıyla örtüşmektedir. Ancak maliyet analizi ve analize hangi unsurların dahil edileceğine ilişkin yaklaşım bu çalışmanın literatüre ilave katkısıdır. Benzer nitelikte başka bir çalışmaya rastlanmamıştır.

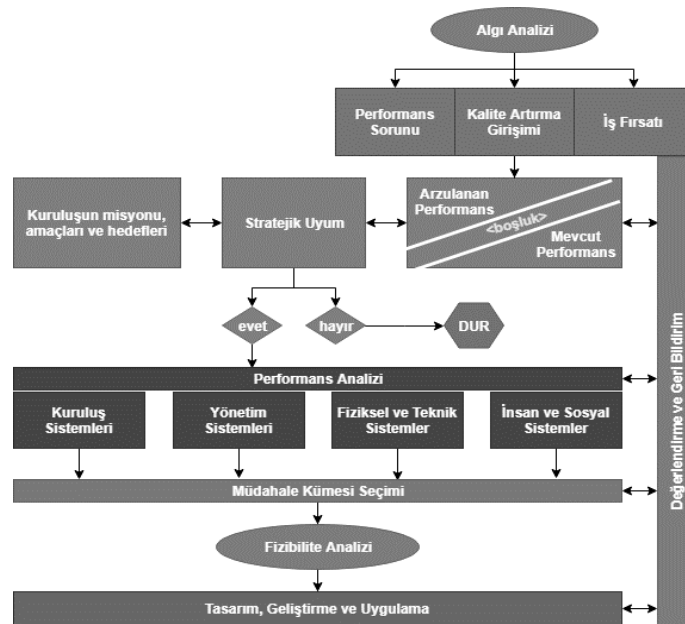
3. İNSAN PERFORMANS TEKNOLOJİSİ

İPT, büyük oranda tecrübe, derinlemesine düşünme ve profesyonel pratiklerin kavramsallaştırılması esasına dayanan ve iş ortamındaki insan performansının artırılmasını amaçlayan bir çalışma alanıdır. İPT alanının öncüsü kabul edilen Thomas Gilbert İPT'yi ilk olarak "insan yeterliği, başarı değerinin davranış maliyetine oranının bir fonksiyonu olan performans değerinin bir fonksiyonudur" biçiminde formüle etmiştir (Duan, 2008). Geçtiğimiz yarı yüzyılda, değişen ihtiyaçlarla beraber İPT tanımında da değişiklikler söz konusu olmuştur (Pershing, 2006: 8). İPT tanımı zaman içinde insanı ön plana çıkaracak; kalite iyileştirme, süreç iyileştirme, öğretim teknolojileri, organizasyon geliştirme gibi araştırması konularını da inceleyecek şekilde yeni bakış açıları kazanmıştır. İPT alanını ilerletmek, uygulamasını savunmak ve uygulayıcılarının becerilerini ve mesleki konularını geliştirmek amacıyla kurulan Uluslararası Performans Geliştirme Birliği (ISPI) (2023) bu değişimleri de göz önüne alarak İPT'yi şöyle tanımlamaktadır:

İnsan Performansı Teknolojisi, insan davranışını ve başarısını en uygun maliyetle etkilemek için programların seçimi, analizi, tasarımı, geliştirilmesi, uygulanması ve değerlendirilmesi sürecidir. Performans analizi, neden analizi ve müdahale seçimi olmak üzere üç temel sürecin sistematik bir birleşimidir ve bireylere, küçük gruplara ve büyük kuruluşlara uygulanabilir.

Van Tiem ve diğerleri (2007: 2) İPT'yi hedeflere ulaşmaktan sorumlu olan işgücü ile iş amaç ve stratejilerini birbirine bağlayan sistematik bir süreç olarak tanımlamaktadır. Rothwell ve diğerleri (2007: 13), İPT'yi örgütsel düzeydeki insanlar tarafından erişilen mevcut ve gelecekteki çalışma sonuçlarını sistematik ve bütünsel biçimde artırmaya odaklanmış bir alan olarak tanımlamıştır. Pershing (2006: 6) ise İPT'yi sonuç odaklı, kapsamlı ve sistematik etkili müdahaleler tasarlayarak ve geliştirerek organizasyonlarda üretkenliği artırmanın çalışma ve etik uygulaması olarak tanımlar.

İhtiyaçların farklılaşması sebebiyle günümüze kadar çok sayıda farklı model ortaya konmuş olup bu alanda uzun süre çalışma yürütmüş akademisyenler de zaman içinde kendilerine özgü modeller geliştirmektedir (Pershing, 2006: 14). Bu modellerden bazıları: Mager'in performans analizi akış şeması (Mager ve Pipe, 1970), Rummler'in dokuz performans değişkeni (Rummler ve Brache, 2013), Wile'in (1996) sentezlenmiş İPT modeli, Whiteside'in (1998) çalışma dili modeli, ISPI geleneksel İPT süreci (ISPI, 2023), Atkinson ve Chalmers'in (1999) insan performans modeli ve Martin'in (2008) süreç performans modelidir. Aynı zamanda Pershing (2006) tarafından geliştirilmiş bir performans modeli de bulunmaktadır. Bu model Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Pershing performans iyileştirme modeli (Pershing, 2006: 15)

Pershing performans iyileştirme modeline göre sürekli döngü halinde bulunan dört ana süreç bulunmaktadır. Birinci ana süreç "ihtiyaç veya fırsatların performans analizi" olup örgütsel analiz, çevre analizi ve sebep analizlerini içermektedir. Örgütsel analizde, arzu edilen performans tespit edilir. Daha sonra çevre analiziyle mevcut performans bilgisine ulaşılır. Mevcut ile beklenen performans arasındaki fark boşluk analizi ile tespit edilir. Boşluk analizinin çıktıları kullanılarak sebep analizi süreci yürütülür. İkinci ana süreç "müdahale seçimi, tasarımı ve gelişimi" olup sebep analizinin çıktılarına göre seçilecek iyileştirme eylemlerini içermektedir. Üçüncü ana süreç "müdahale uygulama ve sürdürme" olup bu süreç seçilen düzeltici-iyileştirici müdahalelerin sürdürülebilir biçimde uygulanmasını ifade etmektedir. Dördüncü ve son ara süreç ise "değerlendirme" sürecidir. Bu süreçte önceki aşamalar değerlendirilir, performanstaki değişiklikler izlenir (Pershing, 2006: 15-26).

Özetle, İPT, organizasyonda arzu edilen durumu tespit etmekte, daha sonra mevcut durumu her boyuttan analiz ederek gerçek performans ortaya koymakta, daha sonra da bu ikisi arasındaki farkları belirlemektedir. Mevcutla istenen durum arasındaki farkların kök sebepleri analiz edilerek sorunlara müdahale yolları belirlenmekte, sürekli olarak performansın izlenmesiyle bu müdahalelerin başarımı ölçülmektedir.

4. YÖNTEM

Pershing performans iyileştirme modelinin araştırmaya dayalı uygulamaya uygun oluşu nedeniyle bu çalışmada ilgili model rehber olarak kullanılmıştır. İPT modelinin uygulanmasında Şekil 1'de gösterilen adımlar sırasıyla takip edilmektedir. Bu kapsamda, Algı Analizi ile başlayan süreç Tasarım, Geliştirme ve Uygulama ile sonlanmakta, ayrıca sürecin farklı adımlarında değerlendirme ve geri bildirim süreci tetiklenmektedir. Ancak, ele alınan analizde uygulama aşamasına geçilmeyeceğinden, son adım olan Tasarım, Geliştirme ve Uygulama adımı kapsam dışı bırakılmıştır. Ayrıca, değerlendirme ve geri bildirim aşaması da sürecin bütününe ilgilendiren bir aşama olduğundan bu aşamaya ilişkin bir analiz de yapılmamıştır.

İPT uygulaması merkezi bir kamu kurumunun evrak süreçlerinden sorumlu biriminde gerçekleştirilmiştir. Kurum taşra teşkilatına sahip olmayıp büyüklük olarak 400 - 700 arasında personele sahiptir.

4.1. Algı Analizi

Algı analizi, hangi performans sorunlarına odaklanılması gerektiğinin anlaşılmasını sağlamaktadır. Bu hususta netlik sağlanabilmesi amacıyla "kim", "nasıl" ve "niçin" soruları sorulmaktadır (Pershing, 2006: 15). EBYS'ler birer bilgi sistemi olmaları yönüyle bilgi işlem birimlerinin, resmi yazışma süreçlerinde kullanılmaları yönüyle ise evrak birimlerinin faaliyet alanına girmektedir. Bu nedenle, çalışmanın odağında evrak birimleri olmakla birlikte, konu bütünlüğü açısından bilgi işlem birimleri de analize dâhil edilmiştir. Bu kapsamda ilgili kurumun evrak birimi ve bilgi işlem birimi ile yapılandırılmamış görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Bu görüşmelerin sonucunda halihazırda performans iyileştirmesi potansiyeli olan hususların mevcut olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada fiziksel ortamda yürütülen resmi yazışma süreçlerinden kaynaklanan performans kaybı maliyet açısından değerlendirmeye tabi tutulmakta, ayrıca resmi yazışma sürecinin iyileştirilmesi için öneriler sunulmaktadır. Resmi yazışma süreçleri evrak birimlerinin görev tanımları arasında önemli bir yer işgal etmekle birlikte, bu birimlerin bilgi erişimine odaklı ilave görevleri de bulunmaktadır. Ancak çalışma kapsamında evrak birimlerinin bütün süreçlerine yönelik performans sorunları ele alınmamakta olup yalnızca resmi yazışma süreçlerine odaklanılmaktadır.

4.2. Stratejik Uyum

Algılanan bir ihtiyacın yani var olan boşlukların kapatılmasının öneminin değerlendirilebilmesi için, bu ihtiyacın organizasyonun amaçlarını ve hedeflerini yerine getirmeye yardımcı rolünün anlaşılması gereklidir. Bu anlayışın kazanılması stratejik uyum olarak adlandırılır (İrkey, 2021: 62).

Günümüzde kuruluşların çevik yönetim yaklaşımlarını benimsemesiyle birlikte devletler de süreçlerini hızlı ve etkin hale getirerek yeni duruma adapte olma gayretini içerisine girmiştir (Balter, 2011; Parcell ve Holden, 2013). Kamu kurum ve kuruluşlarının rasyonel ve etkin çalışması ile kamu hizmetlerinin maliyet, zaman ve işgücü tasarrufu sağlaması, ülkelerin ve vatandaşların e-devlet uygulamalarından temel beklentileri arasında yer almaktadır (Ülker, 2002). Resmi yazışma süreçlerinin dönüşümünün, e-devlet ile hedeflenen bilgi toplumuna dönüşümde temel unsurlardan birisi olduğu düşünülmektedir. Gerek 2005 Eylem Planı, gerekse 2010-2016 Bilgi Toplumu Stratejisi ve Eylem Planında ortak hizmetlere vurgu yapılmakta ve EBYS bu hizmetler arasında sayılmaktadır (Resmî Gazete, 2005; Kalkınma Bakanlığı, 2005). Ayrıca Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından hayata geçirilen Sıfır Atık Projesi kapsamında diğer atıklarla birlikte kâğıt atıklara yönelik de yaptırım ve yönlendirmeler söz konusudur

(Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2023). Gerek ulusal düzeyde gerekse uluslararası düzeyde çevresel olumsuz etkilerle mücadeleye yönelik çok sayıda mevzuat ve politika mevcuttur. Bu kapsamda çalışmanın yapıldığı kurumdaki EBYS süreçlerinin iyileştirilmesi doğrudan ve dolaylı olarak birçok kamusal düzenleme ile uyumlu olacaktır.

4.3. Performans Analizi

Performans analizi kuruluş sistemleri, yönetim sistemleri, fiziksel ve teknik sistemler ile insan ve sosyal sistemler olmak üzere dört kategoride incelenmektedir. Performans değerlendirmelerinde vakit kazanımları da performans artışının bir türü olarak değerlendirilmektedir (Pershing, 2006: 13).

Organizasyonel Sistemler: Personelin veriye nasıl eriştiği, operasyon yöntemleri ve yönetsel kararlar bu kategoride ele alınmaktadır. Başka bir deyişle, bu kategoride performansın organizasyonel boyutunun operasyonel seviyesi ele alınmaktadır (Gilley, J.W., Shelton ve Giley, A, 2011: 387). Kamu evrak birimleri genellikle destek hizmetleri biriminin bir parçası olarak faaliyet göstermektedir. Resmî belgelerin EBYS ile de yakından ilişkili olması sebebiyle evrak birimleri bilgi işlem birimleriyle sürekli etkileşim halindedir. Bu iki birimin kurum hiyerarşisindeki konumu kurumdan kuruma değişiklik gösterebilmektedir. Çalışma kapsamında incelenen kurumda her iki birim aynı Genel Müdürlüğe doğrudan bağlı birimlerdir. Bu çerçevede, etkin bir organizasyonel yapının mevcut olduğu söylenebilir.

Yönetim Sistemleri: Performans analizinin bu boyutu kurumun üst yönetimine ilişkin olan boyuttur. Yöneticilerin yetkinliği, personel yönetiminde izlenen yaklaşım ve beceriler bu kısımda değerlendirilmektedir. Çalışma kapsamında incelenen kurumda üst yönetimin yapıcı eleştiri ve önerilere açık oldukları ve personelin desteklediği bir kurum kültürünün mevcut olduğu gözlenmiştir. Performans analizi sürecinde alınan geri bildirim ve izlenimler bu tür bir kurum kültürünün varlığına yönelik kuvvetli işaretler olarak düşünülmektedir. Bu nedenle bu boyutta bir performans sıkıntısı gözlenmemektedir.

Fiziksel ve Teknik Sistemler: Bu boyutta personelin faydalandığı araç, gereç ve ortam gibi çevresel etkenler söz konusudur. Bu boyut kapsamında ortamın yeterli büyüklükte olması, ısıtma ve aydınlatmanın yeterliliği, çalışma esnasında araç ve gereçlere erişimin kolaylığı gibi hususlar incelenmektedir (Rothwell, 1996). Ayrıca kullanılan teknik sistemler de bu kategoride incelenmektedir. Araştırmaya konu olan birimlerin çalışma ortamı yakın geçmişte iyileştirilmiş, personel odalarının tefrişatı yenilenmiştir. Ayrıca evrak biriminin kargo ve kurye birimiyle aynı katta olması olası performans sorunlarını önleyecek bir ortam sunmaktadır. Bu nedenlerden dolayı bu boyutta bir performans sorunu gözlenmemiştir.

İnsan ve Sosyal Sistemler: Bu boyutta personel nitelikleri ile ödül ve ceza mekanizmasının mevcut olup olmadığı, düzenli eğitim programlarının uygulanıp uygulanmadığı gibi hususlar ele alınmaktadır (Pershing, 2006: 20). İncelenen birim kamu kurumu bünyesinde olması nedeniyle hususi ödül ve ceza mekanizmalarına sahip olması mümkün değildir. Bilişim okuryazarlığının düşük seviyede olduğu, personel bilgilerinin incelenmesi sonucu anlaşılmıştır. Günümüzde hemfikir olunan bir tespit, çalışan yetkinliğinin gelişimine daha az mesai harcayan kuruluşların olumsuz performans sorunları ile karşı karşıya kalacağını göstermektedir (Shah ve diğerleri, 2001; Wai ve Robinson, 1998). Dijitalleşmenin artarak yaygınlaşmasıyla birlikte personele dijital ortama ilişkin eğitimler verilmesinin gerekli olacağı düşünülmektedir. Kamu genelinde bu alanda sürekli bir eğitim programı mevcut değildir.

4.4 Müdahale Kümesi Seçimi

İPT literatüründe müdahale, performansı artırmak için hayata geçirilen bir dizi faaliyet anlamına gelmektedir. Bu faaliyetler planlı ve hedefli olup hem organizasyonun bütününe hem de bireylere yöneliktir (Pershing, 2006: 12). Müdahale tasarımı prensiplerine göre performansı artıracak çok çeşitli müdahale türleri bulunmaktadır (Burke, 1982: 220-221; Deterline ve Rosenberg, 1992). Performans iyileştirme ve teknoloji kullanımı dengesi gözetilerek bütüncül bir surette müdahalelerde bulunulduğunda, müdahalelerin etkisinin daha uzun süreli olduğu tespit edilmiştir (Rosenberg, 1996: 97). Bu ise kurumu bir bütün olarak değerlendirerek iyileştirme kümesinin kuruma entegre edilmesiyle mümkün olacaktır (Irlbeck, 2002). Çalışma kapsamında ele alınan birimde EBYS kuruludur. Bu nedenle, EBYS kullanılmamasından kaynaklı bir performans eksikliği söz konusu değildir. Muhatap kurum ve kuruluşlardan EBYS'ye sahip olmayanlar incelenen birimin ve bu birimin bağlı olduğu kurumun performansını olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle, çalışma kapsamında muhatap kuruluşların EBYS kullanımına yönlendirilmesi hedefi çerçevesinde, fiziki ortamda gönderilen ve alınan resmi yazıların maliyeti somut olarak ölçülmeye çalışılmıştır. Ayrıca muhatap kuruluşların EBYS kullanımına daha hızlı adapte olmalarını sağlayacak bazı önerilerde bulunmaktadır.

4.5. Fizibilite Analizi

Ele alınan konu bir yönüyle kurumun iç performansını ilgilendirirken diğer yönüyle kamunun bu alandaki genel performansını ilgilendirmektedir. Kurumun iç performansını ilgilendiren personel eğitimi,

farkındalık, bilgi sistemlerine karşı olan güvenin artırılması gibi hususlar hayata geçirilebilir hususlar olarak görülmektedir. Bu hususların seçilme gerekçelerine ilerleyen bölümde değinilmektedir.

5. BULGULAR

5.1. Mevcut Durum Değerlendirmesi

Performans analizinde mevcut durum, kurum içi ve paydaş analizi olmak üzere iki ayrı başlık altında incelenmektedir. Paydaşların da mevcut durum analizine dâhil edilmesinin sebebi, paydaş kamu kurumlarının performansının kurum performansını etkilemesidir. Performans analizine konu hususlar hesaplama kolaylığı ve bütünlük açısından mümkün olduğu ölçüde maliyet olarak ifade edilmiştir.

5.1.1. Kurum İçi Analiz

Çalışma kapsamında merkezi bir kamu kurumunun evrak birimi incelemeye alınmıştır. Belgeler gelen resmi yazı ve giden resmi yazı olmak üzere iki ayrı kategoride incelenmektedir. Performansı etkileyen unsur fiziksel ortamda gönderilen ve alınan resmi yazılar olduğundan, yıl boyunca fiziksel ortamda gönderilen ve alınan resmi yazı sayılarının bilinmesi gerekmektedir. Bu sayıların elde edilebilmesi için son sekiz yılın gelen ve giden resmi yazı sayıları EBYS üzerinden alınmış olup fiziksel ortamda alınan ve gönderilen yazıların sayısı için son yılın kayıtları gösterge olması açısından incelenmiştir. Bu çerçevede, kurumun evrak biriminden elde edilmiş olan son sekiz yıla ait gönderilen ve alınan resmi yazı sayıları Tablo 1'de yer almaktadır. Evrak birimi yetkililerinden alınan bilgiye göre, 2021 yılında 383 belge kurye ile gönderilmiş olup bunların 111 adeti şahsa gönderimdir. Çalışma kamu kurum ve kuruluşları arasındaki yazışmalara odaklandığından, şahsa gönderimler kapsam dışı bırakılmıştır. Muhatap kuruluşlara yönelik kurye gönderimleri sayısı 272'dir (%4,7). Posta ile gönderimler ise iadeli taahhütlü 367 ve normal 28 olmak üzere toplam 395 adettir (%6,7). Toplam fiziki gönderim sayısı (kurye + posta), şahsa gönderim hariç tutulduğunda 667 adettir. Oran olarak %11,4'lük bu oran fiziki ortamda gönderilen yazıların oranı olarak alınmıştır. Daha önceki yılların fiziki belge kayıtlarının incelenmesi bu rakamlarda iyileştirmeye imkân verecek olmakla birlikte üstlenilen çabanın fayda-maliyetini karşılamayacaktır. Bütüncül bir analiz için fiziki ortamda gelen resmi yazıların oranının da bilinmesi gerekmektedir. Bu orana resmi kayıtlardan ulaşılamamıştır. Fiziki ortamda resmi yazı iletiminin gönderim için geçerli olduğu kurumlarda alım için de geçerli olduğu tahmin edilmektedir. Muhatap kuruluşta kurulu EBYS olmaması fiziki ortamda gönderimi zorunlu kıldığı kadar, ilgili muhatap kuruluştan alınan belgelerin de fiziki ortamda olmasını zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle, fiziki ortamdaki resmi yazılarda hem alım hem de gönderim için %11,4'lük oran esas alınacaktır.

Kurum yetkililerinden edinilen bilgiye göre giden evrak sayıları ile gelen evrak sayıları arasındaki belirgin farkın sebebi yazıların genellikle dağıtımlı yazılması ve çoğu zaman dağıtımlı olarak gönderilen bir yazıya karşılık muhatap kuruluşlardan onlar ve bazen yüzler mertebesinde cevabi yazı alınmasıdır. Analiz kolaylığı açısından gelen ve giden resmi yazı sayıları, Tablo 1'de yer alan son sekiz yıla ait rakamların ortalaması alınmak suretiyle belirlenmiştir. Fiziksel ortamda gönderilen yazıların oranı toplam içerisinde düşük olmakla birlikte yüksek hacimli resmi yazışma yapan kurumlarda bu sayının yüksek meblağlara karşılık geleceği düşünülmektedir. Evrak biriminde 7 kişi çalışmakta olup 3 kişi gelen evraklarla, 2 kişi giden evraklarla, 2 kişi ise dağıtımla ilgilenmektedir. Gelen ve giden evraklardan sorumlu personel yoğunluk durumuna göre birbirinin yerine çalışabilmektedir.

Tablo 1. Gelen ve giden resmi yazı sayıları (2014-2021)

Yıl	Alınan Yazı Sayısı	Gönderilen Yazı Sayısı
2014	17.594	5.954
2015	16.047	5.326
2016	16.156	5.590
2017	16.371	6.133
2018	15.493	4.466
2019	17.414	5.405
2020	16.242	5.225
2021	17.775	5.939
Ortalama	16.637	5.505

Kurye ve posta gönderim oranları, yıllık ortalama alınan ve gönderilen resmi yazılara uygulanınca fiziki ortamda yıllık ortalama 1.897 resmi yazının alındığı anlaşılmaktadır. Yine aynı oranlar kullanılarak hesaplandığında, yıllık ortalama 259 resmi yazı kurye ile gönderilmekte, 369 resmi yazı ise posta ile gönderilmektedir. Alınan yazılarda da benzer kurye ve posta oranlarının kullanılması hatalı olmayacaktır.

(buna ilişkin gerçek veri temin edilememiştir). Yıllık ortalama 782 resmi yazının kurye ile 1.115 yazının ise posta ile alındığı sonucuna varılabilir.

Kamunun genel bir sorun alanını teşkil eden ve çalışma kapsamında incelenen kurumda da tamamen çözüm bulunamamış olan bir husus yazıyı oluşturan kişinin standart dosya planını hatalı girmesidir. Standart dosya planı, yazının hangi kategoride değerlendirilmesi gerektiğini gösteren ve dolayısıyla yazının arşiv sürecinde önemli bir işlev üstlenen bir sınıflandırma numarasıdır. Bu alanın aldığı değere göre arşivlenip arşivlenmeyeceği, arşivlenecekse bunun kaç yıl olması gerektiği gibi bilgiler netlik kazanmakta ve yazılar kategori bazında istatistiki analizlere tabi tutulabilmektedir. Bu alan yazıyı hazırlayan personel tarafından girilmekte, ancak alanın hatalı girilmesi herhangi bir yaptırımla sonuçlanmamaktadır. Yazının asli bir unsuru olmaması ve kısa vadede yazışma sürecine bir etkisinin olmaması nedeniyle bu alanın hatalı girilmesi önlenememektedir. Kâğıt ortamında gelen bir yazının geçirdiği süreçler Tablo 2'de yer almaktadır.

Tablo 2. Kâğıt ortamında gelen yazıların geçirdiği süreçler

Süreç	Süre
Kurye teslimi	-
Bilgi kontrolü	1 dakika
Zimmet defterinin imzalanması	-
Belge ve eklerinin taranarak sisteme aktarılması	3 dakika
Belgenin fiziki ortama aktarılıp arşivlenmesi	Günlük toplam 20 dakika

Gelen yazıyla ilgili yapılan işlemlerin süresi evrak biriminin geçmiş tecrübelerinden yola çıkarak verdiği bilgilerden oluşmaktadır. Resmi yazı başına ortalama 4 dakika (bilgi kontrolü ve sisteme aktarım) harcadığı anlaşılmaktadır. Gelen evrakların fiziksel ortamda arşivlenmesi tek bir resmi yazı için söz konusu olmayıp gün sonunda tek seferlik bir işlem olarak düşünülmelidir. Arşiv odası ile evrak birimi arasındaki mesafe dikkate alınarak bu işlem için toplamda günlük 20 dakika harcadığı tahmin edilmektedir.

5.1.2. Paydaş Analizi

Bu bölümde kamu genelinde elektronik yazışma performansına ilişkin bilgiler verilmekte ve genel bir analiz yapılmaktadır. Çalışma kapsamı bir kamu kurumuyla sınırlı tutulduğundan bu bölümde sayısal bir analize yer verilmemektedir.

Resmi yazışma süreçleri doğası gereği birden fazla kurumu ilgilendirmekte ve doğal olarak bir kurumun resmi yazışma süreçlerini fiziksel ortamda sürdürmesi sürecin bütünlüğünü bozarak performans kaybına neden olmaktadır. Bu nedenle konuya yönelik geliştirilecek politikalar öncelikle ulusal nitelikte olmalıdır.

Kamu genelinde evrak birimlerinin teknik yeterliliğe sahip birimler olarak görülmediği, evrak sürecinin sıradan faaliyetler kategorisinde değerlendirildiği gözlenmektedir. Bilgi ve iletişim teknolojilerinin yaygınlaşmasıyla birlikte resmi yazışma süreçleri dijital bir hüviyet kazanmıştır. Evrak birimlerinin ilave eğitimlerle desteklenerek bu yeni yaklaşıma aşinalık kazanmaları önem taşımaktadır. Ancak henüz bu yönde bütüncül somut girişimler söz konusu olmamıştır. Öte yandan, incelemesi yapılan kurumda da söz konusu olduğu üzere, evrak birimlerinin isimleri zamanla "bilgi ve belge yönetimi" olarak yeniden şekillenmektedir. Kamu kurumlarındaki bu yönelim, dijitalleşme eğilimini doğrulamaktadır. Bazı kurumların dijital ortamda gönderdikleri resmi yazıların çıktılarını kâğıt ortamında teyit amaçlı göndermekte oldukları öğrenilmiştir. Bu durum kamuda bilgi sistemlerine olan güvenin henüz yeterli seviyede olmadığı anlamına gelebilir.

5.2. Boşluk Analizi

Yukarıda kısmen değinilmiş olan performans sorunları bu bölümde sayısal hale getirilerek somutlaştırılmaktadır. Analize konu olan tüm bileşenlerin objektif bir şekilde tespit edilmesi mümkün olmadığından bazı varsayımlara ihtiyaç duyulmuştur. Bu varsayımlar Tablo 3'te yer almaktadır. Tablo 3'te yer alan sayısal verilerden hareketle, Tablo 4'te yer alan çıkarımlar yapılmıştır. Kâğıt ortamında gönderim ve alımdan kaynaklanan masraflar ise Tablo 5'te özetlenmektedir.

Yukarıdaki hesaplama ve çıkarımlarda resmi yazıları beklemeden kaynaklı mesai masrafı da fırsat maliyeti olarak hesaplama dâhil edilmiştir. Şüphesiz ki bu ideal bir yaklaşım değildir. Resmi yazıya muhatap personel bir resmi yazıyı bekleme süresi zarfında diğer işleriyle alakadar olabilmektedir. Öte yandan, böylesi bir yaklaşımın somut faydaları da söz konusudur. Kamu kurumları arasında yürütülen süreçler genellikle resmi yazışmalar yoluyla olmaktadır. Personel bir yazıyı beklerken diğer işleriyle ilgilenebilmekte ise de, kamunun genelinde bir yıl içerisinde sonuçlandırılabilen toplam işlerin sayısı resmi yazışma süreçlerindeki gecikmelerden doğrudan etkilenmektedir. Ayrıca, çok sayıda kuruma gönderilen

dağıtımli yazılarda, muhataplardan birine bile fiziki ortamda gönderim ihtiyacı olduğunda yazıya alınacak geri dönüşlerin tamamı kümülatif olarak bu durumdan etkilenecektir. Resmi yazıya konu olan hususun ülke açısından önemi ise ekonomik değere döndürülemezle birlikte, ilave bir fırsat maliyeti olarak düşünölmelidir. Ulusal açıdan kritik ve öncelikli konularda yaşanacak bazı gelişmelerin ekonomik değere dönüştürölmesi dahi söz konusu olmayabilir.

Tablo 3. Performans boşluk analizi varsayımları

<i>Varsayım</i>	<i>Açıklama</i>
Kâğıt ve mürekkep masrafı	500 kâğıtlı bir kâğıt blokunun ortalama 63 TL'ye mal olduğü, dolayısıyla kâğıt başına 13 kuruş tuttuğü anlaşılmaktadır. Kurumda kullanılan yazıcılar HP marka olup 1.600 sayfa çıktı alınabilen tonerin fiyatı 120 TL'dir. Dolayısıyla sayfa başına toner maliyeti 8 kuruş yapmaktadır. Sayfa başına kâğıt ve toner maliyeti toplamı ise 21 kuruştur.
Resmi yazı başına ortalama sayfa sayısı	Resmi yazıların bazıları bilgi edinme amaçlı iken bazıları hacimli eklere sahiptir. Son bir yıllık resmi yazıların eklerle birlikte sayfa sayıları incelenmiş olup sayfa ortalaması 18,6 sayfa olduğü anlaşılmıştır.
Evrak birimi personeli saat ücreti	Evrak biriminde çalışan personelin aylık brüt maaşı ünvana göre değişmektedir. Ünvan bazında ortalama brüt maaşlar personel ödemeleri biriminden öğrenilmiş olup aylık 10.705 TL'dir. Günlük mesai 8 saat ve aylık çalışılan gün sayısı 22 gün olarak düşünöldüğünde personelin saat ücreti yaklaşık 61 TL'dir.
Resmi yazı muhatapı personel saat ücreti	Resmi yazılara muhatap olan personel daire başkanı, uzman, uzman yardımcısı ve memur statüsünde çalışabilmektedir. Ancak kurum dışı yazışmalar daha ziyade daire başkanı, uzman ve uzman yardımcısı personel muhatap alınmaktadır. Her bir personelin maaşında belirli kriterlere göre değişiklik olabilmektedir. Personel ödemeleri biriminden örneklem yoluyla ortalama brüt maaşlar öğrenilmiş, her bir ünvana ait personel sayıları ile bu ortalama brüt maaşların ağırlıklı ortalaması alınmıştır. 2022 yılı Ocak ayında ortalama brüt maaş 20.793 TL olmaktadır. Bu brüt maaşın saatlik karşılığı ise 118 TL'dir.
Kurye gönderimlerinde resmi yazı başına masraf	Bilgi ve belge yönetiminden sorumlu birimin son yıla ait kurye gönderim kayıtları analiz edilmiş, çevrimiçi harita uygulaması ile her bir kaydın trafik uzaklığı tespit edilmiştir. Ortalama uzaklık 5,4 km olarak bulunmuştur. Gidiş-geliş ortalama km 10,8 olarak dikkate alınacaktır. Kurumda kullanılan araç türü resmi kayıtlara göre 100 km'de 6,3 litre yakmaktadır. Litre başına 15 TL benzin fiyatıyla, kurye masrafı resmi yazı başına 10,2 TL'dir.
Resmi yazı başına kargo masrafı	Ortalama kargo ücretinin tespiti için 2021 yılına ait kargo kayıtları analiz edilmiştir. Kargo ücretinin ortalama 15 TL olduğü anlaşılmıştır.
Kurye teslim süresi	Kuryeler genellikle günde bir kez, acil durumlarda ilave olarak dağıtıma çıkmaktadır. Acil olmadığı düşünölen yazılar 1-2 işgünü bekletilebilmektedir. Kurye teslim süresinin ortalama 5 saat olduğü varsayılmaktadır.
Kargo teslim süresi	Anlaşmalı posta firmasının 2021 yılı kayıtları incelenmiş olup kargo takip numarasından yola çıkılarak posta gönderimine ilişkin zaman kayıtlarına ulaşılabilmiştir. Postaya teslim süresi ortalaması 18,8 saat olarak ortaya çıkmıştır.

Tablo 4. Varsayımlardan yola çıkılarak ortaya konan çıkarımlar

<i>Çıkarım</i>	<i>Açıklama</i>
Resmi yazı başına ortalama çıktı maliyeti	Sayfa başına kâğıt ve toner maliyeti 21 kuruş olarak hesaplanmıştır. Resmi yazıların ortalama 18,6 sayfa olduğundan hareketle, resmi yazı başına çıktı maliyeti 3,9 TL'dir.
Resmi yazı başına posta ile gönderimin toplam maliyeti	Resmi yazı başına çıktı maliyeti olan 3,9 TL ile kargo masrafı olan 15 TL toplandığında, 18,9 TL yapmaktadır. Kargo teslim süresi ortalaması 18,8 saattir. Resmi yazı muhatabı personelin görevine bu kadar süreyle geç başlamasının fırsat maliyeti ise saatlik brüt maaş ücreti olan 118 TL ile çarpılarak elde edilebilir. Personel mesaisinin fırsat maliyeti karşılığı resmi yazı başına 2.218 TL'dir.
Resmi yazı başına kurye ile gönderimin toplam maliyeti	Resmi yazı başına çıktı maliyeti olan 3,9 TL ile kurye gönderim bedeli olan 10,2 TL toplandığında, 14,1 TL yapmaktadır. Resmi yazı muhatabı personelin görevine ortalama kurye gönderim süresi olan 5 saat geç başlamasının fırsat maliyeti, saatlik brüt maaş ücreti olan 118 TL ile çarpılarak elde edilebilir. Personel mesaisinin fırsat maliyeti karşılığı resmi yazı başına 590 TL'dir.
Evrak birimi çalışanlarının resmi yazı başına mesai ücreti karşılığı	Evrak birimi çalışanları fiziksel ortamdaki resmi yazılar için ilave vakit harcamaktadır. Tablo 2'deki veriler evrak birimi personelinin saatlik brüt ücretiyle birlikte kullanıldığında, resmi yazı başına 4 dakikalık uğraşın maddi karşılığı 4 TL'dir. Ayrıca günlük 20 TL evrakların arşive kaldırılması için harcanan mesai saati karşılığıdır.
Fiziki ortamda gönderimlerin yıllık toplam maliyeti	Kurye ile gönderilen 259 resmi yazının toplam maliyeti (259 x 14,1 TL) = 3.652 TL'dir. Posta ile gönderilen 369 resmi yazının toplam maliyeti (369 x 18,9 TL) = 6.974 TL'dir. Her iki maliyet toplamı yıllık 10.626 TL'dir. Ancak asıl maliyet personel saat ücretlerinden kaynaklı fırsat maliyetindedir. Kurye gönderimlerinin fırsat maliyeti toplamı 259 resmi yazı için (259 x 590 TL) = 152.810 TL'dir. Posta gönderimlerinin fırsat maliyeti toplamı 369 resmi yazı için (369 x 2.218 TL) = 818.442 TL'dir. Kurye ve posta gönderimleri toplamının fırsat maliyeti toplamı ise 971.252 TL'dir.
Fiziki ortamda kabullerin yıllık toplam maliyeti	Fiziki ortamda alınan belgelerin işlenip sisteme kaydedilmeleri için belge başına 4 TL'lik mesai ücreti söz konusuydu. Bu tutar fiziki ortamda gelen ortalama 1.897 resmi yazıyla çarpıldığında 7.588 TL yapmaktadır. Günlük 20 TL'lik arşivleme süresi mesai karşılığı ise yıllık 260 iş günü için 5.200 TL yapmaktadır. Toplam maliyet yıllık 12.788 TL'dir. Fiziksel ortamda alınan resmi yazıların da aynı şekilde fırsat maliyeti söz konusudur. Kurye ile alınan 782 resmi yazının fırsat maliyeti, (782 x 590 TL) = 461.380 TL'dir. Posta ile alınan 1.115 resmi yazının fırsat maliyeti ise (1.115 x 2.218 TL) = 2.473.070 TL'dir. Toplam fırsat maliyeti ise 2.934.450 TL yapmaktadır.

Tablo 5. Kâğıt ortamında gönderim ve alımdan kaynaklı masraflar

<i>Masraf Kaynağı</i>	<i>Yıllık Tutar</i>
Fiziki ortamda gönderim maliyeti	10.626 TL
Fiziki ortamda gönderim fırsat maliyeti	971.252 TL
Fiziki ortamda kabul maliyeti	12.788 TL
Fiziki ortamda kabul fırsat maliyeti	2.934.450 TL
Toplam	3.929.116 TL

5.3. Kök Neden Analizi

Elektronik ortamda yazışma süreçlerine adaptasyonun uzun bir süreç gerektirdiği anlaşılmaktadır. İncelenen evrak biriminde bilişim okuryazarlığının düşük seviyede olması da bunda etkili olmuştur. Bilindiği kadarıyla kamu kurumlarının evrak birimlerinde genel olarak bilişim okuryazarlığı konusunda ilave desteğe ihtiyaç duyulmaktadır.

İncelenen birimde, dijital ortama geçiş yapıldıktan sonra da uzun bir süre kâğıt ortamındaki süreçlerin de sürdürüldüğü bilinmektedir. Geline aşamada tümüyle dijital ortama adaptasyon sağlanmış olsa da geçmiş dönemde fiziki ortama aktarım maliyetleri daha yüksek seviyede gerçekleşmiştir. Bunun iki temel sebebi olduğu düşünülmektedir. Birincisi, bilişim sistemlerine olan güvenin yeterli seviyede olmamasıdır. İkincisi ise bilgi sistemlerinde geçmişte karşılaşılan hatalar nedeniyle yöneticilerin riske girmek yerine daha ihtiyatlı davranmayı tercih etmeleridir.

Analiz sonucunda asıl maliyet kalemlerinin doğrudan veya dolaylı personel maaşlarından kaynaklı maliyet kalemleri olduğu anlaşılmaktadır. Kamuda personel maaşlarının kurum sorumluluğunda olmaması ve merkezi olarak verilmesi, bu maaşların masraf olarak görülmesini engelleyen hususlar arasındadır. Personel ödemelerinin kuruluş bütçesinin asli bir unsuru olmaması, personel ödemelerinden kaynaklı harcamaların kuruluş üst yöneticileri tarafından içselleştirilmesi noktasında dezavantaj teşkil edebilecektir.

Resmi yazıların arşiv süreçlerine ilişkin olarak, standart dosya planının hatalı girilmesinin önüne geçilememesinin temel sebebinin ilk etapta bu alanları giren kişilerle bu alanların hatalı girilmesinden muzdarip olan kişilerin birbirinden haberdar olmayan, farklı kurumlardaki kişiler olması olabilir. Hatalı veri girişi yapan personelin bu alanın hatalı girilmesinin sorumluluğunu üstleneceği bir yapılanma henüz oluşmamıştır.

Kamu personelinin bilgi teknolojilerini kullanım seviyesinin iyileştirilmesi, kamu yönetiminin kalitesini büyük ölçüde etkilemektedir (Zhang ve diğerleri, 2017). Evrak birimlerinin gerek üst yönetime elektronik ortamdaki resmi yazılarla ilgili teknik hususları doğru ifade edebilmeleri, gerekse bilgi işlem birimleriyle bu kapsamda sağlıklı iletişim kurabilmeleri için teknik yönden desteklenmeleri gerekmektedir. Çalışma kapsamında ana odağı teşkil etmemekle birlikte, bütünlük açısından müdahale kümesi ele alınarak Tablo 6 oluşturulmuştur.

Tablo 6. Performansa etki etme amaçlı müdahale kümesi

<i>Boşluk</i>	<i>Kök Nedenler</i>	<i>Öneriler</i>
Kurum özelinde, resmi yazışma süreçleri için yıllık fazladan 3.929.116 TL maliyet. Genelde ise, kamu kurumlarının elektronik ortamda yazışmaya geçiş sürecinin yavaş olması.	Muhatap kuruluşlarla yetersiz koordinasyon ve irtibat	Yapılan performans incelemesinde, fiziksel gönderim ve kabullere ilişkin olarak muhatap kuruluşlarla irtibata geçilerek sistematik bir iyileştirme süreci yürütülmediği gözlenmiştir. Sistematik bir bildirim mekanizmasının oluşturulması önerilmektedir. Fiziki ortamda gönderilen ve alınan resmi yazılar aylık bazda takip edilerek muhataplara bildirim ve yönlendirme yapılmalıdır.
	İlgili birimde düşük seviyede bilişim okuryazarlığı	Bilgi sistemlerine karşı olan güvenin eksik olmasının temel sebebi teknik hususlara hâkimiyetin zayıf olması ve bu hususlarda yöneticileri ikna edebilecek personelin yetişmemiş olması olarak görülmektedir. Bu nedenle, geçmiş dönemde tüm yazıların fiziki ortamda kopyasının tutulması zarureti hasil olduğu anlaşılmaktadır. Personelin teknik açıdan desteklenmesi personelde bilgi sistemlerine karşı olan güveni artıracaktır. Ayrıca muhatap kuruluşlarla etkileşimlerde de bilişim okuryazarlığı önem taşımaktadır.
	Personel maaşlarının birincil masraf kalemi olarak görülmemesi	Personel ödemelerinin elektronik ortamdaki resmi yazışma süreçleriyle ilişkilendirilmesi, yapılacak iyileştirmeleri gerekçelendirmek açısından önem taşımaktadır. Bu alanda bilgilendirme ve farkındalık faaliyetleri yürütülebilir.

6. ARAŞTIRMANIN KISITLARI

Çalışma kapsamında ele alınan analizde uygulama aşamasına geçilmeyeceğinden, süreç iyileştirme adımlarından son adım olan "Tasarım, Geliştirme ve Uygulama" adımı kapsam dışı bırakılmıştır. Ayrıca, "Değerlendirme ve Geri Bildirim" aşaması da sürecin bütününe ilgilendiren bir aşama olduğundan bu aşamaya ilişkin bir analiz de yapılmamıştır.

Çalışma bir merkezi kamu kurumunun evrak biriminde gerçekleştirilmiştir. Her ne kadar elde edilen bulgular önemli öngörülere imkân tanısa da, benzer çalışmaların her bir kurum özelinde farklılaşan sonuçlara yol açabileceği unutulmamalıdır. Ele alınan kurum taşra birimine sahip olmayan bir kurumdur. Taşra teşkilatına sahip kurumlarda evrak süreçleri daha karmaşık bir yapı arz etmekte ve daha fazla sayıda evrak sirkülasyonu olmaktadır. Özellikle valilikler ile Bakanlıkların taşra teşkilatları arasındaki iletişimin valilikler üzerinden olması, evrak süreçlerini daha da karmaşık bir hale getirmektedir. Çalışma kapsamında elde edilen bulgular kamu geneli için doğrudan bir projeksiyon imkânı vermese de, analizde izlenen sistematik diğer kamu kurumlarına da uygulanabilecek niteliktedir. Ulusal ölçekte bir takip için takip edilebilecek bir yöntem, her bir merkezi kamu kurumundan analize imkân verecek verilerin temin edilmesi ve bu analizin tüm merkezi kurumlar için karşılaştırmalı olarak yapılmasıdır. Yıllık olarak tekrarlanabilecek karşılaştırmalı bir analizin hem daha bütüncül bir veri altlığına hem de bu alanda daha bütüncül öneri ve politikaların geliştirilmesine hizmet edebileceği düşünülmektedir.

Çalışma kapsamında ihtiyaç duyulan fiziksel ortamdaki bazı verilerin geçmişe yönelik analizi bir yıllık geçmiş veriyle sınırlı tutulmuştur. Daha önceki yılların analizinin çalışmanın amacı ve kapsamı açısından, harcanan emeğe kıyasla faydasının yüksek olmayacağı düşünüldüğünden bu yol tercih edilmemiştir. Bu tür analizlerin daha sıhhatli ve uzun yılları kapsayacak şekilde yapılabilmesi, sürecin her bir adımının bilgi sistemlerine yansıtılması ile mümkün olabilecektir ki buna kurye ve posta kayıtları da dâhildir.

7. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Bilgi toplumu dönüşümüyle birlikte yaşanan gelişmelerden kamu kurumlarının da azami ölçüde faydalanması elzemdir. Kamu kurumları arasındaki iletişim büyük oranda resmi yazışma yoluyla olduğundan, EBYS kullanımı kurumlar arası ve kamu geneli performansına doğrudan etki eden önemli bir araçtır. EBYS kullanımı yaygınlaşmakta olsa da yaygınlaşma süreci uzun sürmekte olup halen EBYS kullanmayan kurumlar mevcuttur. EBYS kullanılmamasının maliyetinin somut verilerle ortaya konması, EBYS kullanımı yönündeki kararları etkileyebilecektir.

Fiziki ortamdaki resmi yazışma maliyetlerinin bir kısmı doğrudan maliyet iken bir kısmı resmi yazışmaların gecikmesinden kaynaklı dolaylı maliyettir. Dolaylı maliyetlerin ölçümü görece daha zordur. Bu çalışmada, dolaylı maliyetlerin ölçümüne yönelik bir yaklaşım ortaya konmuştur. Yaklaşımın temelinde resmi yazıya muhatap personelin beklemesinden kaynaklı mesai maliyetleri dikkate alınmıştır. Personel bir resmi yazıyı beklerken başka işlerle uğraşabilmektedir, ancak kamu genelinde bir yılda tamamlanabilecek tüm faaliyetlerin resmi yazışmalardaki gecikmelerden doğrudan etkilenmesi, mesai maliyeti odaklı bir yaklaşımı, en ideal şekilde olmasa da haklı göstermektedir.

İncelemesi yapılan kurumda kâğıt ortamında belge paylaşımından kaynaklı doğrudan maliyetin yıllık 23.414 TL olduğu, buna mukabil fiziki ortamda gönderilip alınan resmi yazıların gecikmesinden kaynaklı fırsat maliyetinin yıllık 3.905.702 TL olduğu anlaşılmıştır. Fırsat maliyeti resmi yazıya muhatap personelin yazıyı beklemesinde geçen sürenin maliyet karşılığı olarak hesaplanmıştır.

Çalışmada fiziki ortamda gönderilen resmi yazıların gönderim türü bazında birim maliyeti tespit edilmiştir. Kurye ile gönderimlerde resmi yazı başına ortalama birim maliyet Ocak 2022 fiyatlarıyla 14,1 TL, posta ile gönderimde ise 18,9 TL'dir. Bu birim maliyetler kurumdan kuruma değişiklik gösterebilmekte olup çalışmada izlenen sistematik farklı birim maliyetlerle takip edildiğinde belirli bir kuruma özgü rakamlar tespit edilebilecektir.

Çalışmada EBYS faydasının mali yönünün sayısal verilerle netleştirilmesi amaçlanmıştır. Bir kamu kurumunda ortaya konan maliyet analizinin tek başına kamu geneli için belirleyici olmayacağı açıktır. Bununla birlikte, aynı metodolojinin kamu geneline uygulanması için gerekli çerçeve ortaya konmuş olmaktadır. Yeter ve Temiz (2021)'in EBYS kullanımının kâğıt israfını azalttığı ve resmi yazışma süreçlerini kolaylaştırdığı ve dolayısıyla verimliliği artırdığını bulgusu bu çalışma ile doğrulanmış. Ayrıca bahsi geçen verim artışının mali değeri somutlaştırılmıştır. Özdemirci ve Odabaş (2005: 2)'in, resmi yazışmalara yönelik tüm süreçlerin basit ve standart olması ile hataların önlenerek üretimin hızlandırılması gerektiği ve iletişim maliyetlerinin azaltılmasının yazışmaların asli unsuru olduğu bulguları da araştırma sonuçlarıyla örtüşmektedir. Zira bu çalışmada kâğıt ortamındaki süreçler ortaya konarak bunların hem maliyeti hem de gerektirdiği zaman ortaya konmaktadır. Kayalı ve diğerleri (2021), çalışmalarında kurumlar arası belge paylaşımının önemini ortaya koyarak bunu kamu hizmetlerinde düzenlilik ilkesi ve idari işleyişte verimlilik

anlayışı ile bağdaştırmaktadır. Bu bulgu da bu çalışmanın odağı ile örtüşmektedir. Bahsi geçen çalışmalar, kurumlar arası yazışmaların elektronik ortamda yapılmasının faydasını farklı yönlerden ele almaları nedeniyle çalışma bulgularıyla örtüşmektedir. Ancak maliyet analizi ve analize hangi unsurların dahil edileceğine ilişkin yaklaşım bu çalışmanın literatüre ilave katkısıdır.

Çalışma kapsamında personelin beklemesinden kaynaklı fırsat maliyeti (mesai maliyeti üzerinden) önemli ve öncelikli maliyet kalemi olarak öne çıkmaktadır. Bu maliyet unsurunun öne çıkarılması bu alanda farkındalık oluşturacaktır. Performans literatüründe çevresel faktörlerin bireysel performans üzerindeki etkisi geniş bir yer tutmaktadır. “Performans teknolojisinin babası” olarak adlandırılan Thomas Gilbert, birey performansını artırmanın başlangıç noktasının çevresel engellerin anlaşılması ve kaldırılması olduğunu ifade eder (Rosdi ve diğerleri, Alias ve Ismail, 2020). Aynı husus bu çalışmada “fırsat maliyeti” perspektifi ile ele alınmış olup mevcut literatürle uyumludur. EBYS özelinde incelenen bu performans değerlendirmesinin benzeri diğer alanlarda da yapılarak personel maliyetinin fayda-maliyet analizlerinde kullanımının yaygınlaşması bu alandaki akademik yazının bütünselliği açısından faydalı olacaktır.

Bilgilendirme /Acknowledgements

Çalışmanın gerçekleştirildiği kuruluşun çalışanlarına veri ve bilgi desteğinden ötürü teşekkür ederiz.
We would like to thank the staff of the organisation where the study was conducted for their data and information support.

Yazar Katkıları /Author Contributions

Muhammed Raşit Özdaş: Literatür Taraması, Kavramsallaştırma, Veri Derleme, Analiz, Makale Yazımı-rijinal taslak Aslıhan Tüfekçi: Literatür Taraması, Metodoloji, Makale Yazımı-inceleme ve düzenleme
Muhammed Raşit Özdaş: Literature Review, Conceptualization, Data Curation, Analysis, Writing-original draft Aslıhan Tüfekçi: Literature Review, 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

- Appelbaum, S.H., St-Pierre, N. ve Glavas, W. (1998). "Strategic Organizational Change: The Role of Leadership, Learning, Motivation and Productivity", *Management Decision*, 36(5), 289-301.
- Aşık, Ö. ve Civelek, D.Y. (2011). "Kamu Sektörü Bilgisinin Paylaşımı ve Yeniden Kullanımı", Devlet Planlama Teşkilatı Bilgi Toplumu Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Atkinson, V. ve Chalmers, N. (1999). "Performance Consulting: Get Credit from Your Clients". *Performance Improvement* 38(4), 14-19.
- Balter, B.J. (2011). "Towards a More Agile Government: The Case for Rebooting Federal IT Procurement", *Public Contract Law Journal*, 41(1), 1-29.
- Burke, W.W. (1982). "Organization Development: Principles and Practices", Little Brown & Co, Boston.
- Chaffey, D. ve Wood, S. (2011). "Business Information Management: Improving Performance Using Information System", Financial Times Prentice Hall, Harlow.
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2023). "Sıfır Atık Projesi Resmî Web Sitesi", <http://sifiratik.gov.tr>, (Erişim Tarihi: 16.10.2023)
- Deterline, W.A. ve Rosenberg, M.J. (1992). "Workplace Productivity: Performance Technology Success Stories", *National Society for Performance Improvement*, Washington, D.C.
- Duan, M. (2008). "Understanding Performance in Human Performance Technology". *Asia-Pacific Collaborative Education Journal*, 4(1), 1-15.
- Elektronik İmza Kanunu. (2004). <http://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/1.5.5070.pdf>, (Erişim Tarihi: 16.10.2023)
- Gilley, J.W., Shelton, P.M., ve Gilley, A. (2010). "Development Leadership: A New Perspective for Human Resource Development", *Advances in Developing Human Resources*, 13(3), 386-405, DOI: 10.1177/1523422311424264.
- Handel, D.A., Wears, R.L., Nathanson, L.A. ve Pines, J.M. (2011). "Using Information Technology to Improve the Quality and Safety of Emergency Care", *Academic Emergency Medicine*, 18(6), 45-51.
- Irlbeck, S.A. (2002). "Human performance technology: An examination of definitions through dependent and independent variables", *Performance Improvement Quarterly*, 15(2), 84-95.
- ISPI. (2023). "Human Performance Technology", International Society for Performance Improvement: <https://www.ispicharlotte.org/about-ispicharlotte/hpt/>, (Erişim Tarihi: 16.10.2023)
- İrkey, T. (2021). "Bilgi Teknolojileri Hizmet Yönetiminde Bilgi Yönetimi: Bir İnsan Performans Teknolojisi Örneği", Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Bilişim Enstitüsü, Ankara.
- Kalkınma Bakanlığı (2005). "2006-2010 Bilgi Toplumu Stratejisi ve Eki Eylem Planı", (Mülga) Kalkınma Bakanlığı, Ankara.
- Kayalı, N., Şimşek, M.U. ve Uysal, M. (2021). "Resmî Yazışmalarda Uygulanacak Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik: Yeni Uygulamaların ve Hükümlerin Bilgi ve Belge Yönetimi Açısından Değerlendirilmesi", *Arşiv Dünyası*, 8(1), 1-13.
- Kopec, D., Kabir, M.H., Reinharth, D., Rothschild, O. ve Castiglione, J.C. (2003). "Human Errors in Medical Practice: Systematic Classification and Reduction with Automated Information Systems", *Journal of Medical Systems*, 27, 297-313.
- Külcü, Ö. (2009). "Evolution of E-Records Management Practices in E-Government: A Turkish Perspective". *The Electronic Library*, 27(6), 999-1009.
- Mager, R.F. ve Pipe, P. (1970). "Analyzing Performance Problems or 'You Really Oughta Wanna'", Fearon Publishers/Lear Siegler, Inc., California.
- Martin, F. (2008). "A Performance Technologist's Approach to Process Performance Improvement", *Performance Improvement*, 47(2), 30-40.
- Önaçan, M., Medeni, T. ve Özkanlı, Ö. (2012). "Elektronik Belge Yönetim Sisteminin (EBYS) Faydaları ve Kurum Bünyesinde EBYS Yapılandırmaya Yönelik Bir Yol Haritası", *Sayıştay Dergisi*, 85, 1-26.
- Özdemirci, F. ve Odabaş, H. (2005). "Yazışma Yönetimi ve Dosyalama İşlemleri", Alter Yayıncılık, Ankara.
- Parcell, J. ve Holden, S.H. (2013). "Agile Policy Development for Digital Government: An Exploratory Case Study", *Proceedings of the 14th Annual International Conference on Digital Government Research*, Canada, 11-17.
- Pershing, J.A. (2006). "Human Performance Technology Fundamentals", *Handbook of Human Performance Technology - Principles, Practices and Potential (Editör: Pershing, J.A.)*, International Society for Performance Improvement, Maryland.
- Resmi Gazete. (2005, 3 24). "e-Dönüşüm Türkiye Projesi 2005 Yılı Eylem Planı", <http://www.resmigazete.gov.tr/Eskiler/2005/04/20050401-12.htm>, (Erişim Tarihi: 16.10.2023).

- Resmi Gazete. (2015, 2 2). "Resmi Yazışmalarda Uygulanacak Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik", <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2015/02/20150202-1-1.pdf>, (Erişim Tarihi: 16.10.2023).
- Resmi Gazete. (2017, 10 14). "2017/21 Sayılı e-Yazışma Projesi Başbakanlık Genelgesi", <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/10/20171014-11.pdf>, (Erişim Tarihi: 16.10.2023).
- Rosdi, I.S., Alias, M. ve Ismail, N. (2020). "What Drives Employee Performance? Revisiting the Human Performance System Model", *Jurnal Pengurusan*, 59, 129-138.
- Rosenberg, M.J. (1996). "Human Performance Technology", *The ASTD Training and Development Handbook: A Guide to Human Resource Management*, (4th Edition) (Editör: Craig, R.L.), McGraw-Hill, New York, 370-393.
- Rothwell, W., Hohne, C. ve King, S. (2007). "Human Performance Improvement", Second Edition, Routledge.
- Rothwell, W.J. (1996). "Beyond training and development: State-of-the-Art Strategies for Enhancing Human Performance", American Society for Training and Development, Washington, D.C.
- Ruggieri, F. (2009). "ETSI Specifications for Registered E-Mail REM", *ISSE 2009 Securing Electronic Business Processes* (Editörler: Pohlmann, N., Reimer, H. Schneider, W.), 242-254.
- Rummler, G.A. ve Brache, A.P. (2013). "Improving Performance: How to Manage the White Space on the Organization Chart (Third Edition)", Jossey-Bass, California.
- Rummler, G.A. ve Morrill, K. (2004). "Result Chain: A Tool for Serious Performance Consultants", *Training & Development*, 2, 26-34.
- Shah, A., Sterrett, C., Chesser, J. ve Wilmore, J. (2001). "Meeting the Need for Employee Development in the 21st Century", *SAM Advanced Management Journal*, 66(2), 22-28.
- Stolovitch, H.D. ve Keeps, E.J. (Editörler). (1992). "Handbook of Human Performance Technology: A Comprehensive Guide for Analyzing and Solving Performance Problems in Organizations", Jossey-Bass, San Francisco.
- Ülker, H. (2002). "Bilgi Toplumu ve Devlet", *I. Ulusal Bilgi, Ekonomi ve Yönetim Kongresi*, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli.
- Van Tiem, D., Moseley, J., Dessinger, J. ve Gilmore, E. (2007). "Fundamentals of Performance Technology: A Guide to Improving People, Process, and Performance (Second Edition)", International Society for Performance, Maryland.
- Wai, C.T. ve Robinson, C.D. (1998). "Reducing Staff Turnover: A Case Study of Dialysis Facilities", *Health Care Management Review*, 23(4), 21-42.
- Whiteside, K.S. (1998). "Models, Mayhem, and Mastery", *Performance Improvement*, 37(2), 47-53.
- Wile, D. (1996). "Why Doers Do", *Performance and Instruction*, 35(2), 30-35.
- Yeter, D. ve Temiz, N. (2021). "Yükseköğretim Kurumlarında Elektronik Belge Yönetim Sisteminin İş Süreçlerine Olan Etkisinin İncelenmesi: Toros Üniversitesi Örneği", *Arşiv Dünyası*, 8(1), 14-40.
- Zhang, N., Zhao, X., Zhang, Z., Meng, Q. ve Tan, H. (2017). "What Factors Drive Open Innovation in China's Public Sector? A Case Study of Official Document Exchange via Microblogging (ODEM) in Haining", *Government Information Quarterly*, 34, 126-133.

Türk Havayolları'nın Lider Küresel Havayolu Şirketleri Arasındaki Göreceli Finansal Verimliliğinin Değerlendirilmesi: Malmquist Verimlilik Endeksi Yaklaşımı

Resul TELLİ¹, Oya ÖZTÜRK², Zehra Vildan SERİN³

ÖZET

Amaç: Bu çalışma, Türk Hava Yolları (THY)'nin uluslararası havayolu endüstrisindeki göreceli finansal verimliliğini 2017-2021 yılları arasında değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

Yöntem: Çalışmada 2017-2021 döneminde finansal verimlilikteki dalgalanmaların değerlendirilmesi amacıyla Malmquist Verimlilik Endeksi (MVE) yaklaşımı kullanılmıştır. Çalışmada Teknik Etkinlik Değişim (TED) ve Teknolojik Etkinlik Değişim (TD) skorları belirlenerek Toplam Faktör Verimlilik Değişim (TFVD) değerleri elde edilmiş ve her bir Karar Verme Birimi (KVB) verimlilik açısından değerlendirilmiştir.

Bulgular: THY'nin, 2017-2021 dönemi boyunca MVE sıralamasında 11. sırada yer aldığı görülmektedir. THY, analiz süresi boyunca ortalama TED>1 puanı elde etmiş, teknik olarak verimli olmuş ve etkin üretim hattını yakalama gücünü artırmayı başarmıştır. Diğer yandan THY'nin, analiz dönemi içerisindeki Covid krizi sürecinde karar alma mekanizmasında uygun yönetsel faaliyetleri ortaya koyduğu ve kaynak israfının önüne geçmeyi başardığı belirlenmiştir.

Özgünlük: Bu çalışmanın diğer çalışmalardan farkı THY'nin de aralarında bulunduğu Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği (International Air Transport Association-IATA) üyesi olan 19 havayolu şirketinin verimliliğini Veri Zarflama Analizi (VZA) tabanlı MVE ile belirlemesidir. Bu çalışmanın orijinal katkısı, THY'nin 19 küresel lider havayolu şirketleri içerisinde göreceli olarak finansal etkinliğini ölçmesidir.

Anahtar Kelimeler: Havacılık, Verimlilik, MVE, THY.

JEL Kodları: C67, D24, L93.

Evaluating Turkish Airlines Relative Financial Productivity Among Leading Global Airline Companies: Using the Malmquist Productivity Index Approach

ABSTRACT

Purpose: This study aims to evaluate Turkish Airlines' relative financial productivity in the international airline industry between 2017-2021.

Methodology: In this study, the Malmquist Productivity Index (MPI) approach was used to assess fluctuations in financial productivity during the period 2017-2021. Technical Efficiency Change (TED) and Technological Efficiency Change (TD) scores were determined, and Total Factor Productivity Change (TFPC) values were obtained, evaluating each Decision-Making Unit (DMU) in terms of efficiency.

Findings: Turkish Airlines ranked 11th in the MPI ranking during the period 2017-2021. Turkish Airlines achieved an average TED score greater than 1 during the analysis period, indicating that it has been technically efficient and successful in improving its ability to catch up with an effective production line. Therefore, Turkish Airlines has managed to prevent resource waste by implementing appropriate managerial activities in its decision-making mechanism during the Covid crisis.

Originality: The key differences in this study from others include the determination of the efficiency of 19 airline companies, including Turkish Airlines, using Data Envelopment Analysis (DEA) based MPI. The original contribution of this study is to measure the relative financial productivity of Turkish Airlines within the context of 19 global leading airline companies.

Keywords: Aviation, Productivity, MPI, Turkish Airlines.

JEL Codes: C67, D24, L93.

¹ Öğr. Gör. Dr., Yükseköğretim Kalite Kurulu, Ankara, Türkiye, resultelli@yokak.gov.tr, ORCID:0000-0001-9110-6406 (Sorumlu Yazar-Corresponding Author).

² Arş. Gör. Dr., Hasan Kalyoncu Üniversitesi, İktisadi, İdari ve Sosyal Bilimler Fakültesi, Uluslararası Ticaret ve Lojistik Bölümü, Gaziantep, Türkiye, oya.ozturk@hku.edu.tr, ORCID: 0000-0002-3507-4865.

³ Prof. Dr., Marmara Üniversitesi, Finansal Bilimler Fakültesi, İstanbul, Türkiye, vildan.serin@marmara.edu.tr, ORCID: 0000-0002-5514-7910.

DOI: 10.51551/verimlilik.1315728

Araştırma Makalesi / Research Article | Geliş Tarihi / Submitted Date: 16.06.2023 | Kabul Tarihi / Accepted Date: 19.10.2023

Atıf: Telli, R., Öztürk, O. ve Serin, Z.V. (2023). "Türk Havayolları'nın Lider Küresel Havayolu Şirketleri Arasındaki Göreceli Finansal Verimliliğinin Değerlendirilmesi: Malmquist Verimlilik Endeksi Yaklaşımı", *Verimlilik Dergisi*, 57(4), 687-700.

EXTENDED ABSTRACT

The increasing globalization accompanied by technological developments has accelerated the expansion of airline transportation, which has an important place in the transportation sector. With these developments, airline transportation has taken its place among global companies (Hooper, 1997; Kumar et al.2020). Airline transportation, which has strategic importance for regional development, supports macroeconomic improvements, especially tourism activities and revenues, as well as social development, population mobility and increased foreign trade (Yüksek et al., 2012; Sarsın Kaya, 2017; Battal, 2018). In this respect, airline transportation, which affects other sectors as well as itself, has a wide-ranging impact on increasing infrastructure investments, improving resource allocation, increasing employment with foreign direct investments, and supporting sustainable economic development by increasing public revenues (taxes, etc.) (Altuntaş and Kılıç, 2021).

This study focuses on comparing the financial efficiency of leading airlines, including Turkish Airlines. For this purpose, the financial data of 19 selected airlines for the period 2017-2021 were compiled from the airlines' annual reports. The obtained data were analysed with the Malmquist Productivity Index (MPI) and the financial efficiency of airlines on a global scale was investigated. In the study, the performance analysis of 19 airlines was carried out with total factor productivity change (TFPC) measurement using input and output variables. In line with the determined inputs and outputs, MPI models were analysed with the DEA Solver 3.0 package program, which is an add-on to the MS Excel program. In the study, 5-year (2017-2021) data of 19 airline companies were analysed with MPI method and financial efficiency scores of airline companies were obtained. Thus, the technical efficiency change (TEC) and technological efficiency change (TC) scores of the selected CVB were analysed with the Malmquist Efficiency Index. TFPC values were obtained with the obtained TEC and TC results.

In the framework of MPI analysis, AirChina, Emirates, Delta Airlines, American Airlines, Air France + KLM and LATAM were identified as the least financially affected DMUs in 2019-2020, the Covid-19 pandemic. On the other hand, MPI<1 score is calculated for 5 DMUs (China Southern, China Eastern, Ryanair, Spirit Airlines and British Airways) for the entire analysis period (2017-2021). Accordingly, it is observed that the total factor productivity of these 5 DMUs, which have experienced an average decrease in both TEC and TC values compared to the previous period, has also decreased. These DMUs with TFPC values below the score of "1" are considered inefficient. It is seen that THY, the largest airline in Turkey, ranks 11th in the MPI ranking. In this respect, it is recognized that THY managed to operate at the financial efficiency frontier during the 2019-2020 (Covid-19 pandemic) period. However, the decrease in the change in TC at THY indicates that increasing the technological efficiency of the company will further increase the TFPC value.

This study was conducted to determine the relative financial efficiency of Turkish Airlines among international airline companies. For this purpose, it is thought that this study, which was conducted using financial input-output variables of international airline companies and The Malmquist productivity index (MPI), has filled a significant gap in the literature. In future similar studies, the study can be examined in more detail with different airline companies, variables, number of periods and other nonparametric methods.

On the other hand, cooperation between firms has an important driving role in increasing competition. In this context, Air China, Lufthansa, United Airlines and Turkish Airlines are Star Alliance member airlines. Similarly, Alaska Airlines, American Airlines, and British Airways are also members of the OneWorld alliance. These alliances between world airlines can increase competition and develop new policies to prevent waste through cooperation and know-how sharing.

1. GİRİŞ

Küreselleşme ile ülkeler arasındaki karşılıklı bağımlılık arttıkça, ticareti, turizmi ve kültürel alışverişi kolaylaştırmak için havayolu şirketlerine olan talep artmaktadır. Bu süreç, uluslararası havayolları şirketlerini girdilerini minimuma indirmek, çıktılarını maksimuma çıkarmak için finansal verimliliklerini de sağlamaya yönelmektedir (Hooper, 1997; Kumar ve diğerleri, 2020). Bölgesel kalkınma açısından stratejik öneme sahip olan havayolu taşımacılığı, başta turizm faaliyetleri ve gelirleri olmak üzere, toplumsal gelişim, nüfus hareketliliği ve artan dış ticaretle birlikte makroekonomik gelişmeleri desteklemektedir (Yüksek ve diğerleri, 2012; Battal, 2018). Firmaların müşterileri çekmek için fiyatları düşürdüğü fiyat rekabeti ve ürünlerini kalite, tasarım veya müşteri hizmetleri gibi özellikler aracılığıyla farklılaştırdığı, fiyat dışı rekabet dâhil olmak üzere çeşitli biçimlerde ortaya çıkmaktadır. Rekabeti artıran unsurlar arasında pazara giriş-çıkış engelleri, benzer firma sayısı vb. unsurlar sıralanmaktadır (Porter, 1990: 89). Artan rekabet neticesinde her bir havayolu şirketi piyasada tutunmak ve karlılığı artırmak amacıyla kendi stratejilerini belirleyerek, maliyet düşürme ve finansal karlılığı artırma hedefini oluşturmaktadır.

Havayolu şirketleri özellikle uçak bakımı ve bilgi sistemleri için önemli finansal yatırımlara ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenle şirketler sermaye yapısına uygun yatırımları belirlemek zorundadır. Prensipde her bir havayolu yatırımı, öz sermaye veya borç stokundaki duruma göre belirlenmekte; ancak, ilave bir finansal risk, şirketin iflas sürecini oluşturacağından şirketlerde borç finansmanı ya da öz kaynak finansmanı maliyetinden uzak durulmaktadır (Pires ve Fernandes, 2012). Aksi takdirde üretim maliyetinin artması ile düşük ciro elde edilen havayolu şirketlerinde mali yapı borca dayalı hale gelmektedir. Bu durum özellikle 1990'lı yıllarda yaşanan piyasa daralması sürecinde rakiplerine karşı önemli ölçüde pazar payı kaybeden ABD havayolu taşımacılığında net olarak görülmüştür (Opler ve Titman, 1994; Guzhva ve Pagiavlas, 2003; Miao, 2005). Diğer yandan AB havayolu şirketleri ise ABD havayolu şirketlerine göre daha yüksek maliyetle üretim gerçekleştirmektedir. Bu nedenle AB menşeli havayolu şirketleri ABD havayolu şirketlerine göre daha düşük verimlilik sergilemektedir. Konuyla ilgili yapılan çalışmalarda bu durumun sebebinin ABD'de kamunun havayolu şirketleri üzerindeki deregülasyon reformları olduğu gösterilmektedir. Böylece ABD havayolları arasında rekabet artışı ile müşteri faydasını artıracak yolcu taşıma ücretleri düşürülerek sektörde verimlilik artışı yakalanmıştır (Fethi, 2000: 56). Görülmektedir ki havayolu şirketlerinde oluşan zayıf mali yapı karşısında büyük yatırım ihtiyacı, sektörde finansal verimlilik kaygılarını da beraberinde getirmektedir. Bu süreçte ancak, finansal etkinliği sağlayan havayolu şirketleri bu zorlukları aşmayı başarabilirler.

Bu bağlamda, bu çalışma, uluslararası havayolu şirketleri içerisinde Türk Hava Yolları (THY)'nin göreceli finansal etkinliğini belirlemek amacıyla yapılmıştır. IATA (2021) raporuna göre THY lider küresel 19 havayolları şirketleri içinde yer almaktadır. Bu çalışma, Türk Hava Yolları'nın uluslararası havayolu endüstrisindeki göreceli finansal etkinliğini değerlendirmek için MVE yaklaşımını kullanarak önemli bir analitik bakış sunmaktadır. Bu amaçla uluslararası havayolu şirketlerine ait MVE kullanarak yapılan araştırmanın literatürde bulunan bir boşluğu doldurduğu düşünülmektedir. Çalışma ileriki zamanlarda yapılması planlanan benzer çalışmalarda farklı havayolu firmaları, değişkenler, dönem sayısı ve parametrik olmayan diğer metotlarla daha detaylıca incelenebilecektir.

Çalışmanın giriş bölümünü takiben literatür taraması yapılmış ve havayollarının verimliliğine yönelik araştırmalar ortaya konularak çalışma yöntemine dair çerçeve oluşturulmuştur. Çalışmanın üçüncü başlığında araştırma yöntemi bulunmaktadır. Bu bölümde çalışmada kullanılan MVE'nin matematiksel formülasyonu gösterilerek çalışma verilerinin oluşturulması hakkında bilgi verilmiştir. Dördüncü kısımda çalışma bulguları tablolar aracılığıyla sunulmuştur. Çalışmanın son bölümü olan sonuç ve değerlendirme kısmı ile çalışma problemine yönelik geliştirilen politika önerileri ortaya konularak aynı bölümde çalışma konusuna yönelik çıkarımlar ve değerlendirmelerde bulunulmuştur.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Literatürde havayolu şirketlerinin verimliliğine yönelik farklı metot ve uygulamalar ile yapılmış çok çeşitli çalışmalara rastlanılmaktadır. Bunlar içerisinde çoklu girdi ve çıktılarının olduğu üretim sistemlerinde tercih edilen Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden MVE'nin oldukça fazla yer aldığı görülmektedir. Havayolu şirketlerinin çalışmamız metodolojisi çerçevesinde yapılan bazı çalışma örnekleri, kapsam, dönem, girdi ve çıktılar açısından tablolaştırılarak gösterilmiştir.

Tablo 1. MVE tabanlı havayolu çalışmalarına ilişkin literatür

<i>Çalışma</i>	<i>Kapsam</i>	<i>Dönem</i>	<i>Metodoloji</i>	<i>Girdi(ler)</i>	<i>Çıktı(lar)</i>
Yu ve Nguyen (2023)	25 Asya-Pasifik havayolu	2017-2019	MVE	- Çalışan Sayısı - Yakıt (ton)	- RPK (Revenue Passenger Kilometer) - RFTK (Revenue Freight Tonne Kilometer)
Yu ve Chen (2023)	17 Havayolu	2009-2018	NVZA Tabanlı MVE	- Filo Büyüklüğü - Çalışan Giderleri - Diğer İşletme Giderleri	- RPK - RFTK (Revenue Freight Tonne Kilometer)
Mahmoudi ve Emrouznejad (2023)	12 İran iç hat havayolu	2013-2020	SBM-NVZA MVE	- ASK (Available Seat Kilometer) - ATK (Available Tonne Kilometer) - NSF (Number of scheduled flights)	- RPK - TPK
Khezrimotlagh ve diğerleri (2022)	12 ABD Havayolu	2005-2018	MVE	- Bakım - Maaş ve Kazançlar - Yakıt maliyeti - Filo büyüklüğü - ASM (Available Seat Mile) - ATM (Available Tonne Mile)	- RPM (Revenue Passenger Miles) - RTM (Revenue Tonne Mile)
Asker ve Ustaömer (2022)	15 Havayolu	2016-2019	MVE	- Toplam sermaye - Toplam borç - Toplam işletme-giderleri	- Net kazanç - Toplam gelir - Toplam
Ben Lahouel ve diğerleri (2022)	25 Uluslararası Havayolu	2005-2019	MVE	- İşletme Giderleri - Satış Maliyetleri	- Faaliyet Geliri - Toplam Gelir - ASM - RPM
Huang (2021)	22 Asya-Pasifik havayolu	2016-2019	MVE	- Satışlar - Borç oranı	- EBITDA marjı - Maddi varlıklar
Asker (2021)	30 Uluslararası havayolu	2010-2017	MVE	- ASK - Uçak Sayısı - Çalışan Sayısı	- RPK - Doluluk Oranı - Yolcu Sayısı
Asker (2022)	24 Uluslararası havayolu	2016-2019	MVE	- Toplam Varlıklar - Toplam Sermaye - Toplam Borç Miktarı	- Pazar değeri - Toplam Gelir - Net Kar
Pires ve Fernandes (2012)	42 uluslararası Havayolu	2001-2002	MVE	- Finansal Kaldıraç	- Firma Büyüklüğü - Maddi Varlıklar - Maddi olmayan Duran Varlıklar
Chow (2010)	17 Çin Havayolu	2003-2007	VZA-MVE	- Çalışan sayısı - Yakıt tüketimi - Uçak kapasitesi	- RTK
Peoples ve diğerleri (2020)	17 Asya-Pasifik Bölgesi Havayolu	2003-2011	VZA-MVE	- Filo büyüklüğü, - Yakıt tüketimi - Çalışan Sayısı	- RPK - İşletme geliri
Kuljanin ve diğerleri (2019)	11 Uluslararası Havayolu	2008-2012	VZA-MVE	- Çalışan Sayısı - Filo büyüklüğü - ASK - Rötalar - ASK başına maliyet - ASK başına çalışan-maliyeti	- Çalışan başına uçak - Çalışan başına yolcu - RPK - Doluluk Oranı - Yolcuların sayısı - İşletme geliri - Hedef sayısı
Barros ve Couto (2013)	Üç düşük maliyetli Avrupa havayolu şirketi	2000-2011	MVE	- Çalışan Sayısı - İşletme maliyeti - ASK	- RPK - RTK

Bu çalışma, 2017-2021 döneminde havayollarının finansal etkinliğini karşılaştırmayı amaçlamaktadır. Bu doğrultuda seçilen 19 havayolu için oluşturulan finansal veriler IATA'nın yıllık faaliyet raporlarından derlenmiştir. Toplanan veriler MVE ile analiz edilmiş ve havayollarının küresel ölçekte finansal verimliliği araştırılmıştır. Bu yönüyle yapılan bu çalışmanın literatürde önemli bir boşluğu doldurduğu düşünülmektedir.

3. YÖNTEM

Havayolu endüstrisinde, verimliliği değerlendirmek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bunlardan en yaygın kullanılanı Malmquist Verimlilik Endeksi'dir (MVE). Bu yöntemler, çeşitli girdi ve çıktılarının yanı sıra zaman içinde üretkenlikteki değişiklikleri dikkate alarak havayolu verimliliğinin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Bu durum, MVE yöntemini havayolu endüstrisindeki karar vericiler, politika yapıcılar ve araştırmacılar için değerli araçlar haline getirmektedir.

3.1. Veri Zarflama Analizi Tabanlı Malmquist Verimlilik Endeksi

VZA, belirli bir küme içindeki en verimli gözlemleri, diğer bir deyişle verimlilik sınırını oluşturan Karar Verme Birimleri (KVB)'ni kullandıkları girdiye göre ve ürettikleri çıktıya göre tanımlayan bir yöntemdir. Başka bir deyişle, en az girdi kullanırken en yüksek düzeyde çıktı üreten gözlemleri belirtmektedir. Söz konusu limiti "referans" olarak kabul etmekte ve verimsiz KVB'lerin verimlilik seviyelerini bu limite kadar radyal olarak ölçmektedir. VZA, bir doğrusal programlama modelinde birden çok girdi ve çıktı değişkeni kullanarak her gözlem için tek bir etkinlik puanı sağlamaktadır (Depren, 2008: 42). Etkinlik değeri 1'e eşitse, KVB etkindir. Öte yandan, etkinlik değeri 1'den küçükse, KVB etkin değildir (Aydın, 2022).

Malmquist Verimlilik Endeksi (MVE) ise yıllar boyunca kaynak etkinliğini ve TFVD'yi ölçmek ve izlemek için kullanılan dinamik bir yöntemdir. Bir üretim sürecinin (şirket vb.) verimliliğini iki farklı zaman diliminde karşılaştırmak için MVE yöntemi sıkça kullanılmaktadır. Bu endeks iki terim çarpılarak hesaplanmaktadır. Bu terimler "yakalama" ve "sınır kayması" olarak ifade edilmektedir. Yakalama terimi, şirketin verimliliğini artırma çabalarını ölçerken, sınır kaydırma terimi, iki zaman dilimi arasında şirketin etrafındaki etkin sınırlardaki değişiklikleri temsil etmektedir (Pires ve Fernandes, 2012; Telli ve Serin, 2022). KVB'lerin verimlilik ölçümüne "zaman" boyutunu ekleyerek, zaman içinde etkinlik ölçümüne olanak sağlayan ve yaygın olarak kullanılan bir ölçüm yöntemi olan MVE, iki şirket arasındaki veya bir şirketin iki zaman dilimi arasındaki verimlilik farklarını hesaplayabilmektedir. MVE yöntemi de tıpkı VZA gibi girdi ve çıktıya dayalıdır. Ayrıca, verimlilik değişikliklerinin nedenini teknik etkinlik ve teknolojideki değişikliklere bağlamaktadır (Fare ve diğerleri, 1994). Buna göre, TFVD değerinin 1'den büyük olması toplam faktör verimliliğinde "artış", 1'den küçük olması "azalma", 1 olması ise "değişim yok" anlamına gelmektedir (Cooper ve diğerleri, 2007; Lorcu, 2010).

Çalışmada yapılan MVE analiziyle elde edilen TED, TD ve TFVD değerlerinin hesaplanmasında Eşitlik 1-3 kullanılmıştır (Depren, 2008: 63; Fare ve diğerleri, 1994).

$$\text{Yakalama Etkisi (TED)} = \frac{(X_0 Y_0)^2}{(X_0 Y_0)^1} \quad (1)$$

Eşitlik 1'de yer alan $(X_0 Y_0)^2$ ikinci dönem etkinlik sınırının etkinlik değerini, $(X_0 Y_0)^1$ birinci dönem etkinlik sınırının etkinlik değerini ifade etmektedir.

$$\text{Yer Değiştirme Etkisi (TD)} = \frac{(X_0 Y_0)^1}{(X_0 Y_0)^2}, \quad (2)$$

$$\text{Malmquist İndeks (TFVD)} = \text{TED} \times \text{TD}, \text{ eşitliği ile hesaplanmaktadır.} \quad (3)$$

Çalışmada 19 havayolu şirketinin TFVD ile girdi ve çıktı değişkenleri kullanılarak verimlilik performans analizi çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. Belirlenen girdi ve çıktılar doğrultusunda MS Excel programının eklentisi olan DEA Solver 3.0 paket programı ile MVE modelleri analiz edilmiştir. Çalışmada 19 havayolunun 5 yıllık (2017-2021) verileri MVE yöntemi ile analiz edilmiş; havayollarının pandemi öncesi ve pandemi dönemindeki finansal etkinlik skorları elde edilmiştir. Böylece seçilen KVB'lerin teknik etkinlik değişimi (TED) ve teknolojik etkinlik değişimi (TD) puanları MVE ile analiz edilmiştir. Elde edilen TED ve TD sonuçları ile TFVD değerlerine ulaşılmıştır.

3.2. Çalışmanın Verileri

Çalışmamızın veri seti, havayolu şirketlerinin 2017-2021 yılları arasındaki yıllık faaliyet raporlarından elde edilen verilerle oluşturulmuştur. Havayolu şirketlerinin belirlenmesinde ise, IATA (2021) WATS raporunda yer alan en yüksek ücretli yolcu kilometreleri (RPK) göz önünde bulundurulmuştur. Ancak, verilerine ulaşılamayan 5 havayolu şirketi analiz dışında bırakılmıştır. Özellikle düşük maliyetli, halka arz olmayan veya herhangi bir ortaklık üyesi olmayan havayolu şirketlerinin verilerinin yıllık olarak yayınlanmaması nedeniyle eksikliğe sahiptir. Bu nedenle, çalışma kapsamında bu tür havayollarını ayrıntılı

bir şekilde analiz etmek mümkün olmamıştır. Ayrıca, KLM ve Air France gibi ortak grup şirketlerine ait veriler, ortak olarak yayınlandığı için çalışmamızda tek bir havayolu olarak ele alınmıştır. Bu nedenle IATA (2021) WATS raporunda yer alan 25 havayolu şirketinden 19'u analize dâhil edilebilmiştir. Çalışmada seçilen KVB'ler Öztürk (2023) çalışmasından hareketle oluşturulmuştur.

Eksi yönlü KVB'ler VZA modelinin çözümlenmesini bozmaktadır. Çalışma verilerinde bazılarında (2020-2021) tüm şirketlerin negatif (-) kar elde ettiği görülmüştür. Çalışmada DEAP 2.1 paket programı kullanılmıştır. Program eksi (-) değerleri analize dahil etmemektedir. Bu durumda söz konusu dönem için analiz bulguları doğru hesaplanamamaktadır. Analize devam etmek ve doğru hesaplamalar yapabilmek için negatif (-) rakamların pozitif (+) olması gerekmektedir. Bu amaçla tüm KVB'lerde net kar değişkenine aynı sabit değer (2020 için 15.000.000 \$ ve 2021 için 5.000.000 \$) eklenmiştir. Böylece her bir KVB arasındaki net kar farkı sabit tutularak veri güvenliği sağlanmıştır.

Tablo 2. Finansal değişkenlerin tanımlayıcı istatistikleri

Yıl	Değişkenler	Max.	Min.	Ortalama	Std. Sapma
2017	<i>Finansal Girdiler</i>				
	İşletme Giderleri(000 \$)	39.346.963	2.258.727	17.466.380	11.880.823
	Toplam Varlıklar(000 \$)	53.671.000	3.253.911	26.302.013	14.876.194
	Toplam Yükümlülükler(000 \$)	53.565.000	2.163.998	19.950.758	13.316.928
	<i>Finansal Çıktılar</i>				
	Toplam Gelir(000 \$)	42.622.000	2.643.552	19.180.888	12.891.567
	Net Kâr (000 \$)	11.400.000	155.304	1.844.856	2.448.299
2018	<i>Finansal Girdiler</i>				
	İşletme Giderleri(000\$)	41.885.000	2.972.120	19.324.656	12.738.617
	Toplam Varlıklar(000\$)	60.580.000	3.656.082	28.578.327	16.460.823
	Toplam Yükümlülükler(000\$)	60.749.000	2.640.929	22.072.525	14.939.441
	<i>Finansal Çıktılar</i>				
	Toplam Gelir(000\$)	44.541.000	3.323.034	20.762.059	13.569.693
	Net Kâr (000\$)	3.935.000	886.543	1.155.359	1.159.155
2019	<i>Finansal Girdiler</i>				
	İşletme Giderleri(000\$)	42.703.000	3.329.489	19.496.772	12.775.954
	Toplam Varlıklar(000\$)	64.532.000	5.972.291	31.559.149	17.722.296
	Toplam Yükümlülükler(000 \$)	60.113.000	4.782.080	24.749.404	15.467.244
	<i>Finansal Çıktılar</i>				
	Toplam Gelir(000 \$)	47.007.000	3.830.536	21.075.545	13.751.190
	Net Kâr (000\$)	4.767.000	35.246	1.274.099	1.207.792
2020	<i>Finansal Girdiler</i>				
	İşletme Giderleri(000\$)	29.564.000	2.317.784	12.132.011	8.321.208
	Toplam Varlıklar(000\$)	71.996.000	5.807.348	32.163.403	19.074.867
	Toplam Yükümlülükler(000\$)	70.462.000	5.792.394	28.898.874	19.223.200
	<i>Finansal Çıktılar</i>				
	Toplam Gelir(000\$)	17.337.000	1.810.022	8.421.160	5.277.996
	Net Kâr (000\$) *	14.571.300	2.615.000	10.953.457	3.459.892
2021	<i>Finansal Girdiler</i>				
	İşletme Giderleri(000\$)	30.941.000	3.287.649	13.690.207	8.436.729
	Toplam Varlıklar(000\$)	72.459.000	6.216.714	34.321.865	20.483.952
	Toplam Yükümlülükler(000\$)	73.807.000	6.425.990	30.831.612	20.075.760
	<i>Finansal Çıktılar</i>				
	Toplam Gelir(000\$)	29.899.000	3.230.775	12.791.591	8.292.359
	Net Kâr (000\$) **	5.977.000	352.858	3.790.655	1.538.472

Not: *, +15.000.000\$ eklendi; **, +5.000.000\$ eklendi anlamına gelmektedir.

Girdi ve çıktı değişkenlerinin seçimi konusunda literatürde farklı görüşler bulunsa da çalışmamızda havayolu verimliliğini ölçmek için yerli ve yabancı literatürde kabul görmüş kriterlere dayalı olarak belirlenen değişkenler kullanılmıştır. Bu değişkenler, Öztürk (2023) çalışmasından hareketle oluşturulmuş ve Tablo 2'de ayrıntılı olarak sunulmuştur. Bu veriler, havayolu işletmelerinin performansını analiz etmek,

karşılaştırmak ve finansal açıdan yükümlülüklerini karşılama oranı hakkında önemli bilgiler sunmak için kullanılmıştır. Tablo 2'de yer alan toplam varlık ve toplam yükümlülük göstergeleri her bir KVB'nin kendine ait varlık mevcudunu üretim sürecinde ne kadar aktif kullandığını ortaya koymaktadır. Toplam gelirle birlikte analize katılan net kar göstergesi ise havayolu firmalarının faaliyetlerinde karlılık oranı ve yönetimin başarısı hakkında önemli bir gösterge olarak kabul edilmektedir (Karadeniz ve Aydın, 2023: 95-96).

4. BULGULAR

4.1. Malmquist Verimlilik Endeksleri ve Bileşenlerinin Analitik Tahminleri

2017-2021 dönemleri için analize dahil edilen 19 KVB'nin teknolojik (TD), teknik (TED) ve toplam faktör verimliliği değişimleri (TFVD) hesaplanmış ve Tablo 5-6-7'de gösterilmiştir. Buna göre MVE değerinin 1'den büyük olması toplam faktör verimliliğinde "artış", 1'den küçük olması "azalma", 1 olması ise "değişim yok" anlamına gelmektedir. MVE, TED ve TD endekslerinin bileşenlerinden birinin 1'den küçük olması teknik etkinlikte ve teknolojiye gerilemeye, bu endeksin 1'den büyük olması ise teknik etkinlikte ve teknolojiye gelişmelere işaret etmektedir. Diğer bir deyişle TED'in 1'den büyük olması firmanın üretim limitini yakalama etkisi gösterecek, TD'nin 1'den büyük olması ise üretim limitini yukarı kaydıracaktır. Çalışma kapsamında belirlenen 19 KVB'nin 2017-2021 dönemleri için ölçülen teknik etkinlik değişim (TED) puanları Tablo 3 ile gösterilmektedir.

Tablo 3. KVB'lerin TED değerleri

<i>Havayolu Şirketleri</i>	<i>TED 17-18</i>	<i>TED 18-19</i>	<i>TED 19-20</i>	<i>TED 20-21</i>
American Airlines	1	1	1	1
Delta Air Lines	1	1	1	1
Southwest Airlines	1	1	1	1
Air France + KLM	1	1	1	1
IndiGo	1	1	1	1
Lufthansa	1	1	1	1
Aeroflot Russian Airlines	1	1	1	1
Alaska Airlines	1	1	1	1
JetBlue	0,983	1016	0,968	1,034
Turkish Airlines	1,004	0,988	1,027	1
British Airways	1,006	0,977	1,023	0,964
United Airlines	1	1	1	0,928
LATAM	0,989	1,057	1	1
China Eastern Airlines	0,967	1,010	1,028	0,922
Emirates	1,027	1,025	0,955	1,057
Spirit Airlines	1	1	1	0,839
China Southern Airlines	0,940	1,028	1,046	0,925
Air China	0,968	2,081	0,535	0,899
Ryanair	1,038	1	0,941	0,992
Ortalama	0,996	1,062	0,975	0,977

19 KVB'nin etkin üretimi yakalama gücünün (TED) genel ortalamaları sadece 2018-2019 döneminde (%6,2) artarken, diğer tüm yıllarda azalmıştır. 2018-2019 döneminde TED'si azalan iki KVB, Türk Hava Yolları (%1,2) ve British Airways'dir (%2,3). 2018-2019 dönemi, Türk Hava Yolları'nın TED değerinde düşüş kaydettiği tek yıl olurken, diğer dönemlerde THY, TED değerinde artış kaydederek 2020-2021 döneminde sabit kalmıştır. KVB'ler bazında analiz edildiğinde; TED artışının en yüksek ve en düşük olduğu KVB, 18-19 ve 19-20 yıllarında Air China'ya aittir. Air China 2018-2019 yıllarında TED değerinde %100,8 artış gösterirken, sonraki dönemde 2019-2020 %47 oranında düşüş olduğu görülmektedir. Yani şirketin 2019-2020 yıllarındaki mali çıktılarının %47 daha az girdi miktarı ile elde edilebileceği ortaya çıkmıştır. Bu yüksek düşüşün sebebine gelince, pandeminin havayolları üzerindeki keskin etkisinden bahsetmek mümkündür.

Emirates havayolu şirketi ise TED'de her yıl artış göstermiş, ancak sadece 2019-2020 döneminde %4,5'lik bir düşüş göstermiştir. Ayrıca United Airlines 2020-2021 döneminde sadece bir yıl (%7,2) ve Spirit Airlines 2020-2021 döneminde (%16,1) düşüş gösterirken diğer yıllarda sabit bir seyir izlemiştir. İlgili dönemde uygun ölçekte faaliyet olmadığı ve belirtilen oranlarda âtil miktarda girdi olduğu anlaşılmaktadır. Bu KVB'ler için 2020-2021 yıllarında Covid-19 pandemisinin etkisinden bahsetmek mümkün olacaktır.

American Airlines, Delta Air Lines, Southwest Airlines, Air France + KLM, Indigo, Lufthansa, Aeroflot ve Alaska Airlines'ın TED değerleri tüm yıllar için 1 olarak belirlenmiştir. Diğer bir ifade ile 8 KVB'nin yönetsel başarıya ve ölçek büyüklüğüne sahip olduğu, kaynakların etkin kullanıldığı ve atıl girdi miktarının olmadığı görülmektedir. Çalışma kapsamında belirlenen 19 KVB'nin 2017-2021 dönemleri için teknolojik etkinlik değişim (TD) puanları aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.

Tablo 4. KVB'lerin TD değerleri

<i>Havayolu Şirketleri</i>	<i>TD 17-18</i>	<i>TD 18-19</i>	<i>TD 19-20</i>	<i>TD 20-21</i>
American Airlines	0,978	0,995	1,172	0,965
Delta Air Lines	1,003	1,004	1,082	1,023
Southwest Airlines	0,781	0,974	1	1,144
Air France + KLM	1,008	0,998	1	1,267
IndiGo	0,825	0,876	0,650	1,263
Lufthansa	0,962	0,945	1	1
Aeroflot Russian Airlines	1,045	0,964	0,710	1,134
Alaska Airlines	0,954	0,977	0,735	1,111
JetBlue	1,034	0,969	0,744	1,114
Turkish Airlines	1	1,007	0,811	1,048
British Airways	1,003	0,830	0,644	0,990
United Airlines	1,021	0,959	1	1,038
LATAM	1,039	0,964	0,860	1,106
China Eastern Airlines	1,020	0,962	0,986	0,956
Emirates	1	1,006	1,023	1,084
Spirit Airlines	0,853	0,953	0,808	1,132
China Southern Airlines	1,014	0,968	0,978	1,010
Air China	1,017	1,525	1,367	0,963
Ryanair	0,869	0,967	0,821	0,996
Ortalama	0,970	0,992	0,915	1,071

Tablo 4'ten KVB'lerin ortalama teknolojik etkinlik değişim değerleri (TD) incelendiğinde; 2020-2021 yıllarında artış (%7,1), diğer tüm yıllarda ise azalma olduğu görülmektedir. 2020-2021 döneminde sadece Lufthansa'nın TD değeri sabit kalırken, Ryanair %0,4, British Airways %1, American Airlines %3,5, Air China %3,7 ve China Eastern Airlines %4,4 oranında düşmüştür. Bu 6 KVB dışındaki KVB'lerde TD değerlerinde artış olmuştur. KVB'ler açısından bakıldığında, 2018-2019 döneminde KVB'lerde en yüksek artış %52,5 ile Air China şirketine olmuştur. Ayrıca 2019-2020 döneminde en çok düşüş kaydeden KVB %35,6 ile British Airways şirketi olarak tespit edilmiştir.

American Airlines TD değerinde sadece 2019-2020 döneminde %17 artış kaydederken, diğer dönemlerde düşüş yaşanmıştır. Benzer şekilde Alaska Airlines, Indigo ve Spirit Airlines şirketleri de sadece 2020-2021 döneminde %11, %26 ve %13 artarken, diğer tüm dönemlerde düşüş yaşamıştır. Öte yandan Ryanair, incelenen tüm dönemlerde TD değerinde düşüş yaşamıştır. Bu KVB'lerin aksine, Emirates ve Delta Havayolları her dönemde artış kaydeden KVB'ler olarak belirlenmiştir. Diğer bir deyişle, Emirates ve Delta Airlines, tartışılan dönemlerde etkin üretim limitlerini sürekli olarak yükseltmeyi başardığı görülmektedir. 2017-2021 döneminde toplam faktör verimliliğindeki (TFVD) değişim değerleri aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.

Tablo 5 ile tüm dönemler incelendiğinde dönem boyunca KVB'lerin elde ettiği ortalama TFVD değerinin 2018-2019 döneminde %8,4, 2020-2021 döneminde ise %4,7 arttığı, diğer dönemlerde ise düştüğü görülmektedir. 2019-2020 döneminde ise %11,8 oranında düşüş olduğu belirlenmiştir. KVB'ler açısından bu döneme bakıldığında Indigo (%35) ve British Airways (%34,1) gibi yüksek düşüşler dikkat çekmektedir. TFVD değerinin TD ve TED değerlerinin çarpımı olmasından hareketle Indigo ve British Airways şirketlerinin değerlerindeki düşüşün sebebinin TD değerleri olduğu görülmektedir. Diğer bir ifade ile ilgili şirketler yönetsel ve ölçek etkinlik skoru açısından sabit bir değer gösterirken, teknolojik etkinlikte büyük düşüş yaşamıştır.

Tablo 5. KVB'lerin MVE değerleri

<i>Havayolu Şirketleri</i>	<i>TFVD 17-18</i>	<i>TFVD 18-19</i>	<i>TFVD 19-20</i>	<i>TFVD 20-21</i>
American Airlines	0,978	0,995	1,172	0,965
Delta Air Lines	1,003	1,004	1,083	1,023
Southwest Airlines	0,781	0,974	1	1,145
Air France + KLM	1,008	0,998	1	1,267
IndiGo	0,825	0,876	0,650	1,263
Lufthansa	0,962	0,945	1	1
Aeroflot Russian Airlines	1,045	0,964	0,710	1,134
Alaska Airlines	0,954	0,977	0,735	1,111
JetBlue	1,016	0,985	0,721	1,152
Turkish Airlines	1,003	0,995	0,833	1,048
British Airways	1,009	0,812	0,659	0,954
United Airlines	1,021	0,959	1	0,964
LATAM	1,027	1,018	0,860	1,106
China Eastern Airlines	0,987	0,971	1,014	0,881
Emirates	1,026	1,031	0,977	1,145
Spirit Airlines	0,853	0,953	0,808	0,949
China Southern Airlines	0,953	0,996	1,023	0,934
Air China	0,985	3,174	0,732	0,866
Ryanair	0,902	0,967	0,773	0,988
Ortalama	0,965	1,084	0,882	1,047

Tartışılan dönemlerde TFVD değerinde en yüksek artışı gösteren KVB, 2018-2019 döneminde yine %200,17 oranıyla Air China şirketi olmuştur. Takip eden dönemde ise KVB %26,8 azalma yaşamıştır. KVB'nin 2018-2019 yıllarında elde ettiği artış hem TD hem de TED değerlerindeki artıştan kaynaklanırken, 2019-2020 yıllarındaki düşüşün tamamen TED değerindeki düşüşten kaynaklandığı görülmektedir. Buna göre şirketin 2019-2020 döneminde uygun ölçekte faaliyet göstermediği, bununla birlikte kaynakların verimli kullanılmadığı anlaşılmaktadır. Ayrıca analiz dönemi içerisinde en yüksek düşüş 2019-2020'de %35 ile Indigo şirketine ait olmuştur. Indigo şirketinin ilgili yıldaki düşüşü, daha önce de belirtildiği gibi TD değerindeki düşüşten kaynaklanmaktadır. Diğer bir deyişle, şirketin ilgili yılda etkin üretim çizgisini sağa yukarı taşıyamadığı dolayısıyla elde ettiği çıktı miktarının diğer KVB'lere kıyasla göreceli olarak düşük kaldığı anlaşılmaktadır.

Tablo 5'e göre Delta Havayolları'nın TFVD skorunda analiz döneminin tamamında artış hesaplanırken, Ryanair ve Spirit Airlines için tüm yıllarda azalma hesaplanmıştır. LATAM (2019-2020) ve Air France-KLM grup şirketi (2018-2019) sadece bir dönemde azalma gösterirken, diğer tüm dönemlerde artış kaydettiği görülmektedir.

Tablo 6, 2017-2021 dönemi için KVB'lerin ortalama TFVD, TD ve TED değerlerini göstermektedir. En yüksek MVE puan ortalamasına sahip olan Air China şirketinin hem TED hem de TD ortalamalarında artış hesaplanmıştır. En düşük TFVD ortalaması %14,2 ile British Airways şirketine aittir. TD değerlerindeki düşüş nedeniyle son sırada yer alan KVB'nin teknolojik etkinliği yakalayamadığı ve bu nedenle etkin olmayan dönem ortalamasına sahip olduğu görülmektedir. Teknolojik verimliliği yakaladığında aynı miktarda girdi ile daha fazla çıktıya ulaşmak mümkün olacaktır.

Tablo 6'dan, Air China ve Emirates şirketleri ayrı ayrı incelendiğinde her ikisinin de analiz dönemi boyunca teknik ve teknolojik olarak verimli üretim yaptıkları anlaşılmaktadır. Buna göre, Air China ve Emirates şirketleri bir yandan kriz döneminde kaynak israf etmeyerek verimli üretim hattını yakalama güçlerini artırmayı başarırken, diğer yandan da verimli üretim hattını sağa kaydırmıştır. Böylece, bu KVB'ler birim girdi başına birden fazla birim üretmeyi başarmıştır. Buna göre hedeflenen çıktıların üzerinde elde edilen sonuçlar, Air China ve Emirates şirketleri için önemli bir başarı olarak görülmektedir.

Tablo 6 dikkatlice incelendiğinde her iki şirketin TD puanı TED puanına göre daha yüksektir. Buna göre, Air China ve Emirates şirketlerinde söz konusu başarının temeli, MVE'lerin sırasıyla %36,5 ve %4,5 ile "1" puanından önemli ölçüde yüksek olmasıdır. Bu durumun temel olarak TD değişikliğindeki yüksek artışlardan kaynaklandığı görülmektedir (Air China %21,8, Emirates %2,8).

Tablo 6. KVB'nin ortalama MVE-TED-TD değerleri

<i>Havayolu Şirketleri</i>	<i>TFVD 17-21</i>	<i>TED 17-21</i>	<i>TD 17-21</i>
Air China	1,365	1,121	1,218
Air France + KLM	1,068	1,000	1,068
Emirates	1,045	1,016	1,028
Delta Air Lines	1,028	1,000	1,028
American Airlines	1,027	1,000	1,027
LATAM	1,003	1,011	0,992
United Airlines	0,986	0,982	1,004
Lufthansa	0,977	1,000	0,977
China Eastern Airlines	0,977	0,985	0,993
Southwest Airlines	0,975	1,000	0,975
Turkish Airlines	0,970	1,005	0,967
JetBlue	0,965	1,000	0,965
Aeroflot Russian Airlines	0,963	1,000	0,963
China Southern Airlines	0,963	0,985	0,981
Alaska Airlines	0,944	1,000	0,944
Ryanair	0,907	0,992	0,913
IndiGo	0,903	1,000	0,903
Spirit Airlines	0,891	0,960	0,936
British Airways	0,858	0,993	0,867
Ortalama	0,994	1,002	0,987

Air China ve Emirates şirketleri dışında, $MVE > 1$ olarak hesaplanan KVB'ler, Air France + KLM, Delta Air Lines, American Airlines ve LATAM'ı içermektedir. LATAM dışındaki tüm bu şirketlerde toplam faktör verimliliğindeki artış TD puanlarına bağlı iken, LATAM şirketinde durum diğerlerinin tam tersidir. Yapılan hesaplamalara göre LATAM şirketinin TD puanı 1'in altında olmasına rağmen şirketin TED puanında aldığı 1,011 puan MVE puanının 1,003 olmasını ve şirketin dönem boyunca verimli bir şekilde hesaplanmasını sağlamıştır. LATAM'ın toplam faktör verimliliğindeki artışın temel nedeni etkin üretim hattını yakalama gücünün artmasıdır.

IndiGo şirketi için $TED = 1$ puanı hesaplanırken, TD değeri 1'den küçük olarak hesaplanmıştır. $TFVD < 1$ olarak hesaplanan IndiGo'da, puanı "1" in altına düşüren faktörün TD olduğu açıkça görülmektedir. Buna göre, söz konusu firmalar teknik verimlilik çizgisini yakalama düzeyini sabit tutarken, verimli üretim hattını yukarıya taşıyamamış, aksine sola kaymasını da engelleyememiştir. Bu durum IndiGo'nun bir önceki döneme göre aynı girdi oranına karşı daha az çıktı elde edecek üretim sürecine girdiğini ortaya koymaktadır.

Tablo 6'ya göre Türk Hava Yolları, analiz süresi boyunca ortalama $TED > 1$ puanı elde etmiş, teknik olarak verimli olmuş ve etkin üretim hattını yakalama gücünü artırmayı başarmıştır. Buna göre Türk Hava Yolları, Covid krizi sürecinde karar alma mekanizmasında uygun yönetsel faaliyetleri ortaya koyarak kaynak israfının önüne geçmeyi başarmıştır. Türk Hava Yolları'nda analiz dönemindeki teknolojik değer değişimi ise "1" puanının ($TD < 1$) altında hesaplanmıştır. Buna göre kriz döneminde Türk Hava Yolları'nın verimli üretim hattı sola kaymış ve Türk Hava Yolları birim üretim başına bir birimden daha az üretim gerçekleştirmiştir. Bu durumun en önemli nedeni teknolojik gelişmelerden istenilen ölçüde yararlanılamamasıdır. TED ve TD'nin çarpımından elde edilen ve verimlilik endeksi olarak bilinen MVE hesaplamalarına göre, Türk Hava Yolları analiz döneminde $MVE < 1$ puanı ile verimsiz olarak değerlendirilmiştir. Türk Hava Yolları'nın verimsizliğinin en önemli nedeni TD varyasyonunun azalmasıdır. TD puanının "1" değerinin altında olması Türk Hava Yolları'nın mevcut koşullarda birbirine yakın ölçekte üretim yapan rakipleri ile benzer kaynakları kullanmasına rağmen rakiplerine göre daha az üretim çıktısına ulaşmasına neden olmuştur. Bu nedenle Covid krizinde teknik olarak ortalama verimli olan Türk Hava Yolları, TD değerinde aynı başarıyı yakalayamamıştır.

5. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada 19 IATA üyesi havayolu şirketinin 2017-2021 yılları arasındaki finansal performansları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Çalışmada yıllara göre verimlilikteki dalgalanmaların değerlendirilmesi amacıyla MVE kullanılmıştır. Bu çerçevede IATA tarafından yayınlanan Türk Hava

Yollarının da içinde bulunduğu 2021 World Air Transport Statistics (WATS) raporuna göre en fazla ücretli yolcu kilometresine (RPK) sahip havayolu şirketleri analize dahil edilmiştir.

Çalışmada analize dahil edilen havayolu şirketleri sadece IATA üyesi şirketlerdir. Çalışmada kullanılan girdi ve çıktılar ise analize konu olan finansal değişkenlerden oluşturulmuştur. Dolayısıyla çalışma sonuçları yalnızca finansal verimlilik üzerine çıkarımlar ortaya koymaktadır. Hem KVB hem de girdi-çıkıtı değişkenleri açısından bakıldığında bu durum çalışmanın kısıtları arasında sıralanmaktadır. Diğer yandan çalışmada kullanılan değişkenlerin datalarına ulaşılma durumuna göre analiz dönemi 2017-2021 olarak 5 yıl ile sınırlandırılmıştır. MVE ile belirlenen TFVD değerindeki değişikliğin daha uzun yıllar için belirlenmesinin politika önerilerinin daha uzun projeksiyonlu olmasında önemli olduğu düşünülmektedir.

MVE analizleri çerçevesinde, Covid-19 krizi dahil olmak üzere analiz süresi boyunca 5 KVB (China Southern, China Eastern, Ryanair, Spirit Airlines ve British Airways) için MVE<1 skoru hesaplanmıştır. Buna göre bir önceki döneme göre hem TED hem de TD değerlerinde ortalama düşüş yaşayan bu 5 KVB'nin toplam faktör verimliliğinde düşüş olduğu gözlenmiştir. TFVD değeri "1" puanının altında olan bu KVB'ler verimsiz kabul edilmektedir. Bunlar arasında British Airways, 2017-2021 döneminde TD puanındaki %13,3'lük düşüş nedeniyle TFVD ortalamasında %14,2'lik düşüşle tüm KVB'ler arasında en verimsiz KVB olarak belirlenmiştir. British Airways'in TED puanındaki düşüş %0,7 iken, TD puanındaki düşüşün daha yüksek oranda (%13,3) olması toplam faktör verimliliğinin çok daha düşük olmasına neden olmuştur. Bu 5 şirketin hem TED hem de TD skorlarından kaynaklanan verimlilik düşüşlerini önlemek için bir yandan ölçek büyüklüğünü optimum seviyeye getirerek teknolojik gelişmelerden faydalanacak stratejik planlar yapması, diğer yandan kaynakların israfını önleyecek politikalar geliştirmesi gerekmektedir.

Düşük maliyetli Dublin merkezli faaliyet gösteren Ryanair, MVE analizinde 16. sırada yer almaktadır. Ryanair 2019-20-21 dönemlerinde skorlarındaki yüksek düşüş nedeniyle Covid-19 pandemiden etkilenen havayolları arasında gösterilebilir. Diğer düşük maliyetli Hint havayolu şirketi Indigo'da ise 2019-20 döneminde TD değerindeki düşüş MVE ortalamasına da yansımış ve MVE sıralamasında 17. sırada yer almıştır. Dolayısıyla özellikle Covid-19 pandemi döneminde bu KVB'nin TD değerini artırmadığı ve TD değerini artırması durumunda TFVD değerini artıracığı görülmektedir.

Öte yandan, MVE analizleri çerçevesinde Covid-19 salgınının finansal etkisinin en az olduğu KVB'ler ise AirChina, Emirates, Delta Airlines, American Airlines, Air France + KLM ve LATAM olarak belirlenmiştir. Buna göre Air France + KLM, Delta Air Lines ve American Airlines şirketleri TED değişim değerini yükselterek TD değişim değerindeki artışı koruyabilirse ve LATAM şirketi TD değişim değerini yükselterek TED değişimindeki artışı koruyabilirse toplam faktör verimliliğini artırarak en verimli KVB grubuna dahil edilebilirler.

Türkiye'nin en büyük havayolu firması olan THY'nin, 2017-2021 dönemi boyunca MVE sıralamasında 11. sırada yer aldığı görülmektedir. THY, Covid 19 dönemi (2019-2020) dışında MVE değişiminde genel olarak verimli olmayı başarmıştır. Ayrıca TED ve TD değerinde THY'nin Covid 19 öncesinde ortalama oldukça verimli olduğu dikkati çekmektedir. Bununla birlikte hesaplamalar neticesinde THY'nin, Covid-19 döneminde finansal verimlilik sınırına yakın yerde faaliyet göstermeyi başardığı da anlaşılmaktadır. Ancak THY'de 2019-2020 yılında TD değerinde meydana gelen %18,9'luk azalma, şirketin aynı dönemdeki TFVD değerinin de %16,7 oranında azalmasına neden olmuştur. Diğer yandan THY, Covid 19 döneminde %2,7 oranında TED artışı elde etmiştir. Bu durum THY'nin pandemi sürecinde yönetsel faaliyetlerde ve özellikle karar alma mekanizmalarında başarılı olduğunu ve aynı zamanda ölçek büyüklüğünü optimal seviyede tuttuğunu ortaya koymaktadır. Bu başarının bir sonucu olarak THY, Covid-19 sonrası (2020-2021) dönemde TD'de elde ettiği 1,048 skoruyla etkin üretim çizgisini sağa yukarı çıkararak aynı girdi başına bir önceki döneme kıyasla %4,8 daha fazla çıktı üretmeyi başarmıştır. Görülmektedir ki THY, Covid 19 dönemindeki dışsal şoklara karşı analiz döneminin tamamında toplam 19 KVB içerisinde TED sıralamasında Air China, Emirates ve LATAM'dan sonra dördüncü sırada en etkin olan havayolu şirketi olmuştur. Buna göre THY'nin yönetsel faaliyetlerdeki ve ölçek etkinliğindeki başarısı oldukça iyi seviyelerdedir. Diğer yandan THY, dönem boyunca TD değerinde 0,967 skoru ile etkin üretim çizgisini ortalama %3,3'lük bir azalmayla diğer KVB'lere göre korumayı başarmıştır. THY'de MVE'nin artırılması için özellikle TD değerini yukarı taşıyacak üretim stratejileri geliştirilmesi gerekmektedir.

Diğer yandan havayolu şirketleri arasındaki iş birliği rekabetin artmasında önemli bir itici role sahiptir. Bu kapsamda Air China, Lufthansa, United Airlines ve Türk Hava Yolları, Star Alliance üyesi havayollarıdır. Benzer şekilde Alaska Airlines, American Airlines ve British Airways de OneWorld ittifakının üyeleridir. Dünya havayolları arasındaki bu birliktelikler rekabeti artırarak, iş birliği ve know-how paylaşımı yoluyla hedeflenen çıktı miktarının üzerinde girdi kullanımını ya da âtil kullanılan girdi miktarını azaltarak kaynak israfını önleyecek yeni politikaları geliştirebilir.

Havayolu şirketlerinin verimliliği üzerine hazırlanan bu çalışmanın metodolojisi elimizdeki verilere göre oluşturulmuştur. Çalışmada IATA üyesi havayollarının finansal performansları hali hazırda mevcut verilerle değerlendirilmiş olsa da MVE kullanılarak oluşturulan sonuçlar spesifik değişkenlere ve çalışmaya dahil edilen veya hariç tutulan verilere bağlı olarak değişebileceğinden, çalışmanın daha sonraki çalışmalarda güncellenmiş veriler ve yeni değişkenlerle tekrarlanabileceği düşünülmektedir.

Bilgilendirme / Acknowledgements

Dergi Editörü ve hakemlere çalışmanın gelişmesine sağladıkları katkılardan dolayı teşekkür ederiz.
We would like to thank the referees and Editor who contributed to the improvement of the study.

Yazar Katkıları / Author Contributions

Resul Telli: Modelleme, Metodoloji, Analiz, Makale Yazımı-inceleme ve düzenleme Oya Öztürk: Literatür Taraması, Veri Derleme, Makale Yazımı-rijinal taslak Zehra Vildan Serin: Kavramsallaştırma, Metodoloji, Makale Yazımı- inceleme ve düzenleme
Resul Telli: Modelling, Methodology, Analysis, Writing-review and editing Oya Öztürk: Literature Review, Data Curation, Writing-original draft Zehra Vildan Serin: 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

- Altuntaş, M. ve Kılıç, E. (2021). "Havayolu Taşımacılığı ile Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişkinin İncelenmesi: Türkiye Örneği", *Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 23(1), 187-202.
- Asker, V. (2021). "Malmquist Toplam Faktör Verimliliği Endeksi ile Operasyonel ve Finansal Performans Analizi: Seçilmiş Havayolu İşletmelerinde Bir Uygulama", *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 59, 435-460.
- Asker, V. (2022). "Geleneksel ve Düşük Maliyetli Havayolu İşletmelerinde Malmquist Toplam Faktör Verimliliği Endeksi ile Finansal Performansın İncelenmesi", *Dicle Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 29, 435-452.
- Asker, V. ve Ustaömer, T.C. (2022). "Financial Efficiency Analysis the Malmquist Tfp Method: An Application on Star Alliance Member Airlines", *Bingöl Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6(2), 39-57.
- Aydın, A. (2022). "Benchmarking Healthcare Systems of OECD Countries: A DEA-Based Malmquist Productivity Index Approach", *Alphanumeric Journal*, 10(1), 25-40.
- Barros, C.P. ve Couto, E. (2013). "Productivity Analysis of European Airlines, 2000-2011", *Journal of Air Transport Management*, 31, 11-13.
- Battal, Ü. (2018). "Türkiye'de Havayolu Taşımacılığının Finansman Sorunları: Dematel Yöntemi Uygulaması", *Ömer Halisdemir Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 11(2), 96-111.
- Ben Lahouel, B., Taleb, L., Ben Zaied, Y. ve Managi, S. (2022). "Does Primary Stakeholder Management Improve Competitiveness? A Dynamic Network Non-Parametric Frontier Approach", *Economic Modelling*, 116, 106010.
- Chow, C.K.W. (2010). "Measuring the Productivity Changes of Chinese Airlines: The Impact of the Entries of Non-State-Owned Carriers", *Journal of Air Transport Management*, 16(6), 320-324.
- Cooper, W.W., Seiford, L.M., Tone, K. ve Zhu, J. (2007). "Some Models and Measures for Evaluating Performances With DEA: Past Accomplishments and Future Prospects", *Journal of Productivity Analysis*, 28(3), 151-163.
- Depren, Ö. (2008). "Veri Zarflama Analizi ve Bir Uygulama", Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Färe, R., Grosskopf, S., Norris, M. ve Zhang, Z. (1994). "Productivity Growth, Technical Progress, and Efficiency Change in Industrialized Countries", *The American Economic Review*, 66-83.
- Fethi, M.D. (2000). "Efficiency and Productivity Growth in the European Airlines Industry: Applications of Data Envelopment Analysis, Malmquist Productivity Index and Tobit Analysis", Yayımlanmamış Doktora Tezi, University of Leicester, United Kingdom.
- Guzhva, V.S. ve Pagiavlas, N. (2003). "Corporate Capital Structure in Turbulent Times: A Case Study of the US Airline Industry", *Journal of Air Transport Management*, 9(6), 371-379.
- Hooper, P. (1997). "Liberalising Competition in Domestic Airline Markets in Asia-The Problematic Interface Between Domestic and International Regulatory Policies", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 33(3), 197-209.
- Huang, C.C. (2021). "Assessing The Financial Performance of Airlines in the Asia-Pacific Region", *Investment Management and Financial Innovations*, 18(2), 234-244.
- IATA (2021). Presentation of 2021 Air Transport Statistical Results, https://www.icao.int/annual-report-2021/Documents/20230320_Final_Table_en.pdf, (Erişim Tarihi: 10.02.2022)
- Karadeniz, E. ve Aydın, C. (2023). "Uluslararası Havayolu Yolcu Taşımacılığı Şirketlerinin Finansal Performansının Oran Analiziyle Değerlendirilmesi", *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, 98, 87-108.
- Khezrimotlagh, D., Kaffash, S. ve Zhu, J. (2022). "U.S. Airline Mergers' Performance and Productivity Change", *Journal of Air Transport Management*, 102, 102226.
- Kuljanin, J., Kalić, M., Caggiani, L. ve Ottomanelli, M. (2019). "A Comparative Efficiency and Productivity Analysis: Implication to Airlines Located in Central and South-East Europe", *Journal of Air Transport Management*, 78, 152-163.
- Kumar, A., Aswin, A. ve Gupta, H. (2020). "Evaluating Green Performance of the Airports Using Hybrid BWM and VIKOR Methodology", *Tourism Management*, 70, 1-16.
- Lorcu, F. (2010). "Malmquist Toplam Faktör Verimlilik Endeksi: Türk Otomotiv Sanayi Uygulaması", *İstanbul University Journal of the School of Business Administration*, 39(2), 276-289.
- Mahmoudi, R., ve Emrouznejad, A. (2023). "A Multi-Period Performance Analysis of Airlines: A Game-SBM-NDEA and Malmquist Index Approach", *Research in Transportation Business and Management*, 46, 100801.
- Miao, J. (2005). "Optimal Capital Structure and Industry Dynamics", *The Journal of Finance*, 60(6), 2621-2659.

- Opler, T.C. ve Titman, S. (1994). "Financial Distress and Corporate Performance", *The Journal of Finance*, 49(3), 1015-1040.
- Öztürk, O. (2023). "Dünyadaki Başlıca Havayolu Şirketlerinin Operasyonel, Finansal ve Çevresel Etkinliklerinin Karşılaştırmalı Analizi", Yayınlanmamış Doktora Tezi, Hasan Kalyoncu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Gaziantep.
- Peoples, J., Abdullah, M.A. ve Satar, N.M. (2020). "COVID-19 and Airline Performance in the Asia Pacific Region", *Emerald Open Research*, 2, 62, DOI: 10.35241/emeraldopenres.13914.2.
- Pires, H.M. ve Fernandes, E. (2012). "Malmquist Financial Efficiency Analysis for Airlines", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48(5), 1049-1055.
- Porter, M.E. (1990). "The Competitive Advantage of Nations Harvard Business Review", (1st Edition), The Free Press.
- Sarsın Kaya, D. (2017). "Turizm Sektörü", Türkiye İş Bankası İktisadi Araştırmalar Bölümü, Havayolu Yolcu Taşımacılığı Sektör Raporu, Mart 2017.
- Telli, R. ve Serin, Z.V. (2022). "Gelişmekte Olan Ülkelerde Sağlık Harcamaları Etkinliğinin Malmquist İndeksi ile Belirlenmesi", *Verimlilik Dergisi*, 4, 723-740.
- Yu, M.M. ve Chen, L.H. (2023). "Productivity Change of Airlines: A Global Total Factor Productivity Index with Network Structure", *Journal of Air Transport Management*, 109, 102403.
- Yu, M.M. ve Nguyen, M.A.T. (2023). "Productivity Changes of Asia-Pacific Airlines: A Malmquist Productivity Index Approach for A Two-Stage Dynamic System", *Omega*, 115, 102774.
- Yüksek, G., Cavcar, M., Rota, Y., Çubuk, M., Koçak, İ., Sarılgan, A.E. ve Durmaz, V. (2012). "Turizm Ulaştırması", Anadolu Üniversitesi Açık Öğretim Fakültesi Yayınları, Eskişehir.

Yapay Sinir Ağları Yaklaşımı ile Talep Tahmini: Madeni Eşya İmalat Sektöründe Bir Uygulama

Tuğba SARI¹, Sermet Rıza ŞENSOY², Adem Enes NURBAKİ³, İsmet Alperen AĞAÇ⁴

ÖZET

Amaç: Bir ürüne yönelik talebin tahmin edilmesi, o ürünün tedarik zinciri süreçlerinin verimli bir biçimde gerçekleştirilmesi için kritik önem taşır. Bu çalışmanın amacı, imalatçı firmalar için, Yapay Sinir Ağları (YSA) yaklaşımı ile içsel ve dışsal değişkenlerin sistematik olarak analiz edildiği, hibrit bir tahmin modeli ortaya koymaktır.

Yöntem: Çalışma kapsamında, madeni eşya imalat sektöründe faaliyet gösteren bir firma tarafından üretilen bir ürün grubunun talep tahminini gerçekleştirmek üzere YSA modellerinden yararlanılmıştır. İlk aşamada, firmanın geçmiş satış verileri kullanılarak geleneksel zaman serisi modelleri oluşturulmuştur. Daha sonra bu yöntemler tek tek YSA modeline eklenerek çok değişkenli hibrit modeller kurulmuş olup, ardından bu modellere kademeli olarak dışsal değişkenler eklenerek çok değişkenli hibrit YSA modelleri elde edilmiştir. Oluşturulan modellerin tahmin hatalarının ölçülmesi ile en iyi modeller belirlenerek, bu yöntemlerle gelecek dönemlerin tahminleri gerçekleştirilmiştir.

Bulgular: Analiz aşamasında toplam 48 hibrit YSA modeli kurulmuş olup, en düşük hata oranına sahip model, %18,01 ile "Winters' Ekleme Mevsimsel" yöntemi ile Reel Efektif Döviz Kuru ve İmalat Sanayi Üretim Endeksi dışsal değişkenlerinin kullanıldığı hibrit YSA modelidir.

Özgünlük: Bu çalışmanın, madeni eşya imalat sektöründe sınırlı bir araştırma alanına sahip olan talep tahmini probleminin çözümüne için önerilen sistematik, kapsamlı ve uyarlanabilir tahmin modeliyle, literatürdeki boşluğun kapatılmasına katkıda bulunması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Talep Tahmini, Basit Üstel Düzeltme, Holt-Winters, Yapay Sinir Ağları, Tedarik Zinciri, Madeni Eşya İmalat Sanayi.

JEL Kodları: M11, C45, C53.

Demand Forecasting with Artificial Neural Networks Approach: An Application in the Metal Goods Manufacturing Industry

ABSTRACT

Purpose: Forecasting the demand for a product is critical for the efficient management of its supply chain processes. The aim of this study is to present a hybrid forecasting model for manufacturing firms, in which endogenous and exogenous variables are systematically analyzed using an Artificial Neural Network (ANN).

Methodology: In this study, ANN models are utilized to forecast the demand for a product group produced by a firm operating in the metal goods manufacturing industry. In the first stage, traditional time series models were created using the firm's historical sales data. Then, univariate hybrid models were constructed by adding these methods to the ANN model one by one, and then multivariate hybrid ANN models were obtained by gradually adding exogenous variables to these models. By measuring the prediction errors of the models, the best hybrid models were determined and the future demands were forecasted by these methods.

Findings: A total of 48 hybrid ANN models were constructed in the analysis phase. It was founded that the best model with 18,00% error rate is the hybrid ANN model including the "Winters' Additive Seasonal" method and the exogenous variables, "Real Effective Exchange Rate" and "Manufacturing Industry Production Index".

Originality: By providing a systematic, comprehensive and adaptive forecasting model, this study is expected to contribute to the literature gap in solving the demand forecasting problem, which has a limited research area in the metal goods manufacturing industry.

Keywords: Demand Forecasting, Simple Exponential Smoothing, Holt-Winters, Artificial Neural Networks, Manufacturing Supply Chain, Metal Goods Manufacturing.

JEL Codes: M11, C45, C53.

¹ Doç. Dr., Konya Gıda ve Tarım Üniversitesi, Sosyal ve Beşeri Bilimler Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, Konya, Türkiye, tugba.sari@gidatarim.edu.tr, ORCID: 0000-0002-9536-5541 (*Sorumlu Yazar-Corresponding Author*).

² Konya Gıda ve Tarım Üniversitesi, Sosyal ve Beşeri Bilimler Fakültesi, Uluslararası Ticaret ve İşletmecilik Bölümü Konya, Türkiye, sermet.sensoy@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8165-9960.

³ Konya Gıda ve Tarım Üniversitesi, Sosyal ve Beşeri Bilimler Fakültesi, Uluslararası Ticaret ve İşletmecilik Bölümü Konya, Türkiye, enesnurbaki@gmail.com, ORCID: 0009-0001-1255-7805.

⁴ Konya Gıda ve Tarım Üniversitesi, Sosyal ve Beşeri Bilimler Fakültesi, Uluslararası Ticaret ve İşletmecilik Bölümü Konya, Türkiye, ismetalperenagac@gmail.com, ORCID: 0009-0002-4836-2839.

DOI: 10.51551/verimlilik.1327524

Araştırma Makalesi / Research Article | Geliş Tarihi / Submitted Date: 12.01.2022 | Kabul Tarihi / Accepted Date: 14.06.2022

Atf: Sarı, T., Şensoy, S.R., Nurbaki, A.E. ve Ağaç, İ.A. (2023). "Yapay Sinir Ağları Yaklaşımı ile Talep Tahmini: Madeni Eşya İmalat Sektöründe Bir Uygulama", *Verimlilik Dergisi*, 57(4), 701-718.

EXTENDED ABSTRACT

All over the world, production and consumption of metal products are among the main indicators of industrialization. The metal goods manufacturing industry is one of the five most important sectors in Turkey in terms of its share in gross domestic product, share in manufacturing industry production, exports, net foreign exchange inflow, employment, competitiveness, investments, openness to foreign trade and macroeconomic aggregates (T.C. Gümrük ve Ticaret Bakanlığı, 2017). This industry is characterized by limited financial resources and capacity problems. In recent years, the metal industry in Turkey has faced various challenges such as rising energy costs, increasing competition from low-cost producers in Asia and global economic uncertainty.

Forecasting future sales of products and services is vital in production and supply chain management. Manufacturers minimize the risks of having products in stock for a long time or not having enough products to meet the demand by accurately forecasting the future demand for the product (Wijaya et al., 2020; Karaatlı et al., 2012). Improving demand forecasting increases supply chain efficiency and reduces waste by enabling accurate inventory management, accurate and timely production planning and resource optimization. However demand forecasting studies for the metal goods manufacturing industry are quite limited in the literature. This study is expected to fill this gap and provide manufacturers with an effective and comprehensive demand forecasting approach that they can adapt to their products. Hence, this study aims to provide a forecasting approach that will increase productivity by ensuring optimum utilization of resources in the metal goods manufacturing industry.

In this study, the historical sales data of the product group were first analyzed with the two common statistical methods: Simple Exponential Smoothing (ES) and Holt-Winters Additive Seasonal method. In order to overcome the constraints of traditional methods, Artificial Neural Network (ANN) modeling is used. In the next stage, hybrid forecasting models are created by combining ES and Holt-Winters' with ANN. In these models, forecasting values, which are the outputs of the analyses performed with statistical methods, constitute the inputs of ANN models. Afterwards exogenous variables are systematically added to Hybrid-ANN models as other inputs. The best models are determined by calculating the error rates by MAPE and MSE methods. Afterwards, future sales values are forecasted with these models.

Forecasts with the ES method, a MAPE value of 23.343% and an MSE value of 97784469 are obtained, while Holt-Winters' yields a MAPE of 23.049% and an MSE value of 94558665. More accurate forecasts are obtained from the outputs of the new hybrid models augmented with ANN. While the MAPE of the ES method is 23.343%, the MAPE of the Hybrid ANN-ES model is decreased to 22.85%. Similarly, the Hybrid ANN-Holt-Winters' method with a MAPE of 21.45% is more accurate than the 23.049% MAPE of Holt-Winters' method. The Hybrid ANN-ES-Holt Winters' model, where both methods are used together, yield a MAPE ratio of 23.12%. In the next stage of the analysis, the following exogenous variables are added as inputs to the models: Industrial Production Index, Manufacturing Industry Capacity Utilization Rate, Real Effective Exchange Rate and GDP. According to the results, the common feature of the most successful models is found as that they all include the exogenous variables Real Effective Exchange Rate and Industrial Production Index. The model with the most accurate prediction result is the Hybrid ANN model based on Holt Winters' with Real Effective Exchange Rate and Industrial Production Index with a MAPE of 18.01% and an MSE of 61549127. The forecasts for the future periods are conducted with the best performing models.

In future studies, the proposed models can be adapted to different product groups in different sectors. The data analyzed in this study includes the sales of the product group, whose demand is relatively stable, between 2018 and 2022. This time period includes data from the peak periods of the Covid-19 pandemic. Since the impact of the pandemic will gradually decrease or completely disappear over time, it is expected that repeating the analysis by adding sales data for future periods will increase the accuracy of the forecasts.

1. GİRİŞ

Tüm dünyada, madeni eşya üretim ve tüketim büyüklükleri sanayileşmenin temel göstergeleri arasında yer almakta olup; kişi başına tüketilen çelik, alüminyum ve bakır ürünlerinin toplam miktarı ülkelerin gelişmişlik düzeyini belirleyen önemli göstergeler olarak kabul görmektedir. Madeni eşya imalat sektörü, ülkemizde Makina, Taşıtlar ve Madeni Eşya Sektörü kategorisi altında sınıflandırılmakta olup; demir çelik üretimi, demir dışı metaller ve metal ürünleri dahil olmak üzere çeşitli alt sektörlerden oluşmaktadır. Sektör gayri safi yurtiçi hasıladaki payı, imalat sanayi üretimindeki payı, ihracat, net döviz girdisi, istihdam, rekabet edebilirlik, yatırımlar, dışa açıklık ve makroekonomik büyüklükler açısından Türkiye'deki en önemli beş sektörden biridir (T.C. Gümrük ve Ticaret Bakanlığı, 2017:4).

Makina, Taşıtlar ve Madeni Eşya Sektörü, Türkiye'de faaliyet gösteren toplam esnaf ve sanatkârların %11'lik bölümünü temsil etmektedir. Diğer yandan sektör, binlerce kişiyi istihdam ederek ve kayda değer bir ihracat geliri elde ederek Türkiye ekonomisine önemli bir katkı sağlamaya devam etmektedir. T.C. Gümrük ve Ticaret Bakanlığı (2017)'nin yayınladığı sektör raporuna göre demir-çelik eşya sektöründe faaliyet gösteren yaklaşık 31 bin işyerinde 150 bin kişi istihdam edilmektedir. Sektördeki firmalar Türkiye genelinde, sırasıyla İstanbul, İzmir, Ankara, Konya, illerinde yoğunlukla faaliyet göstermektedir. Yine aynı tarihli rapordan anlaşıldığı üzere, Makina, Taşıtlar ve Madeni Eşya Sektörü bünyesinde faaliyette bulunan esnaf ve sanatkârların yeni teknolojileri öğrenme ve bunlara uyum sağlama potansiyeli bulunmasına rağmen, büyük oranda eski yöntemleri kullanmaya devam etmekte oldukları ve modern teknolojilerin kendilerine sunduğu fırsatları yeterince değerlendiremedikleri tespit edilmiştir. Çoğunluğunu KOBİ'lerin oluşturduğu sektörde, finansal kaynakların kısıtlı olması ve işyeri kullanım alanlarının yeterli büyüklükte olmaması nedeniyle yaşanan kapasite sorunları dikkat çekmektedir. Bununla birlikte son yıllarda Türkiye'deki madeni eşya endüstrisi, artan enerji maliyetleri, Asya'daki düşük maliyetli üreticilerin artan rekabeti ve küresel ekonomik belirsizlik gibi çeşitli zorluklarla karşı karşıya kalmıştır. Özellikle kaynakları sınırlı olan KOBİ ölçeğindeki firmalarda üretimin, ürün talebine uygun olarak planlanması, mevcut kaynakların optimum kullanımı açısından büyük önem arz etmektedir. (T.C. Gümrük ve Ticaret Bakanlığı, 2017:75-76).

İmalat sektöründe, üretilen ürünler için gelecekte oluşacak talebi en doğru şekilde belirleyebilmek için sıklıkla talep tahmini hesaplamalarından yararlanılır. Ürün ve hizmetlerin gelecek dönem satışlarının tahmin edilmesi, üretim ve tedarik zinciri yönetiminde önemli bir yere sahiptir. Tahmin çalışmaları firmaların planlama, strateji, pazarlama, lojistik, depolama ve kaynak yönetimine ilişkin kararlarını doğrudan etkiler. Talep tahmini sayesinde, işletmeler gelecekte ürüne olan talebin doğru olarak tahmin edilmesi ile ürünlerin stokta uzun süre kalması veya talebi karşılayacak yeterli ürün bulunmaması risklerini en aza indirir (Wijaya ve diğerleri, 2020; Karaatlı ve diğerleri, 2012). Talep tahmininin iyileştirilmesi; doğru stok yönetimi, doğru ve zamanında üretim planlaması ve kaynak optimizasyonu sağlayarak, tedarik zincirinin verimliliğini artırır ve israfı azaltır.

Talep tahminine yönelik çalışmalarda ağırlıklı geleneksel zaman serisi tahmin yöntemleri kullanılmaktadır (Sohrabpour ve Oghazi et al. 2021). Ancak geleneksel tahmin yöntemlerinin tahmin doğruluğunu etkileyen ciddi sınırları bulunmaktadır. Bu nedenle son yıllarda tahmin çalışmalarında Yapay Sinir Ağlarının (YSA) kullanımında artış görülmektedir. YSA algoritmalarının doğrusal olmayan verileri barındırma ve veriler arasındaki ince işlevsel ilişkileri yakalama yetenekleri nedeniyle, alta yatan ilişkilerin bilinmediği veya tanımlanmasının zor olduğu durumlarda bile tahmin hatalarını düşürerek isabetli sonuçlar verdiği bilinmektedir (Kochak ve Sharma, 2015; Vhatkar ve Dias, 2016).

Bu noktadan hareketle bu çalışmada, madeni eşya imalat sektöründe kaynakların doğru şekilde kullanılmasını sağlayarak verimliliği artıracak bir talep tahmini çalışması yapılması amaçlanmaktadır. Tahmin çalışmasında klasik istatistik yöntemlerin yanında, son yıllarda gelişen makine öğrenmesi yaklaşımının bir devamı olan YSA modellemesi kullanılmıştır.

Yerli ve yabancı literatürde madeni eşya imalat sektörüne yönelik talep tahmini çalışmalarının oldukça kısıtlı olduğu gözlemlenmektedir. Yapılan çalışmanın, literatürdeki bu açığı kapatarak, sektörde faaliyet gösteren işletmelere, kendi ürünleri için uyarlayabilecekleri, etkili ve kapsamlı bir talep tahmini yaklaşımı sunması beklenmektedir.

Bu doğrultuda, çalışmanın bir sonraki bölümünde, talep tahminine yönelik literatür taramasına yer verilmiştir. Çalışmanın üçüncü kısmını oluşturan Yöntem bölümünde, bu çalışmada oluşturulan modellerde kullanılan temel metodların işleyişi ile tahminlerdeki hata oranının nasıl hesaplandığı belirtilmiştir. Dördüncü bölümde, hibrit YSA modelleri ile gerçekleştirilen tahminlerin sonuçları verilmiştir. Sonuç ve değerlendirmeleri içeren beşinci ve son bölümde ise elde edilen bulgular, literatür ile karşılaştırmalı olarak yorumlanmıştır. Yine aynı bölümde çalışmanın beklenen faydaları ve kısıtları ile gelecek için öneriler belirtilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatürde, talep tahminine odaklanan pek çok çalışmada YSA'dan yararlanıldığı gözlemlenmektedir. Tablo 1'de YSA modellerinin tek başına veya geleneksel istatistiksel yöntemlerle beraber kullanıldığı talep tahmini çalışmalarına yer verilmiştir. Çalışmaların amacı, kullanılan yöntemler ve elde edilen bulgular Tablo 1'de verilmiştir. Buna göre, talep tahmininde zaman serileri analizine dayanan yöntemler literatürde sıkça kullanılmaktadır. Ayrıca son yıllarda hibrit YSA yönteminin kullanımında da artış olduğu gözlemlenmektedir.

Karaatlı ve diğerleri (2012); Kaya ve diğerleri (2022:1478); Arslankaya ve Vildan (2018); Han ve diğerlerinin (2022) alışmalarında olduğu gibi, YSA yaklaşımı Türkiye'de satılan toplam otomobil satış rakamlarının tahmin edilmesinde sıklıkla kullanılmaktadır. Kaya ve diğerleri satış tahminlerini hesaplariken, YSA modelinin yanı sıra ARIMA ve Regresyon yöntemlerini de kullanmışlardır. Han ve diğerleri de YSA yöntemine ek olarak Holt-Winters' yönteminde yararlanmışlar ve YSA'nın daha isabetli tahmin sonucu verdiğini belirlemişlerdir.

Al-Saba & El-Amin (1999); Hamzaçebi ve Kutay (2004); Chang ve diğerleri (2011) ile Jaramillo-Morán ve diğerleri (2013) ise YSA yaklaşımını elektrik enerjisine olan talebin tahmininde kullanmışlardır.

Chen (2000) ile Satır ve Köksal (2006) tahmin hesaplamalarını ARIMA yöntemi üzerinden yapmışlardır. Her iki çalışmanın sonuçlarına göre, model tatmin edici bulunmuştur. ARIMA yöntemine ek olarak YSA modelini kullanan Ergül (2018); Aburto ve Weber (2003: 1076); Al-Saba ve El-Amin (1999) alışmalarında hibrit YSA-ARIMA modelinin gerçeğe daha yakın sonuçlar verdiğini ortaya koymuşlardır.

Bhadouria ve Jayant (2017), ele aldıkları ürünün son 36 aylık satış verilerini, Hareketli Ortalama, Ağırlıklı Hareketli Ortalama, Üstel Düzeltme ve YSA yöntemlerini kullanarak analiz ederek, başarılı talep tahminleri gerçekleştirmiştir.

Hasin ve diğerleri (2011) ile Alon ve diğerleri (2001) alışmalarında Holt Winter ve YSA modellerinin tahminlerindeki doğruluk oranını artırdığını belirtmişlerdir. Ayrıca Alon ve diğerleri (2001) uygulanan tahmin analizleri sonucunda, ikinci dönemde daha istikrarlı makroekonomik koşulların daha düşük hata değerlerine yol açtığını gözlemlemişlerdir.

Carlson ve Umble (1980) Amerika'daki standart ve lüks otomobil kategorilerinde beş farklı tür otomobilin gelecek beş yıllık talep tahminini Çoklu Regresyon yöntemi ile hesaplamış olup, tüketici gelirleri, otomobil fiyatları, benzin fiyatları ve Amerikan otomotiv sanayi işçisi grevlerinin, talebi etkileyen faktörler olduğunu belirlemişlerdir.

Ballı (2014:116) ile Jain ve diğerleri (2001) hesaplamalarını YSA modeli üzerinden gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar, YSA modeline ek olarak Regresyon ve LMRM yöntemlerinden de faydalanmışlar ve YSA modellerinin diğer yöntemlere kıyasla daha isabetli olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Bu örneklerde olduğu gibi, üretim seviyelerinin tahmin edilmesi, süreç optimizasyonu, önleyici bakım faaliyetleri için karar destek sistemi oluşturulması gibi alanlarda tek başına ya da hibrit modellerde sıklıkla YSA'dan faydalanılmaktadır. YSA, karmaşık sistemleri modelleyebilme ve tahmin etme yeteneği sayesinde bu tür problemlerde oldukça etkili sonuçlar vermektedir. Hibrit YSA modeller ise geleneksel yöntemlerle yapılan tahminlerin isabet oranını yükseltmekte başarılı sonuçlar vermektedir. Ayrıca, bu örneklerde görüldüğu gibi, YSA yaklaşımı, verinin yetersiz olduğu durumlarda da alternatif bir yol sunulabilmekte ve sistemin dengesini sağlamak için kullanılabilirliktedir.

Mevcut literatürde, madeni eşya imalat sektöründe talep tahminine odaklanan çalışmalar sınırlıdır ve genellikle geleneksel yöntemlere dayalıdır. Bu çalışmanın, madeni eşya imalat sektöründe sınırlı bir araştırma alanına sahip olan talep tahmini probleminin çözümü için önerdiği sistematik, kapsamlı ve uyarlanabilir tahmin modeliyle, literatürdeki boşluğun kapatılmasına önemli bir katkı sağlaması beklenmektedir. Yapılan bu alışma, YSA'nın kullanım alanı açısından diğer çalışmalardan ayrışmaktadır. Çalışmanın bir diğer farkı ise geçmiş satış verisinin yanı sıra, bir dizi makro ekonomik değişkeni sistematik olarak YSA modeline dahil ederek, alana özgü hibrit bir tahmin modeli ortaya koymasdır.

Tablo 1. Talep tahminine yönelik literatür taraması

<i>Çalışma</i>	<i>Amaç</i>	<i>Yöntem</i>	<i>Bulgular</i>
Carlson ve diğerleri (1980)	Amerika'daki standart ve lüks otomobil kategorilerinde beş farklı tür otomobilin gelecek beş yıllık talep tahminini yapmıştır.	Çoklu Regresyon	Araştırmada, tüketici gelirleri, otomobil fiyatları, benzin fiyatları, benzin kıtlığının piyasaya etkileri ve Amerikan otomotiv sanayi işçilerinin grevlerinin talebi etkileyen faktörler olduğu belirlenmiştir.
Al-Saba ve El-Amin (1999)	Çalışmada, uzun vadeli yük taşımaya ilişkin tahmin analizi yapılmıştır.	YSA, ARIMA	Çalışma sonucunda YSA'nın gerçeğe daha yakın sonuçlar verdiği ortaya konmuştur.
Chen (2000)	Çalışmada, örnek olarak seçilen 3 Amerikan Milli Parkına giriş yapan ziyaretçi sayıları gibi verilerle talep tahminleri yapılmıştır.	ARIMA	Diğer yöntemlere göre daha isabetli tahminler üretmek için ARIMA, hem yıllık hem de sezonluk verilere göre yapılan tahmin sonuçlarında çok iyi performans göstermiştir.
Alon ve diğerleri (2001)	Bu çalışma, trend ve mevsimsel modellere sahip bir zaman serisi olan ABD toplam perakende satışlarını tahmin etmekle ilgilidir.	Winter Üstel Düzeltme, YSA, Çoklu Regresyon	Uygulanan tahmin yöntemleri sonucunda ikinci dönemde daha istikrarlı makroekonomik koşulların daha düşük hata değerlerine yol açtığı görülmüştür.
Jain ve diğerleri (2001)	Hindistan'daki Kanpur Teknoloji Enstitüsü'nde kısa vadeli su talebi için yapay sinir ağları tekniği incelenmiştir.	YSA, Regresyon, LMRM	Yapay sinir ağı modelleri diğer yöntemlere kıyasla daha iyi sonuçlar vermiştir. Ayrıca, Hint Teknoloji Enstitüsü Kanpur kampüsündeki su talebinin yağış yoğunluğundan ziyade yağış oluşumu ile ilişkili olduğu sonucuna varılmıştır.
Aburto ve Weber (2003:1076)	Şili'de bir süpermarket zinciri adına tedarik zincirinde tahmin modeli kurulması amaçlanmıştır.	YSA, ARIMA	Çalışma sonucunda ARIMA ve YSA ile hibrit bir çözüm önerisi getirilmiştir ve talep tahmini çalışmasına farklı bir boyut kazandırmıştır.
Satır ve Köksal (2006)	Çalışmada, entegre tavuk üretimi yapan bir organizasyonun finansal planlaması için talep tahmini yapılmıştır.	ARIMA	Çalışma sonuçlarına göre, model tatmin edici bulunmuş ve bazı küçük düzenlemelerle diğer entegre tavuk üretimi organizasyonlarında da kullanılabileceği önerilmiştir.
Hasin ve diğerleri (2011)	Bangladeş'teki büyük bir zincir markette erişte talebini tahmin etmek için sinir ağı analizi uygulanmıştır.	Holt-Winter, Mevsimsellik, YSA	Araştırma, Holt-Winter yaklaşımındaki hata seviyelerinin, YSA yaklaşımından elde edilenlerden daha yüksek olduğunu buldu. Ayrıca tahmin periyodu küçüldükçe YSA yaklaşımının tahminde daha fazla doğruluk sağladığı gözlemlendi.
Karaatlı ve diğerleri (2012)	Türkiye'de satılan otomobil sayısı tahmin edilmiştir.	YSA	Ekim ve kasım ayları haricinde, hesaplanan tahmin değerlerinin gerçekleşen rakamlara oldukça yakın olduğu bulunmuştur.
Ballı (2014:116)	Bir gıda sektörünün 5 ayı ürünü üzerinden talep tahmini yapılmıştır.	YSA	YSA ile yapılan tahminlerdeki isabet oranı, talepte gözlemlenen dalgalanmalara rağmen oldukça yüksek seviyede gerçekleşmiştir.
Bhadouria ve Jayant (2017)	Şirketin son 3 yılın aylık satış verileri toplanmış ve ardından gelecek yılın talep tahminlerini hesaplanmıştır.	Hareketli Ortalama, Ağırlıklı Hareketli Ortalama, Üstel Düzeltme, YSA	Önerilen YSA modellerini, şirketlerinin ürününün gelecekteki talebini tahmin etmek için kullanabilir olduğunu saptamışlardır.
Arslankaya ve Vildan (2018)	Türkiye'nin önde gelen otomotiv endüstrisi şirketlerinden birinin gelecek aylar için satış sayısını tahmin edilmiştir.	YSA, Çoklu Regresyon	YSA ile yapılan analizlerde, tahmin sonuçlarının oldukça isabetli olduğu görülmüştür.

Tablo 1. (Devamı)

Çalışma	Amaç	Yöntem	Bulgular
Ergül (2018)	Türkiye'de gerçekleşen iş kazalarına yönelik olarak, talep tahmini çalışması gerçekleştirilmiştir.	YSA, ARIMA	Bu YSA modeli ile 2016-2020 dönemi için iş kazalarının artacağı öngörülmüştür
Arslankaya (2019)	Çalışmanın amacını sözü geçen firmanın ev tekstili ürün grubu sevkiyat talep tahmini oluşturmaktadır.	Basit Ortalama, Ağırlıklı Hareketli Ortalama, Trend Analizi ve Mevsimsellik, YSA	YSA yönteminin her bir ölçütte diğer kullanılan tüm yöntemlerden daha iyi sonuçlar verdiği ve talep tahmininde kullanıldığı takdirde daha doğru sonuçlar alınacağı görülmektedir.
Han ve diğerleri (2022)	Yapay zekâ tabanlı tahmin yöntemleri kullanarak Türkiye'deki yeni otomobil satışları tahmin edilmiştir.	YSA, Holt-Winter	Holt-Winters' ile karşılaştırıldığında, YSA yaklaşımının daha isabetli sonuçlar verdiği belirlenmiştir.
Kaya ve diğerleri (2022:1478)	Türkiye genelinde otomobile olan talebin tahmin edilmesi Otomobil satışlarını etkileyen amaçlanmıştır.	YSA, ARIMA, Regresyon	Regresyon sonuçlarına göre, Dolar döviz kuru değişiklikleri, hane halkının finansal durum beklentisi, mevsimsel olarak düzeltilmiş sanayi üretim endeksi ve bir ay önceki otomobil satışlarının logaritmik formu gibi otomobil satışları üzerinde önemli bir etkisi olan değişkenlerin anlamlı olduğu bulunmuştur.

3. YÖNTEM

Yapılan çalışmada, seçilen ürün grubunun geçmiş satış verileri, ilk olarak geleneksel istatistikî yöntemlerden Basit Üstel Düzeltme ve Holt-Winters Eklemeli Mevsimsel modelleri ile analiz edilmiştir. Başlangıç olarak bu iki yöntemin seçilme nedeni, yöntemlerin veri setine olan uygunluğudur. Bir sonraki aşamada, Basit Üstel Düzeltme ve Holt-Winters Eklemeli Mevsimsel yöntemlerinin YSA ile bir araya getirildiği hibrit modeller oluşturulmuştur. Bu modellerde istatistiksel yöntemlerle yapılan analizlerin çıktıları olan geriye dönük tahmin değerleri, YSA modellerinin girdisini oluşturmuştur. YSA modelleri, her seferinde farklı nöral bağlantılar kurduğundan, her YSA modeli beşer kez çalıştırılarak, tahmin değerlerinin ortalamaları alınmıştır. Uygulanan modellere ilişkin hata oranları hesaplanarak en iyi modeller belirlenmiştir. Sonrasında ise belirlenen bu modellerle geleceğe yönelik tahminler yapılmıştır. Çalışma kapsamında yararlanılan yöntemler aşağıda açıklanmıştır.

3.1. Basit Üstel Düzeltme

Bu tahmin yöntemi, tüm tahmin teknikleri arasında en yaygın olarak kullanılanıdır. Bu yöntem, veri deseni yaklaşık olarak yatay olduğunda kullanılır. Gözlenen zaman serisi y_1, y_2, \dots, y_n ise, buna göre basit Üstel Düzeltme denklemi aşağıdaki şekilde ifade edilir (Eşitlik 1).

$$\hat{y}_{i+1} = a y_i + (1 - a) \hat{y}_i \quad (1)$$

Burada y_i , i zaman periyodu için gerçek bilinen dizi değerini, y_i zaman periyodu için değişken Y 'nin tahmin değerini, y_{i+1} ise $i + 1$ zaman periyodu için tahmin değerini ifade ederken, a düzeltme sabitidir. Tahmin y_{i+1} , en son gözlem y_i 'yi a ağırlığıyla ve en son tahmin \hat{y}_i $1-a$ ağırlığıyla hesaplanır (Ostertagová ve Ostertag, 2011).

3.2. Holt-Winters' Eklemeli Mevsimsel Yöntemi

Holt-Winters Eklemeli Mevsimsel modeli, mevsimselliğin toplamsal olarak kabul edilmesi dışında, çarpımsal modellerle aynıdır. Bu, her bir veri ögesi için tahmin edilen değer taban çizgisi, eğilim ve mevsimsellik bileşenlerinin toplamı olduğu anlamına gelir. Birbirini takip eden c dönem için mevsimsellik bileşenlerinin toplamı yaklaşık olarak 1'dir. (Hyndman ve Athanasopoulos, 2021: 39). Yönteme ait denklemler Eşitlik 2-4'te verilmiştir.

$$u_i = \alpha(y_i - s_{i-c}) + (1 - \alpha)(u_{i-1} + v_{i-1}) \quad (2)$$

$$v_i = \beta(u_i - u_{i-1}) \quad (3)$$

$$s_i = \gamma(y_i - u_i) + (1 - \gamma)s_{i-c} \quad (4)$$

Burada kullanılan sabitler 0 ile 1 arasındadır ($0 \leq \alpha \leq 1$, $0 \leq \beta \leq 1$ ve $0 \leq \gamma \leq 1$) ve y_i 'nin tahminleri Eşitlik 5'teki gibidir.

$$\hat{y}_i = u_{i-1} + v_{i-1} + s_{i-c} \quad (5)$$

Gelecek dönemlere ait tahminler için aşağıdaki Eşitlik 6 ve 7 kullanılır.

$$\hat{y}_{i+h} = u_i + hv_i + s_{i+h-ch} \quad (6)$$

$$h' = \text{INT}\left(\frac{h-1}{c}\right) + 1 \quad (7)$$

3.3. Yapay Sinir Ağları (YSA)

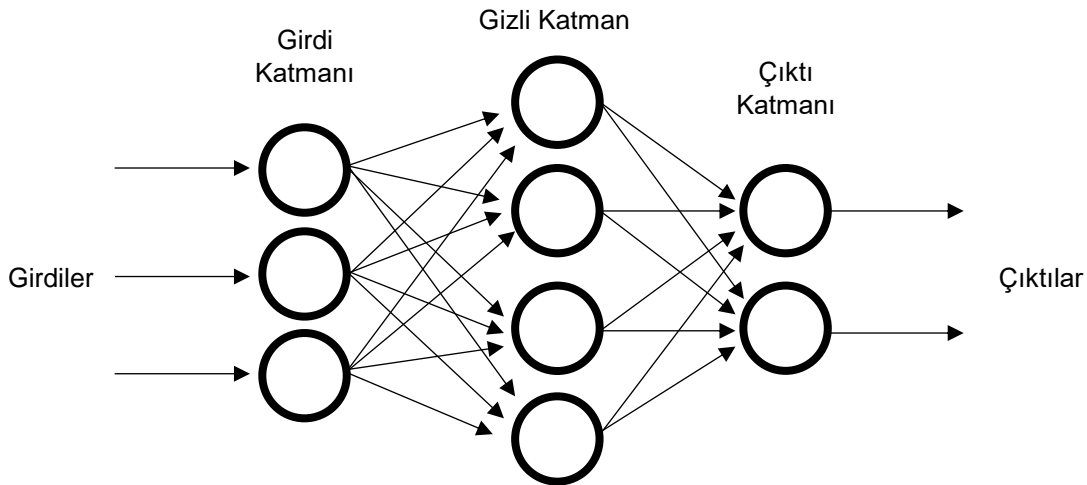
İlk olarak 1943 yılında McCulloch ve Pitts (1943) tarafından önerilmiş olan yapay sinir ağları, insan beyninde bulunan sinir hücrelerinin çalışmasını taklit eden, birbirine bağlı düğümlerden oluşan yapılardır. YSA modelleri, geleneksel yaklaşımlarla çözümü güç olan tanıma, optimizasyon, kontrol, ve tahmin gibi, girdilerle çıktılar arasındaki ilişkinin karmaşık olduğu problemlerin çözümünde oldukça başarılı sonuçlar vermektedir (Çoban ve Demir, 2021; Elmas, 2016).

YSA modelleri biyolojik sinir ağlarından ilham alan modellerdir ve çok sayıda girdiye bağlı olabilen ve genellikle bilinmeyen işlevleri tahmin etmek için kullanılır. Düğümlerin giriş katmanından, bir veya daha fazla gizli katmandan ve düğümlerin çıkış katmanından oluşurlar. İleri yayımlı ağlar (Feed Forward), geri yayımlı ağlar (Back Propagation Networks), radyal temel işlevler (Radial Basis Functions), Kohonen kendini düzenleyen ağlar (Kohonen Self Organizing Networks) vb. gibi farklı sinir ağları türleri vardır.

İleri yayımlı ağlardaki işlemci bileşenleri tipik olarak katmanlara ayrılır. Tek yönlü bağlantılar, giriş katmanından çıkış katmanına sinyal göndermek için kullanılır. İşleme bileşenleri aynı katman içinde bağlanmazlar, ancak bir katmandan diğerine bağlanırlar. Çok katmanlı algılayıcı (MLP) ve sayısallaştırılmış öğrenme vektörü (LVQ) ağları, ileri yayımlı ağlara örnektir. Sıklıkla kullanılan çok katmanlı algısal sinir ağları (MLP), bir girdiye, bir veya daha fazla gizli katmana ve bir çıktı katmanına sahiptir. Veriler, ileri yayımlı sinir ağı giriş katmanında işlenmeden bir sonraki katmana iletilir. Sistem veya tasarımcı, tamamen uygulanan problemlere girdi miktarına bağlı olarak, gizli katmandaki işlenecek parça miktarını seçebilir. Deneme yanılma, gizli katmandaki ara katman miktarını ve ara katmandaki işlemci bileşenlerinin miktarını belirlemek için de kullanılabilir (Shaik ve Verma, 2020). Bu çalışmada MLP temelli ileri yayımlı YSA analizleri uygulanmıştır. Eşitlik 8, çok katmanlı algılayıcı sinir ağına herhangi bir nöron çıktısını nasıl formüle ettiğini göstermektedir (Ballı, 2014:78).

$$Y_j = f\left(\sum_i w_{ij}X_{ij}\right) \quad (8)$$

Burada Y_j , j düğümünün çıktısıdır, f transfer fonksiyonudur, w_{ij} , alt katmandaki j düğümü ile i düğümü arasındaki bağlantı ağırlığıdır ve X_{ij} , alt katmandaki i düğümünden j düğümüne giriş sinyalidir. YSA modellemesinde, belirli bir zaman serisine ait geçmiş veriler girdi verileri, çıktılar ise tahmin edilen veriler olacaktır (Vhatkar ve Dias, 2016). İleri yayımlı YSA'nın yapısı Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. İleri yayımlı yapay sinir ağı modeli

3.4. Tahmin Hatalarının Ölçülmesi

Tahmin yöntemlerinin doğruluğunu belirlemek ve bu yöntemleri birbirleriyle karşılaştırmak için tahmin hata paylarının ölçülmesi gerekir. Hata paylarının ölçümünde sıklıkla yararlanılan temel yöntemler,

ortalama mutlak hata yüzdesi (MAPE), ortalama hata kareleri (MSE) ve ortalama mutlak hata (MAD) yaklaşımlarıdır. Bu yöntemlerin arasında, hatanın yüzdesel olarak ifade edilmesine olanak veren ve tahmin çalışmalarının isabet oranını göstermekte yaygın olarak kullanılan MAPE hesaplamaları kullanılmıştır. Bunun yanında, yapılan tahminlerin doğruluğunu teyit etmek amacıyla en iyi yöntemlerin hata hesaplamalarında MSE yönteminden de yararlanılmıştır. MAPE hesabının Eşitlik 9'da verilmiştir (Krajewski ve diğerleri, 2010: 291).

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{|A_t - F_t|}{A_t}}{n} \times 100 \quad (9)$$

Ortalama hata kareleri (MSE) yaklaşımında ise her hatanın veya kalanın karesi alınarak toplanır ve gözlem sayısına eklenir. MSE yönteminin formülü Eşitlik 10'daki gibidir (Prayudani ve diğerleri, 2019). Burada; A_t gerçek veri, F_t tahmin değeri ve n ise veri miktarıdır.

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^n |A_t - F_t|^2}{n} \quad (10)$$

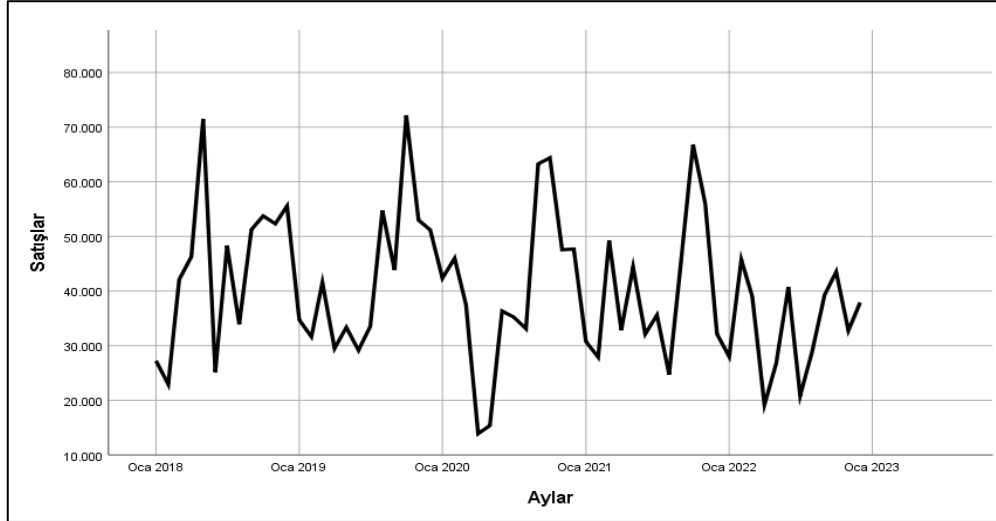
4. BULGULAR

Araştırmanın uygulama bölümünde madeni eşya imalatçısı bir firmanın ürettiği bir ürün grubunun satış verileri temel alınmıştır. Söz konusu firma, 120 çalışanı ile toplam 70.000 m^2 büyüklüğündeki çalışma sahasında faaliyet göstermekte olup, kendi sektöründe orta-büyük üreticiler arasında bulunmaktadır. Satışı yapılan ürün grubunun belirlenmesinde satış hacminin büyüklüğü göz önünde bulundurulmuştur. Bu kapsamda söz konusu ürün grubunun 2018-2022 yılları arasındaki 60 aylık satış verisi, ilgili firmanın satış gerçekleşme raporlarından alınarak analiz edilmiştir.

Tablo 2. Ürün grubunun geçmiş satış verileri

Satış Periyodu	Satış Verisi	Satış Periyodu	Satış Verisi	Satış Periyodu	Satış Verisi
Ocak 2018	27.224	Ocak 2020	42.361	Ocak 2022	27.997
Şubat 2018	22.917	Şubat 2020	45.988	Şubat 2022	45.745
Mart 2018	42.091	Mart 2020	37.541	Mart 2022	38.959
Nisan 2018	46.280	Nisan 2020	13.886	Nisan 2022	19.214
Mayıs 2018	71.497	Mayıs 2020	15.387	Mayıs 2022	26.772
Haziran 2018	25.149	Haziran 2020	36.333	Haziran 2022	40.739
Temmuz 2018	48.313	Temmuz 2020	35.218	Temmuz 2022	20.841
Ağustos 2018	33.908	Ağustos 2020	33.095	Ağustos 2022	29.052
Eylül 2018	51.231	Eylül 2020	63.254	Eylül 2022	39.234
Ekim 2018	53.740	Ekim 2020	64.387	Ekim 2022	43.523
Kasım 2018	52.307	Kasım 2020	47.563	Kasım 2022	32.761
Aralık 2018	55.551	Aralık 2020	47.674	Aralık 2022	37.912
Ocak 2019	34.715	Ocak 2021	30.733		
Şubat 2019	31.627	Şubat 2021	27.898		
Mart 2019	41.572	Mart 2021	49.264		
Nisan 2019	29.502	Nisan 2021	32.810		
Mayıs 2019	33.349	Mayıs 2021	44.408		
Haziran 2019	29.156	Haziran 2021	32.125		
Temmuz 2019	33.510	Temmuz 2021	35.597		
Ağustos 2019	54.742	Ağustos 2021	24.713		
Eylül 2019	43.837	Eylül 2021	45.985		
Ekim 2019	72.110	Ekim 2021	66.783		
Kasım 2019	52.987	Kasım 2021	55.990		
Aralık 2019	51.183	Aralık 2021	32.125		

Tablo 2'deki tarihsel satış verileri incelendiğinde satışlarda mevsimsellik etkisinin olduğu ve özellikle her yılın Ekim ayında satışların tepe noktasına ulaştığı söylenebilir. Şekil 2'deki grafik yardımı ile görselleştirilen veriler, satışlardaki mevsimsel dalgalanmayı net olarak göstermektedir.



Şekil 2. Ürün grubunun geçmiş satış grafiği

Ürün grubunun geçmiş satış grafiğine göre, 2018 yılının ikinci çeyreğinde talep bir sıçrama göstermiş, aynı yılın üçüncü çeyreğinde ise yine bir yükseliş yaşanmıştır. Takip eden diğer yılların üçüncü çeyreklerinde yine yükseliş görülmüştür. Grafikte bir diğer dikkat çeken nokta ise 2020 yılının ilk çeyreğinde talebin keskin bir düşüş göstermesidir. Bu durumun seçilen ürün grubunu oluşturan kurutmalık ve platform merdiven ürünlerinin yaz dönemlerinde kullanımlarının artmasından kaynaklandığı söylenebilir. Geçmiş satış verilerinin analizinde SPSS 25.0 programından yararlanılmıştır.

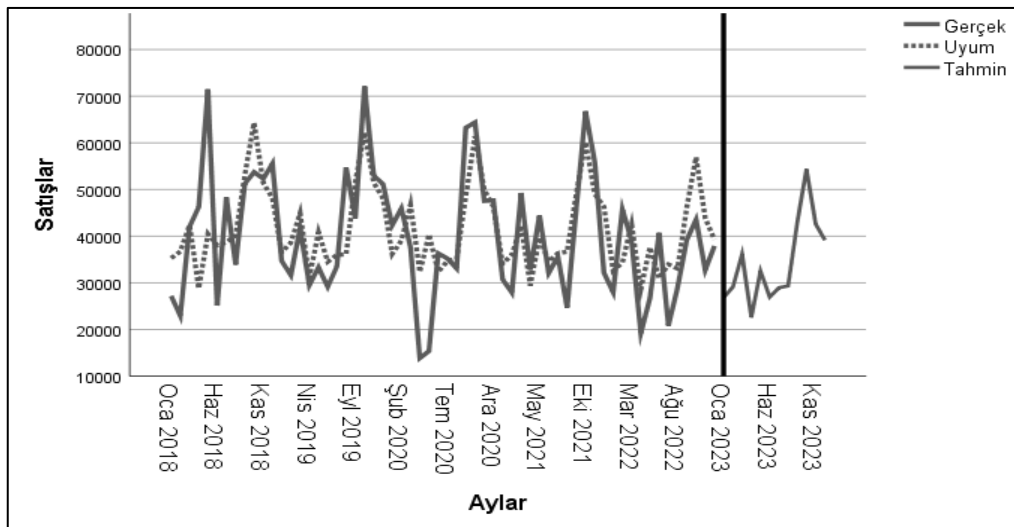
4.1. Geleneksel Zaman Serisi Modelleri

Analiz sonuçlarına göre veriye en uygun modellerin "Basit Üstel Düzeltme ve Holt-Winters' Eklenebilir Mevsimsel" geleneksel yöntemleri olduğu belirlenmiştir.

Tablo 3. Basit üstel düzeltme yöntemi sonuçları

Model	Model Uyum İstatistikleri					
	Durağan R^2	R^2	MSE	MAPE	MAE	MaxAPE
Basit Üstel Düzeltme	0,795	0,449	97784469	23,343	7601,438	162,595

Geleneksel yöntemlerden, Basit Üstel Düzeltme yöntemi, geçmiş verilerin tahmininde ne kadar başarılı olduğu test edilmiş olup, %23,343 MAPE değeri ve 97784469 MSE değeri elde edilmiştir. Daha sonra, bu model kullanılarak gelecekteki 12 ayın talebi tahmin etmek için kullanılmıştır. Bu tahmin sonuçlarına dayanarak, bu şirketin talebi hakkında bilgi edinilmiştir. Şekil 3'teki grafik, tahmin edilen değerler ile gerçekleşen satışlar arasındaki uyumluluğu ifade eder.



Şekil 3. Basit üstel düzeltme modeli ile talep tahmini

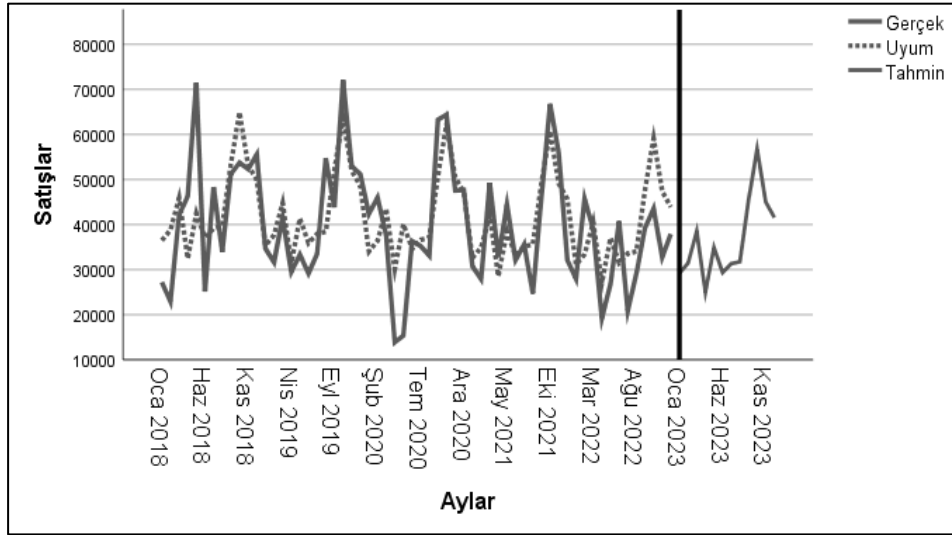
Şekil 3'teki Basit Üstel Düzeltme ile tahmin grafiğine göre, 2018 yılındaki uyum verileri, gerçekleşmiş verilere oranla daha yüksek tahmin yapma eğiliminde olduğu görülmektedir. Ancak, modelin 2019 yılından sonraki uyum verileri, gerçekleşen verilere oldukça yakın olduğu ve özellikle 2020-2021-2022 yılları arasında yüksek isabetle tahmin ettiği görülmektedir. Diğer yandan mevsimselliğin yapılan bu tahmin çalışmasındaki önemi grafikten de anlaşılacağı üzere gözle görülür seviyededir.

Sonraki adımda geçmiş satış verileri Holt-Winters' Eklemlenmiş Mevsimsel tahmin yöntemi ile analiz edilmiş ve sonuçlar Tablo 4'te verilmiştir. Tablo 4'e göre, Holt-Winters' Eklemlenmiş Mevsimsel tahmini %23,049 MAPE oranı ile 94558665 MSE değeri vermiştir.

Tablo 4. Holt-Winters' eklemlenmiş mevsimsel yöntemi sonuçları

Model	Model Uyum İstatistikleri					
	Durağan R^2	R^2	MSE	MAPE	MAE	MaxAPE
Holt-Winters Eklemlenmiş Mevsimsel	0,801	0,476	94558665	23,049	7527,415	160,681

Geleneksel istatistikî yöntemlerden, Holt-Winters' Eklemlenmiş Mevsimsel metodu ile yapılan analizlerden elde edilen gelecek 12 ayın talep tahmini ve tahmin-gerçekleşen değerlerin uyumu Şekil 4'te gözlemlenebilir. Buna göre Holt-Winters Eklemlenmiş Mevsimsel modelinin talepteki dalgalanmaları başarılı bir şekilde yansıttığı söylenebilir.



Şekil 4. Holt-Winters eklemlenmiş mevsimsel modeli ile talep tahmini

4.2.Yapay Sinir Ağları Modeli

Çalışmanın bir sonraki aşamasında, "Basit Üstel Düzeltme ve Holt-Winters' Eklemlenmiş Mevsimsel" yöntemleri ile yapılan geriye dönük satış tahminlerinin tek tek bağımsız değişken olarak kullanıldığı hibrit YSA modelleri elde edilmiştir. Bu şekilde iki ayrı yöntem için iki ayrı YSA modeli oluşturulmuş ve her bir modelin girdisini, kullanılan istatistiksel yöntemle yapılmış olan tahmin değerleri oluşturmuştur. Bunlara ek olarak bu iki yöntemin ikisinin beraber dahil edildiği üçüncü bir model oluşturulmuştur. Bu şekilde YSA ile güçlendirilmiş yeni hibrit modellerin çıktılarında daha isabetli tahmin değerlerine ulaşılmıştır. Basit Üstel Düzeltme yönteminin MAPE oranı %23,343 iken, Hibrit YSA-Basit Üstel Düzeltme modelinin MAPE değeri %22,85'e gerilemiştir. Benzer şekilde Hibrit YSA-Holt-Winters' yöntemi %21,45 MAPE oranı ile Holt-Winters' yönteminin %23,049 MAPE değerinden daha isabetli bir sonuca ulaşmıştır. Her iki yöntemin beraber kullanıldığı Hibrit YSA-Basit Üstel Düzeltme-Holt Winters' modeli ise %23,12 MAPE oranı vermiştir.

Sonraki adımda ise tahmin sonucunu etkileyebilecek dışsal değişkenler, literatür taraması ve uzman görüşlerine dayanarak belirlenmiş ve bu değişkenler sistematik olarak YSA modellerine dahil etmiştir. Çeşitli makroekonomik değişkenler ön analizden geçirilerek, mevcut veri setine en fazla etkisi olan değişkenler aşağıdaki şekilde belirlenmiştir:

- Sanayi Üretim Endeksi (2015=100) (TÜİK)(Aylık) İmalat sanayi (Bin TL)- Düzey (İSÜE)
- İmalat Sanayi Kapasite Kullanım Oranı (%) (NACE REV.2) (Aylık) İmalat Sanayi Kapasite Kullanım Oranı- Düzey (İSKKO)
- Kurlar-Reel Efektif Döviz Kuru-Yİ-ÜFE Bazlı (2003=100) (Aylık) (REDK)

- GSYİH-İktisadi Faaliyet Kollarına (A10) Göre-Zincirlenmiş Hacim (TÜİK) (Bin TL) (Üç Aylık) (GSYİH)

Yukarıda listelenen İSÜE, İSKKO, REDK ve GSYİH değişkenleri tek tek ve diğer dışsal değişkenlerle beraber, bir önceki adımda kurulmuş olan Hibrit YSA-Basit Üstel Düzeltme ve Hibrit YSA-Holt-Winters' ve Hibrit YSA-Basit Üstel Düzeltme-Holt-Winters' modellerine yeni girdiler olarak sistematik bir şekilde eklenmiştir.

Girdi ve çıktı katmanlar arasında eğitim-test dağılımı ve YSA modellerinin oluşturduğu gizli katmanların her çıktı sonucunda farklı bağlantılar kurması sebebiyle, modellerin her biri beşer kez çalıştırılmış ve her bir tekrarın hata değeri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Elde edilen hata değerlerin ortalamaları alınarak, sıralamalar oluşturulmuş olup, bu şekilde analizlerin güvenilirliği artırılmıştır.

Literatürde, YSA yaklaşımı ile yapılan pek çok çalışmada eğitim-test verisi yüzdelerinin %70-%30 oranlarında kullanılması ile optimum sonuçlar elde edilmiştir (Faraji, 2020; Calp, 2019; Sönmez ve Zengin, 2019; Alduailij, 2021; Huang, 2023). Bu sebeple, bu çalışmadaki YSA modellerinde de aynı eğitim-test oranları kullanılmıştır. Kurulan tüm modellerin çıktılarından elde edilen tahminlere ilişkin hata oranları Tablo 5'te listelenmiştir.

Tablo 5'te verilen sonuçlar incelendiğinde, oluşturulan hibrit YSA modellerinin büyük çoğunluğunun geleneksel yöntemlere kıyasla daha düşük hata oranı verdiği gözlemlenmektedir. İstatistiksel modellerin çıktılarının kullanıldığı modellere yeni dışsal değişkenlerin eklenmesi ile elde edilen Hibrit YSA modellerinin hata oranlarının, birkaç model haricinde, farklı oranlarda iyileştiği ve daha isabetli tahmin sonucu verdiği gözlemlenmiştir. Yukarıdaki tahmin sonuç tablolarına bakılarak, 6 farklı hibrit YSA modelinin %20'nin altında MAPE oranı ile daha iyi tahminlerde bulunduğu tespit edilmiştir. Bu modellerin hata oranları yine beşer kez MSE yöntemi ile hesaplanarak sonuç tablosuna eklenmiştir. Buna göre isabetli tahmin değerini veren ilk altı Hibrit YSA modeli Tablo 6'da listelenmiştir.

Tablo 6'ya göre, en başarılı modellerin ortak özelliğinin, hepsinin Reel Efektif Döviz Kuru ve Sanayi Üretim Endeksi dışsal değişkenlerini içermesi olduğu söylenebilir. Tüm sonuçlar birbirine oldukça yakın çıkmakla beraber, mevcut ürün grubu için en isabetli tahmin sonucunu veren model, %18.01 MAPE oranı ve 61549127 MSE değeri ile Holt Winters' Eklemeli Mevsimsel yöntemi ile Reel Efektif Döviz Kuru ve Sanayi Üretim Endeksini temel alan Hibrit YSA modelidir.

Tablo 5. Hibrit YSA modellerinin hata oranları

<i>Yöntem</i>	<i>Dışsal Değişkenler</i>	<i>MAPE (Ortalama)</i>
Basit Üstel Düzeltme		22,85
	SÜE	21,54
	İSKKO	20,70
	REDK	22,05
	İSKKO, SÜE	21,10
	İSKKO, REDK	21,30
	REDK, SÜE	23,84
	İSKKO, REDK, SÜE	21,19
	GSYİH	22,00
	SÜE, GSYİH	20,68
	İSKKO, GSYİH	21,44
	REDK, GSYİH	23,20
	İSKKO, SÜE, GSYİH	22,63
	İSKKO, REDK, GSYİH	20,59
	REDK, SÜE, GSYİH	18,85
	İSKKO, REDK, SÜE, GSYİH	19,52
Holt-Winters' Ekllemeli Mevsimsel		21,45
	SÜE	21,38
	İSKKO	22,86
	REDK	23,58
	İSKKO, SÜE	21,73
	İSKKO, REDK	20,20
	REDK, SÜE	18,01
	İSKKO, REDK, SÜE	19,86
	GSYİH	21,11
	SÜE, GSYİH	21,08
	İSKKO, GSYİH	22,47
	REDK, GSYİH	22,14
	İSKKO, SÜE, GSYİH	22,95
	İSKKO, REDK, GSYİH	21,74
	REDK, SÜE, GSYİH	20,70
	İSKKO, REDK, SÜE, GSYİH	22,61
Basit Üstel Düzeltme, Holt-Winters' Ekllemeli Mevsimsel		23,12
	SÜE	20,75
	İSKKO	20,63
	REDK	21,04
	İSKKO, SÜE	22,63
	İSKKO, REDK	21,10
	REDK, SÜE	19,72
	İSKKO, REDK, SÜE	19,48
	GSYİH	21,19
	SÜE, GSYİH	21,34
	İSKKO, GSYİH	22,35
	REDK, GSYİH	20,86
	İSKKO, SÜE, GSYİH	22,01
	İSKKO, REDK, GSYİH	21,33
	REDK, SÜE, GSYİH	20,27
	İSKKO, REDK, SÜE, GSYİH	20,19

Tablo 6. Hata oranı %20'nin altındaki hibrit YSA modelleri

Yöntem	Dışsal Değişkenler	MAPE (Ortalama)	MSE (Ortalama)
Holt-Winters' Ekleneleli Mevsimsel	REDK, SÜE	18,01	61549127
Basit Üstel Düzeltme	REDK, SÜE, GSYİH	18,85	72561725
Basit Üstel Düzeltme, Holt-Winters' Ekleneleli Mevsimsel	İSKKO, REDK, SÜE	19,48	72270607
Basit Üstel Düzeltme	İSKKO, REDK, SÜE, GSYİH	19,52	75369302
Basit Üstel Düzeltme, Holt-Winters' Ekleneleli Mevsimsel	REDK, SÜE	19,72	74342669
Holt-Winters' Ekleneleli Mevsimsel	İSKKO, REDK, SÜE	19,86	69828252

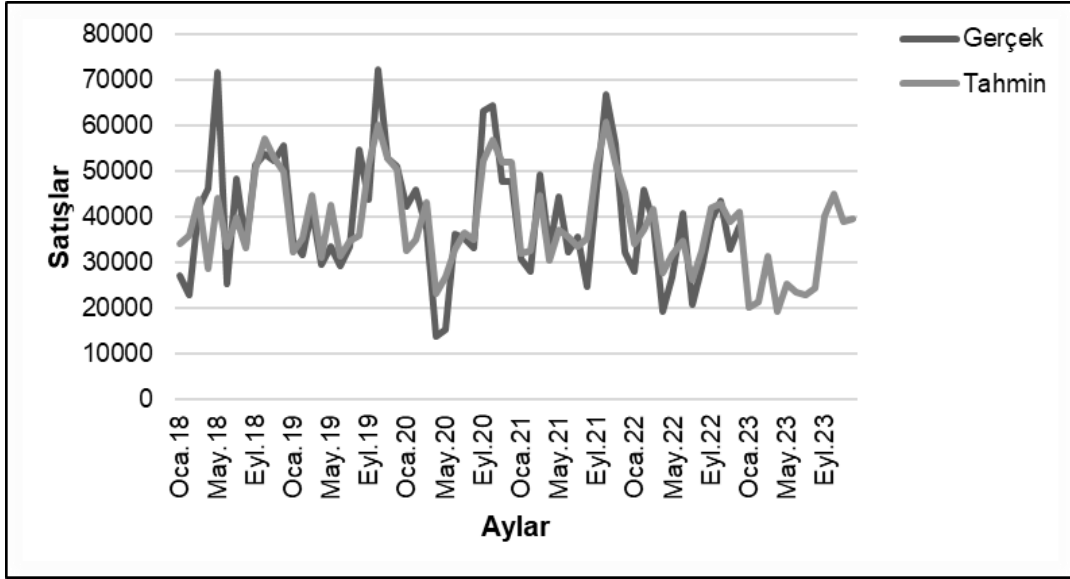
Ürün grubunun satışlarını en isabetli tahmin eden modellerin belirlenmesinin ardından, bu modeller geleceğe yönelik talebin tahmin edilmesinde kullanılmıştır. Tablo 7 en iyi tahmin sonucu veren, 6 Hibrit YSA modelinin, 2023 yılına yönelik 12 aylık talep tahminlerini göstermektedir.

Tablo 7. Hata oranı %20'nin altındaki hibrit YSA modelleri ile 2023 yılı tahminleri

Satış Dönemi	Holt-Winters' Ekleneleli Mevsimsel (REDK, SÜE)	Basit Üstel Düzeltme (REDK, SÜE, GSYİH)	Basit Üstel Düzeltme, Holt-Winters' Ekleneleli Mevsimsel (İSKKO, REDK, SÜE)	Basit Üstel Düzeltme (İSKKO, REDK, SÜE, GSYİH)	Basit Üstel Düzeltme, Holt-Winters' Ekleneleli Mevsimsel (REDK, SÜE)	Holt-Winters' Ekleneleli Mevsimsel (İSKKO, REDK, SÜE)
Ocak	20.240	24.101	26.036	27.500	32.446	24.261
Şubat	21.302	24.083	26.783	28.856	33.922	24.832
Mart	31.435	29.899	30.008	32.440	36.345	30.322
Nisan	19.208	25.235	24.530	27.303	31.086	23.705
Mayıs	25.159	25.899	27.430	27.742	34.596	28.055
Haziran	23.485	27.254	26.036	29.434	32.612	25.435
Temmuz	23.000	25.221	26.689	27.881	33.510	25.463
Ağustos	24.318	25.842	27.112	27.571	32.962	26.141
Eylül	40.115	36.419	36.556	38.344	41.301	38.373
Ekim	45.031	45.882	46.810	48.381	48.677	46.797
Kasım	39.061	34.694	34.973	33.918	39.867	36.705
Aralık	39.474	33.788	33.832	31.972	38.664	36.002

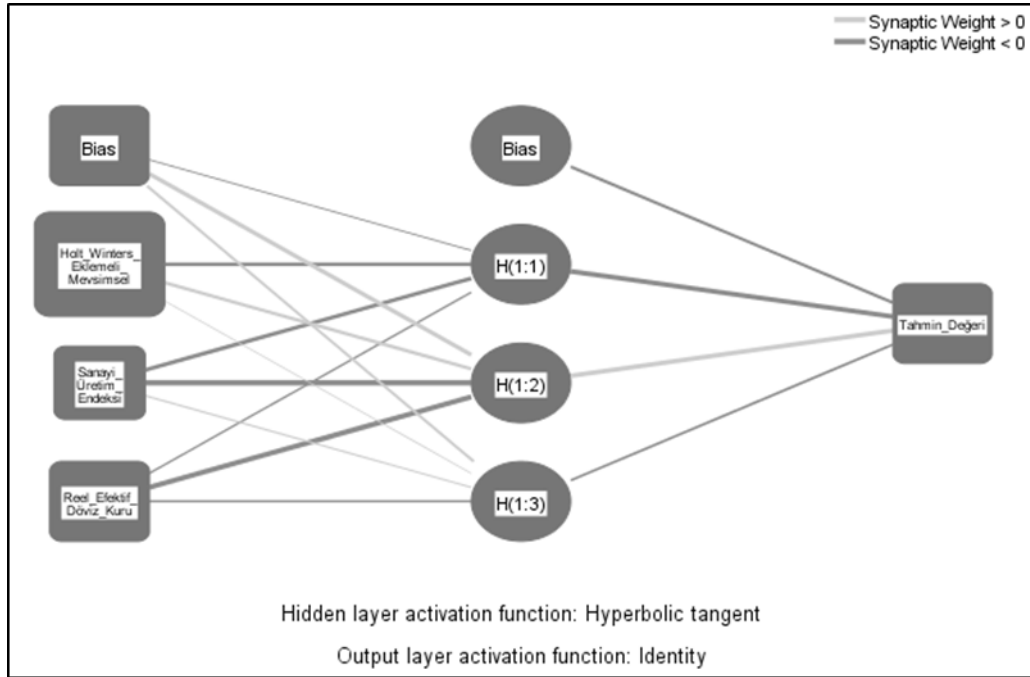
Not: Başlangıç öğrenme hızı: 0,4; öğrenme hızının alt sınırı: 0,001, döngülerde öğrenme oranı azalması:10, momentum: 0,9; aralık merkezi: 0 aralık ofseti: +/-0,5

Tablo 7'de gelecek aylara yönelik tahmin değerleri sıralanan modeller arasında, en isabetli sonucu veren Hibrit YSA-Holt Winters'-REDK-SÜE modeline ait tahminler Şekil 5'deki grafik yardımı ile görselleştirilmiştir. Şekil 5'te gerçek satış verileri ile geçmiş tahminlerin uyumu ve gelecek 12 aya yönelik tahminler grafik üzerinde izlenebilir.



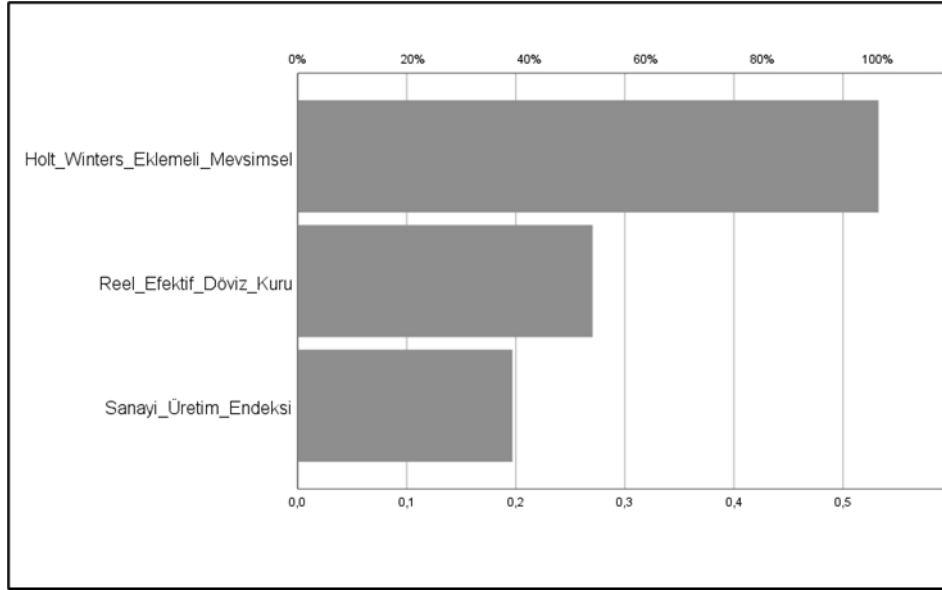
Şekil 5. Holt-Winters eklemeli mevsimsel modeli ile talep tahmini

Şekil 5'e göre, Hibrit YSA-Holt Winters'-REDK-SÜE modelinin oldukça başarılı bir sonuç ortaya koyduğu söylenebilir. Özellikle, 2019 yılından sonraki tahmin verileri ile gerçekleşen veriler arasında uyumun arttığı görülmektedir. Kurulan modelin yapısı Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Çok katmanlı Hibrit YSA-Holt Winters'-REDK-SÜE modelinin yapısı

Hibrit YSA-Holt Winters'-REDK-SÜE modelinin yapısı incelendiğinde, Holt Winters' yöntemi tahminleri, Reel Efektif Döviz kuru ve Sanayi Üretim Endeksi olmak üzere üç ayrı girdiye sahip olduğu görülmektedir. Bu girdiler ile modelin çıktısı olan tahmin değerleri 3 gizli katmanlı ileri beslemeli bir sinir ağı yapısı ile birbirine bağlanmıştır. Modeli oluşturan girdilerin modelin çıktısına olan etkileri, diğer bir deyişle model için önem dereceleri farklı düzeylerde. Şekil 7, bu bağımsız değişkenlerin önem analizi sonuçlarını gösterir.



Şekil 7. Bağımsız değişken önem analizi

Şekil 7’de verilen grafiğe göre, Holt-Winters’ Eklemeli Mevsimsel tahminlerinin tüm bağımsız değişkenler arasında en yüksek öneme sahip olduğu görülmektedir. Reel Efektif Döviz Kurunun modele etkisi daha düşük seviyede olup, en az önemli değişken ise Sanayi Üretim Endeksi olarak belirlenmiştir.

5. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Ürüne olan talebin isabetli olarak tahmin edilmesi, üretim planlama, stok yönetimi, kaynak kullanımı, maliyet kontrolü ve genel karlılık açısından, şirketlerin tedarik zinciri süreçlerinin verimliliğini önemli ölçüde etkiler (Korucuk ve Tatlı, 2017). Diğer imalat sektörlerinde olduğu gibi, Madeni Eşya İmalat sektörünün karlılığının ve sürdürülebilirliğinin sağlanması için talep tahmininin doğruluğu büyük önem taşımaktadır. Bu doğrultuda bu çalışma kapsamında, Madeni Eşya İmalat sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin üretmekte olduğu bir ürün grubuna yönelik talep tahmini modelleri geliştirilmiştir. Bu çalışmanın amacı, Madeni Eşya İmalat sektörüne yönelik kısıtlı uygulama örneği bulunan literatüre bir katkı sağlamak ve diğer yandan sektör liderlerine stratejik planlama çabalarında yardımcı olacak analitik bir karar aracı sunmaktır.

Çalışmada, ele alınan ürün grubunun gelecekteki talebini tahmin etmek amacı ile, o ürün grubunun 2018-2022 periyodunda gerçekleşmiş olan 60 aylık satış verisi kullanılmıştır. Bu veriler, SPSS 25.0 programı ile analiz edilmiştir. Analizlerde veri setine en uygun istatistiksel tahmin yöntemleri olarak Basit Üstel Düzeltme ve Holt-Winters’ Eklemeli Mevsimsel yöntemleri belirlenmiş ve bu yöntemlerle yapılan tahminlerin, çeşitli dışsal değişkenlerle YSA aracılığı ile bir araya getirildiği hibrit tahmin modelleri oluşturulmuştur.

Literatürde kullanılan yöntemlerin tek başına ve YSA ile tahmin amaçlı kullanıldığı farklı çalışmalar bulunmaktadır. Karaatlı ve diğerleri, (2012); Kaya ve diğerleri, (2022:1478); Arslankaya ve Vildan (2018); Han ve diğerleri, (2022) çalışmalarında YSA tahmin modelinden yararlanırken, Hasin ve diğerleri, (2011); Alon ve diğerleri, (2001); Han ve diğerleri, (2022), Holt Winters’ ve YSA’dan oluşan hibrit modelleri tercih etmişlerdir. Bhadouria ve Jayant, (2017), Üstel Düzeltme ve YSA yöntemlerini beraber kullandığı hibrit bir modelden faydalanmıştır.

Yapılan çalışmada ilk olarak Basit Üstel Düzeltme ve Holt-Winters’ Eklemeli Mevsimsel yöntemleri tek başlarına kullanılmış ve sırasıyla %23.343 ve %23.049 hata oranları vermiştir. Daha sonra bu yöntemlerle elde edilen tahminler YSA modelinde analiz edilerek iyileştirilmeye çalışılmıştır. Son aşamada ise, Sanayi Üretim Endeksi, İmalat Sanayi Kapasite Kullanım Oranı, Reel Efektif Döviz Kuru ve GSYİH değişkenleri modellere kademeli olarak dahil edilerek en iyi modeller belirlenmeye çalışılmıştır.

Literatürde makro ekonomik göstergeleri içeren dışsal değişkenlerin tahmin modellerinde kullanımının çeşitli örnekleri bulunmaktadır. Karaatlı ve diğerlerinin tahmin çalışması, (2012), tüketici güven endeksi reel kesim güven endeksi, gayri safi yurt içi hasıla, yatırım harcamaları, tüketim harcamaları, dolar kuru değişkenlerini kapsarken; Kaya ve diğerlerinin çalışması, (2022:1478), sanayi üretim endeksi, hane halkının finansal durum beklentisi ve döviz kuru değişkenlerini içermektedir. Han ve diğerlerinin gerçekleştirmiş olduğu 2022 tarihli analizlerde gayri safi yurt içi hasıla, döviz kuru, reel kesim tüketici güven endeksi ve tüketici güven endeksi gibi dışsal değişkenler, YSA tahmin modelinde bağımsız değişken olarak

kullanılmıştır. Bunların yanında imalat sanayi kapasite kullanım oranı değişkeni ise firma ile yapılan uzman görüşmelerinden hareketle, tahmin sonucunu etkileyebileceği gerekçesi ile analizlere dahil edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında yapılan analizlerde geleneksel istatistik yöntemlerinin tek tek kullanıldığı hibrit YSA modellerinin hata oranları “Basit Üstel Düzeltme” modeli için %22,85 ve “Holt-Winters’ Eklemeli Mevsimsel” modeli için ise %21,45 düzeyindedir. Bu iki istatistiksel metodun tek tek ve bir arada olmak üzere, toplam 4 ayrı dışsal değişkeninin bütün olası kombinasyonları ile beraber analiz edilerek, toplamda 48 Hibrit YSA modeli kurulmuştur. Bunların arasında en düşük hata oranına sahip model, %18,01 ile “Holt-Winters’ Eklemeli Mevsimsel” yöntemi ile “Reel Efektif Döviz Kuru” ve “İmalat Sanayi Üretim Endeksi” dışsal değişkenlerinin kullanıldığı Hibrit YSA-Holt Winters’-REDK-SÜE modelidir.

Bu çalışmada ele alınan veriler, talebi nispeten stabil olduğu belirlenen ürün grubunun 2018-2022 arasındaki beş yıllık satışlarını içermektedir. Ele alınan zaman periyodu Covid-19 salgının tepe yaptığı dönemlerin verilerini de içermektedir. Salgının etkisinin giderek azaldığı veya tamamen ortadan kalktığı gelecek dönemlerin satış verilerinin mevcut modellere eklenerek analizlerin yinelenmesinin, tahminlerdeki isabet oranını artırması beklenmektedir. Buna ek olarak gelecekteki çalışmalar, farklı ürün grupları ve farklı sektörlerle uyulanabilir.

Yazar Katkıları / Author Contributions

Tuğba Sarı: Kavramsallaştırma, Metodoloji, Makale Yazımı-inceleme ve düzeltme Sermet Rıza Şensoy: Veri Derleme, Analiz Adem Enes Nurbaki: Veri Derleme, Literatür Taraması, Makale yazımı-rijinal taslak İsmet Alperen Ağaç: Veri Derleme, Literatür Taraması
Tuğba Sarı: Conceptualization, Methodology, Writing-review and editing Sermet Rıza Şensoy: Data Curation, Analysis Adem Enes Nurbaki: Data Curation, Literature Review, Writing-original draft; İsmet Alperen Ağaç: Data Curation, Literature Review

Çatışma Beyanı / Conflict of Interest⁴

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

Fon Desteği / Funding

Bu çalışma, TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Desteği Programı, 2022 Yılı 2. Dönemi kapsamında desteklenmiştir.
This study was supported by TÜBİTAK-2209-A University Students Research Projects Support Program, 2nd Semester of 2022.

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

- Aburto, L. ve Weber, R. (2003). "Demand Forecast in a Supermarket Using a Hybrid Intelligent System", *Design and Application of Hybrid Intelligent Systems*, (Editörler: Abraham, A., Köppen, M., Franke, K.), IOS Press, Amsterdam, 1076-1083.
- Adalı, E. (2020). "Makine İmalat Sanayiinde Talep Tahmini: Elektromekanik Sanayiinde Bir Uygulama", Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Balıkesir.
- Alduailij, M.A., Petri, I. ve Rana, O. (2021). Forecasting Peak Energy Demand for Smart Buildings. *Journal of Supercomput* 77, 6356-6380.
- Alon, I., Qi, M. ve Sadowski, R.J. (2001). "Forecasting Aggregate Retail Sales: A Comparison of Artificial Neural Networks and Traditional Methods", *Journal of Retailing and Consumer Services*, 8(3), 147-156.
- Al-Saba, T. ve El-Amin, I. (1999). Artificial Neural Networks as Applied to Long-Term Demand Forecasting", *Artificial Intelligence in Engineering*, 13(2), 189-197.
- Arslankaya, S. (2019). "Bir Lojistik Firmasında Zaman Serileri Analizi ve Yapay Sinir Ağları ile Talep Tahminin Karşılaştırılması", *4th International Symposium on Innovative Approaches in Engineering and Natural Sciences, (ISAS WINTER-2019)*, Samsun, Türkiye, 4(6), 239-245.
- Arslankaya, S. ve Vildan, Ö.Z. (2018). "Time Series Analysis Of Sales Quantity in An Automotive Company and Estimation By Artificial Neural Networks", *Sakarya University Journal of Science*, 22(5), 1482-1492.
- Ballı, M.T. (2014). "Yapay Sinir Ağları ile Talep Tahmini ve Gıda Sektöründe Uygulanması", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bhadouria, S. ve Jayant, A. (2017). "Development of ANN Models for Demand Forecasting", *American Journal of Engineering Research*, 6(12), 142-147.
- Calp, M.H. (2019). "İşletmeler için Personel Yemek Talep Miktarının Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Tahmin Edilmesi", *Politeknik Dergisi*, 22(3), 675-686.
- Carlson, R.L. ve Umble, M.M. (1980). "Statistical Demand Functions For Automobiles and Their Use for Forecasting in An Energy Crisis", *Journal of Business*, 53(2), 193-204.
- Chang, H.J., Kalinin, S.V., Morozovska, A.N., Huijben, M., Chu, Y.-H., Yu, P., Ramesh, R., Eliseev, E.A., Svechnikov, G.S., Pennycook, S.J. ve Borisevich, A.Y. (2011). "Atomically Resolved Mapping of Polarization and Electric Fields Across Ferroelectric/Oxide Interfaces by Z-Contrast Imaging", *Advanced Materials*, 23(21), 2474-2479.
- Chen, C.F., Lai, M.C. ve Yeh, C.C. (2012). "Forecasting Tourism Demand Based on Empirical Mode Decomposition and Neural Network", *Knowledge-Based Systems*, 26, 281-287.
- Çoban, F. ve Demir, L. (2021). "Yapay Sinir Ağları ve Destek Vektör Regresyonu ile Talep Tahmini: Gıda İşletmesinde Bir Uygulama", *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 23(67), 327-338.
- Elmas, Ç. (2016). "Yapay Zekâ Uygulamaları", Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- Ergül, B. (2018). "Türkiye'deki İş Kazalarının Zaman Serisi Analiz Teknikleri ve Yapay Sinir Ağları Tekniği ile İncelenmesi", *Karaelmas Journal of Occupational Health and Safety*, 2(2), 63-74.
- Faraji, J., Hashemi-Dezaki, H. ve Ketabi, A. (2020). "Multi-Year Load Growth-Based Optimal Planning of Grid-Connected Microgrid Considering Long-Term Load Demand Forecasting: A Case Study of Tehran, Iran", *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 42, 100827.
- Han, G., Sönmez, E.F. Avci, S. ve Aladağ, Z. (2022). "Uygun Normalizasyon Tekniği ve Yapay Sinir Ağları Analizi ile Otomobil Satış Tahminlemesi", *İşletme Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi*, 5(1), 19-45.
- Hamzaçebi, C. ve Kutay, F. (2004). "Yapay Sinir Ağları ile Türkiye Elektrik Enerjisi Tüketiminin 2010 Yılına Kadar Tahmini", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 19(3), 227-233.
- Hyndman, R.J. ve Athanasopoulos, G. (2021) "Forecasting: Principals and Practice", OTexts, Melbourne, Australia.
- Hasin, M.A.A. Ghosh, S. ve Shareef, M.A. (2011). "An ANN Approach to Demand Forecasting in Retail Trade in Bangladesh", *International Journal of Trade, Economics and Finance*, 2(2), 154-160.
- Huang, Y., Liu, G.P. ve Hu, W. (2023). "Priori-Guided and Data-Driven Hybrid Model for Wind Power Forecasting", *ISA Transactions*, 134, 380-395.
- Jain, A., Kumar Varshney, A. ve Chandra Joshi, U. (2001). "Short-Term Water Demand Forecast Modelling at IIT Kanpur Using Artificial Neural Networks". *Water Resources Management*, 15, 299-321.
- Jaramillo-Morán, M.A., González-Romera, E. ve Carmona-Fernández, D. (2013). "Monthly Electric Demand Forecasting With Neural Filters", *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 49, 253-263.
- Karaatlı, M., Helvacıoğlu, Ö.C., Ömürbek, N. ve Tokgöz, G. (2012). "Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Otomobil Satış Tahmini", *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 8(17), 87-100.

- Kaya, A., Kaya, G. ve Çebi, F. (2022). "Forecasting Automobile Sales in Turkey with Artificial Neural Networks", *International Journal of Business Analytics*, 6(4), 50-60.
- Kochak, A. ve Sharma, S. (2015). "Demand Forecasting Using Neural Network for Supply Chain Management", *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 4(1), 96-104.
- Korucuk, S. ve Tatlı, Y. (2017). "Talep Tahminin İşletmelere Sağladığı Yararlar: İmalat İşletmelerinde Bir Araştırma", *İğdır Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 12, 223-238.
- Krajewski, L.J., Ritzman, L.P. ve Malhotra, M.K. (2010). "Operations Management: Processes and Supply Chains", Pearson Publishing, New Jersey, USA.
- McCulloch W.S. ve Pitts W. (1943). "A Logical Calculus of Ideas Immanent in Nervous Activity", *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5(4), 115-133.
- Ostertagová, E. ve Ostertag, O. (2011). "The Simple Exponential Smoothing Model", *4th International Conference on Modelling of Mechanical and Mechatronic Systems*, Technical University of Košice, Slovak Republic, Proceedings of Conference, 380-384.
- Prayudani, S., Hizriadi, A., Lase, Y.Y. ve Fatmi, Y. "Analysis Accuracy of Forecasting Measurement Technique on Random K-Nearest Neighbor Using MAPE And MSE", *Journal of Physics: Conference Series*, 1361(1), 1-8
- Satır, B. ve Köksal, M. (2006). "Entegre Tavuk Organizasyonları İçin Genel Üretim ve Finansal Planlama Modeli", <http://academic.cankaya.edu.tr>, (Erişim Tarihi: 04.10.2022)
- Shaik, M.A. ve Verma, D. (2020). "Enhanced ANN Training Model to Smooth and Time Series Forecast", IOP Conference Series: Material Science and Engineering, *International Conference on Recent Advancements in Engineering and Management (ICRAEM-2020) 9-10 October 2020, Warangal, India*, 1-9.
- Sohrabpour, V., Oghazi, P., Toorajipour, R. ve Nazarpour, A. (2021). "Export Sales Forecasting Using Artificial Intelligence", *Technological Forecasting and Social Change*, 163, 120480, 1-10.
- Sönmez, O. ve Zengin, K. (2019). "Yiyecek ve İçecek İşletmelerinde Talep Tahmini: Yapay Sinir Ağları ve Regresyon Yöntemleriyle Bir Karşılaştırma", *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Özel Sayı, 302-308.
- T.C. Gümrük ve Ticaret Bakanlığı (2017), Esnaf ve Sanatkarlar Özelinde Sektör Analizleri Projesi Makine, Taşıtlar ve Madeni Eşya Sektörü Raporu.
- Vhatkar, S. ve Dias, J. (2016). "Oral-Care Goods Sales Forecasting Using Artificial Neural Network Model", *Procedia Computer Science*, 79, 238-243.
- Wijaya, A.T., Lefta, F., Gozali, L. ve Daywin, F.J. (2020). "Forecasting Analysis at PT. Lion Metal Works Using Artificial Neural Network", IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, The 3rd Tarumanagara International Conference of the Applications of Technology and Engineering (TICATE) 2020 3-4 August 2020, Jakarta, Indonesia, 1007 012184, 1-6.

Makine ve Ekipman İmalatı Sektöründe İzolasyon Ormanı ve Yeniden Örnekleme Yöntemleri Kullanılarak Finansal Başarısızlığın Tespit Edilmesi

Kardelen Şeyma ERDEM¹, Mehmet Akif BAKIR²

ÖZET

Amaç: İşletmeler zaman zaman finansal başarısızlık/iflas durumu ile karşı karşıya kalmaktadır. Finansal başarısızlığın öngörülebilmesi ile işletmelerin erken aksiyon almalarının sağlanabileceği değerlendirilmektedir. Literatürde bu amaç için yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmada finansal başarısızlığın tespiti üzerine makine öğrenmesi tabanlı bir uygulama yapılmıştır.

Yöntem: Türkiye’de 2010-2018 yılları arasında Makine ve Ekipman İmalatı Sektöründe faaliyet gösteren işletmeler çalışma kapsamında tutulmuştur. İlk olarak, işletmeler finansal başarı durumlarına göre İzolasyon Ormanı Yöntemi kullanılarak etiketlenmiştir. Daha sonra, dengesiz veri problemini ortadan kaldırmak için yeniden örnekleme yöntemleri ile veri ön işleme adımı gerçekleştirilmiştir. Yeniden örnekleme yöntemi ile elde edilen üç farklı veri setine son yıllarda sıklıkla kullanılan XGBoost modeli uygulanmış ve model başarıları karşılaştırılmıştır.

Bulgular: Yeniden örnekleme yöntemlerinden biri olan SMOTE yöntemi ile oluşturulan veri seti üzerinde kurulan XGBoost modelinin %78 doğru sınıflandırma oranıyla en iyi tahmin gücüne sahip model olduğu belirlenmiştir.

Özgünlük: Çalışmada diğer çalışmaların aksine finansal başarısızlığa uğrayıp uğramadığı bilinmeyen işletmeler üzerinde çalışılmıştır. Öncelikle işletmelerin finansal başarısızlık durumlarına ilişkin tahminde bulunulmuş sonrasında ise yeniden örnekleme yöntemleri kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İflas Tahmini, Altman Z Skor, Simülasyon Modelleme, Makine Öğrenmesi.

JEL Kodları: G33, C45, C63.

Detecting Financial Failure in the Machinery and Equipment Manufacturing Sector Using Isolation Forest and Resampling Methods

ABSTRACT

Purpose: Businesses are faced with financial failure/bankruptcy from time to time. It is considered that by predicting financial failure, it is possible for businesses to take early action. There are many studies in the literature for this purpose. In this study, a machine learning-based application was made on the detection of financial failure.

Method: The enterprises operating in the Machinery and Equipment Manufacturing Sector in Turkey between the years 2010-2018 were included in the study. First, businesses were labeled according to their financial success using the isolation forest method. Then, the data preprocessing step was carried out with resampling methods to eliminate the unbalanced data problem. The XGBoost model, which has been used frequently in recent years, was applied to three different data sets obtained by the resampling method and the model successes were compared.

Results: It was determined that the XGBoost model built on the data set created by the SMOTE method, which is one of the resampling methods, has the best predictive power with a 78% correct classification rate.

Originality: Contrary to other studies, in the study, it was studied on businesses whose financial failure was unknown. First of all, the estimation of the financial failures of the enterprises was made and then resampling methods were used.

Keywords: Bankruptcy Forecast, Altman Z Score, Simulation Modeling, Machine Learning.

JEL Codes: G33, C45, C63.

¹ Yüksek Lisans Öğrencisi, Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, Ankara, Türkiye, kardelennerdem@gmail.com, ORCID:0000-0002-5197-939X (Sorumlu Yazar-Corresponding Author).

² Prof. Dr., Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, Ankara, Türkiye, mabakir@gazi.edu.tr, ORCID:0000-0003-0774-0338.

EXTENDED ABSTRACT

The prediction of financial failure has been the subject of research for many years. Predicting financial failure in advance allows enterprises to take measures at an early stage and overcome this process relatively easily. The most well-known studies developed for predicting financial failure in the literature are Ohlson O-Score, Altman Z-Score and Taffer model. These models are known as financial-based models. Ohlson, Altman and Taffer have shown that it is possible to predict the financial failure of enterprises. Similar studies conducted in the literature have confirmed this finding.

It is observed that almost all studies on the prediction of financial failure have kept the sample small. In addition, studies have used enterprises that are certain to experience financial failure and enterprises that are known not to experience financial failure. In this study, one of the main objectives is to ensure that the sample is as large as possible. With a large sample size, the machine learning algorithms used in this study are aimed to obtain more generalizable models. Another aim of the study is to label financially unsuccessful and financially successful ventures using the statistics-based isolation forest method. In addition, another issue that distinguishes this study from the literature is that the data labeled as financially successful-financially unsuccessful are subjected to resampling methods. The most successful model for predicting financial failure was obtained with different data sets obtained using resampling methods.

The study focuses on the prediction of financial failure of medium-high technology enterprises operating in the NACE Rev.2 28 sector of the manufacturing industry between 2010-2018. In order to predict financial failure, 27 financial ratios under the main headings of liquidity ratios, indebtedness ratios, turnover ratios and profitability ratios were calculated from the enterprise data. The data were then labeled as financial success and financial failure using the isolation forest method. In response to the unbalanced data set problem, three different data sets were obtained using resampling methods and predictive modeling was performed using XGBoost, one of the machine learning algorithms.

As a result of the study, it is determined that the resampling method with the highest predictive power is the SMOTE method with 78% correct classification success. According to the XGBoost model established with the SMOTE method, the three most important variables that were found to be effective in predicting financial failure current ratio, leverage ratio and short-term liabilities/assets.

The most important feature that distinguishes this study from the literature is the large sample size and the post-labeling of the data. In addition, most of the other studies on the prediction of financial failure do not offer any solution for the unbalanced data set problem. In this study, this problem is addressed and modeling is performed over different data sets. When the final model success is analyzed, the financial failure of the venture is predicted by 78%. For future studies, different machine learning models can be built by developing isolation forest and resampling methods.

1.GİRİŞ

Bir işletmenin amacı; ürettiği mal ve hizmetler aracılığıyla kâr elde etmek, toplum yararına hizmette bulunmak ve sosyal açıdan fayda sağlayabilmektir. Bu amaç doğrultusunda zarar etmeden uzun yıllar boyunca yaşam döngüsünü sağlamak ister. Ancak yaşanan finansal krizler nedeniyle bazı işletmeler için uzun yaşam döngüsü mümkün olmayabilir. İşletmeler faaliyetleri boyunca çeşitli problemlerle karşı karşıya kalabilir. İşletme yaşamının uzun vadede bu problemlerden etkilenmemesi veya asgari düzeyde etkilenmesi için kısa sürede problemler iyi tanımlanmalı ve stratejik planlar oluşturulmalıdır. İyi tanımlanmayan ve çözüme ulaştırılamayan problemler işletmeleri başarısızlığa götürebilir.

İşletme başarısızlığı, işletmenin yükümlü olduğu finansal sorumlulukları karşılayamamasıyla başlayan ve çözüm bulunmazsa iflasa kadar gidebilen uzun bir süreçtir. Yaşanan finansal başarısızlığın iflas ile sonuçlanması ise işletme ve işletme çalışanlarının yanı sıra bulunduğu sektörde de domino etkisine sebep olabilir. Bu etki ile işletme ile iş birliği yapan girişimler, işletme yatırımcıları ve kreditorler dolaylı yoldan etkilenir (Wilson ve Sharda, 1994). Burada altı çizilmesi gereken temel husus işletme başarısının tanımlanmasıdır. Başarısızlık, yönetsel başarısızlık, teknolojik başarısızlık, teknik başarısızlık, ekonomik başarısızlık ve finansal başarısızlık olarak detaylandırılabilir (Soba ve diğerleri, 2016).

Yönetsel başarısızlık, yöneticilerin yeterli eğitim düzeyine sahip olmamaları, tedbirsiz davranışlar ve doğru olmayan örgütlenme stratejilerinin sebep olduğu bir başarısızlık türüdür. Yöneticilerin yaşanan hatalardan gerekli dersi çıkarmamaları durumunda yönetsel başarısızlık ortaya çıkmaktadır (Türksoy, 2007).

Teknolojik başarısızlık, üretim yapan işletmeler için insan emeği ağırlıklı üretimden makine ağırlıklı üretime geçiş süreci ağır maliyetlere sebep olmaktadır. İşletmeler kendi teknolojilerini üretmiyorlarsa değişen ve gelişen teknoloji karşısında kullandıkları makine ve teknolojilerin çağın gerisinde kalması kaçınılmazdır. Küçük büyüklükteki işletmeler için ise Ar-Ge çalışmaları ağır bir yük haline gelir. İşletmenin bu yükün altına girememesi ve sık sık teknoloji güncelleyememesi rakipleri ile mücadele etme gücünü azaltarak başarısızlığa ilerlemesine neden olur (Karacan ve Savcı, 2011).

Teknik başarısızlık, en yalın haliyle işletmenin ödeme yükümlülüklerini zamanında yerine getirememesi, ödeme gücünü yitirmesi olarak ifade edilir (Gönenli, 1994; 647). İşletmenin ödemekle sorumlu olduğu borçları ödeyememesi, alacaklarını tahsil edememesi, sipariş üzerine üretilen malların satın alınmaması gibi sebeplerle gerçekleşebilir. Bu gibi durumlarda işletmenin öz kaynak toplamı borçlarının toplamından fazla olsa bile işletme teknik olarak başarısız sayılır.

Ekonomik başarısızlık, bir işletmenin sermaye maliyetlerinin yatırım karlılıklarının üstüne çıkması sonucunda karşılaşılan durumdur. Tam aksi durumda yani sermaye maliyetlerinin yatırım karlılıklarının altına düşmesi durumu ise ekonomik başarı olarak adlandırılır (Dağlı, 1994).

Finansal başarısızlık, işletmenin finansal yükümlülüklerini yerine getirememesi durumudur. Okka (2009: 928) yaptığı çalışmada finansal başarısızlığı belirlenen şirket politikalarındaki ve alınan finansal kararlardaki başarısızlıkların sonucu hedefe ulaşılabilen durumu olarak ifade etmiştir. Her işletme finansal zorluklarla karşılaşabilir önemli olan bu zorlukların erken aşamada tespit edilerek gerekli tedbir planlarının oluşturulmasıdır. Zamanında oluşturulmayan tedbir planı işletmeyi nihai sona getirerek iflas ile karşı karşıya kalmasına neden olabilir.

Finansal başarısızlık ve iflasın erken tespit edilebilmesi finans ekosistemini doğrudan ve dolaylı yollarla etkiler. Finansal başarısızlık yaşama ihtimali yüksek bir işletmenin erkenden tespiti ile işletme yatırımcıları, işletmenin içerisinde bulunduğu tedarik ağı ve işletme alacaklıları gibi yapılar bu başarısızlıktan en az hasar ile kurtulmuş olur. İşletmeler açısından finansal başarısızlığın erken tespit edilmesi ise girişimin kendini kurtarması ve yeni kaynaklar aramaya başlaması açısından önemlidir.

Finansal başarısızlığın erken dönemlerde tespit edilmesi verimlilik açısından da büyük öneme sahiptir. Girişimin finansal anlamda başarılı olması verimliliğin artmasını sağlar. Verimliliği yüksek olan girişimler diğerlerine göre daha fazla kâr elde ederler. Finansal analizin iyi yapılması kaynakların doğru yerlere yönlendirilmesini sağlar. Doğru kaynak yönetimi ile girişimler iş süreçlerini iyileştirme, üretimi artırma ve otomasyon sistemlerini kullanarak daha verimli hale gelebilirler.

Geçmişten günümüze finansal başarısızlık tahmini üzerinde pek çok çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda muhasebe kalemlerinden oluşturulan finansal oranlar üzerinde sıklıkla durulmuştur. Bu oranlar; Likidite Oranları, Finansal Yapı Oranları, Devir Hızları ve Karlılık Oranları olarak dört ana başlık altında toplanır. Likidite oranları, işletmenin kısa vadeli borç yükümlülüklerini yerine getirip getiremeyeceğinin analiz edilebileceği bilanço kalemlerinden oluşur. Finansal yapı oranları, işletmenin varlıklarını finanse ederken kullanılan kaynakların dağılımı ile ilgili bilgi verir. Devir hızları, stok ve alacaklar

kullanılarak işletmenin etkinlik ve yoğunluğu ile ilgili bilgiler verir. Karlılık oranları ise işletmenin satışları ve yatırımları üzerinden elde edilen kârlılığı gösterir.

İflas ve finansal başarısızlık risklerinin tahmini için yapılan çalışmalarda yaygın olarak Ohlson O-skoru, Altman Z-skoru ve Taffer modeli kullanılmaktadır (Toprak Kesgin ve diğerleri, 2019). Bu modeller muhasebe tabanlı modellerdir ve işletmelerin son yayımlanan finansal raporlarını baz alırlar. Ancak, son finansal raporların geçmiş dönem faaliyetlerinden bağımsız olmadığına dikkate alınması gerekir. Geçmişe yönelik yayımlanan finansal raporları çalışma kapsamında göz ardı etmek tahmin sonucunun yanıltıcı olmasına sebep olabilir.

İflas tahminine yönelik Altman Z-skoru modeli Altman (1968) tarafından yayımlanmıştır. Altman Z-skoru modeli oluşturulurken 66 işletmenin bilanço kalemlerinde bulunan 5 finansal oran kullanılmıştır. Ohlson O-skoru modeli Ohlson (1980) tarafından Altman Z-skora alternatif bir model olarak geliştirilmiştir. Ohlson O-skoru modeli 2.000'den fazla işletmenin verileri kullanılarak oluşturulmuştur ve doğruluk oranı Altman Z-skorundan daha yüksektir. O-skorda bir işletmenin iflas olasılığını tahmin etmek için bilanço verilerinde yer alan 9 faktör kullanılır. Hesaplanan olasılığa göre son iki yılda net zarar varsa *iflas durumu=1* diğer durumlarda *iflas durumu=0* anlamına gelir (Toprak Kesgin ve diğerleri, 2019). Taffler (1983) ise 70 işletmeye ait finansal oranları kullanarak finansal başarısızlığa etki eden oranları ve finansal başarısızlığın tahmininde kullanılacak bir model oluşturmayı hedeflemiştir.

Bu çalışmada ise geçmiş yılların finansal raporları da kapsama alınmıştır. Altman Z-skoru'na ek olarak istatistik tabanlı İzolasyon Ormanı (Isolation Forest) Algoritması ve yeniden örnekleme yöntemleri ile makine öğrenmesi yöntemleri kullanılmıştır. Ayrıca çalışma kapsamında bir işletmenin 2 yıl üst üste bilanço vermemesi iflas olarak kabul edilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde literatür kapsamında yapılan çeşitli çalışmalar incelenmiştir. Üçüncü bölümde ise bu çalışma kapsamında kullanılan yöntemlerin teknik anlatımına yer verilmiştir. Son olarak dördüncü bölümde ise araştırma sonucu elde edilen bulgular belirtilerek yorumlanmış ve diğer çalışmalar ile karşılaştırılmıştır.

2.LİTERATÜR TARAMASI

Finansal başarısızlığın ve iflasın tahminine yönelik çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu alanda yapılan ilk çalışmalardan bir tanesi Beaver (1966)'ın yaptığı çalışmadır. Beaver (1966) çalışmasında finansal başarısızlığı beş yıl öncesine kadar tek değişkenli model olarak oran analiziyle tahmin edebildiğini belirtmiştir. Ancak tek değişkenli modellerin en büyük dezavantajı her bir oranı tek tek ele alarak tahmin sonucunda bulunmasıdır. Oranların tek tek ele alınması çelişkili tahmin sonuçlarına neden olabilir. Bu sorunu çözmek için Altman (1968) yaptığı çalışmada çok boyutlu ve çok değişkenli modeller için kullanılan diskriminant analizini kullanmıştır. Yaptığı bu çalışma sonucunda elde ettiği modelle işletmeleri finansal başarılı ve finansal başarısız olarak sınıflayarak ilk yıl için %95'lik bir tahmin başarıları göstermiştir.

Aktaş ve diğerleri (2003) ise işletmelerin finansal oranlarını kullanarak yaptıkları çalışmada yapay sinir ağlarının diskriminant analizi, logit modeli ve çoklu regresyon modelinden daha iyi tahmin gücünün olduğunu bildirmişlerdir.

Tang ve Chi (2005), finansal başarısızlığın tahminine yönelik yaptıkları çalışmada diskriminant analizi ve yapay sinir ağları yöntemlerinin performans karşılaştırmasını yapmışlardır. Finansal başarısızlık tanımını ise iflas etmiş olmak, düşük stok değerlendirmesi ve likidite durumu olarak belirtmişlerdir. Tahmin modelini geliştirmek için Shangay ve Shezen Borsası'nda 1995-2002 yıllarında işlem gören 128 başarılı ve başarısız işletmeyi ele almışlardır. Çalışma sonucunda ise yapay sinir ağlarının tahmin başarısının diskriminant analizine göre daha yüksek olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Nguyen (2005), yılında yaptığı çalışmada finansal başarısızlığı yapay sinir ağları ve lojistik regresyon modellerini kullanarak tahmin etmiştir. Çalışmasında diğer çalışmalara benzer şekilde finansal oran verilerini kullanmıştır. Çalışma sonucunda yapay sinir ağları modelinin diğer istatistiksel modellerden daha başarılı tahmin yaptığı sonucuna ulaşmıştır.

Akkoç (2007), çalışmasında finansal başarısızlığın tespiti için sinirsel bulanık ağ modeli, çok boyutlu ayırma analizi ve yapay sinir ağları modeli üzerinde çalışmıştır. Bu amaçla 1983 ve 2004 yılları arasında Sermaye Piyasası Kuruluna tabi ve/veya İstanbul Menkul Kıymetler Borsası'nda faaliyet gösteren 142 işletmenin finansal oranlarını kullanmıştır. Akkoç 142 verinin yarısının başarılı işletmeler diğer yarısının ise başarısız işletmelerden oluştuğunu belirtmiştir. Buna ek olarak veri setini eğitim, test ve kontrol olarak üç grupta incelemiştir. Uygulama sonucunda çok boyutlu ayırma analizinin kontrol grubu üzerindeki başarısını %83,3; sinirsel bulanık ağ modelinin kontrol grubu üzerindeki başarısını %80,56 ve yapay sinir ağları modelinin kontrol grubu üzerindeki başarısını %86,1 olarak bulmuştur.

Kurtaran Çelik (2010), Türk bankacılık sektöründe yer alan bankaların finansal başarısızlıklarını tahmin etmek amacıyla diskriminat analizi ve yapay sinir ağları üzerinde bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmada bankaların finansal başarısızlığından önceki iki yıllık verileri kullanmıştır. Finansal başarısızlıktan bir yıl öncesi için yapılan diskriminant analizinde; takipteki kredilerin toplam kredilere oranı, faiz gelirlerinin ortalama getirili aktiflere oranı, faiz giderlerinin toplam giderlere oranı ve faaliyet giderinin toplam aktiflere oranı, finansal başarısızlıktan iki yıl öncesi için yapılan diskriminant analizinde ise; takipteki kredilerin toplam kredilere oranı, faiz gelirlerinin ortalama getirili aktiflere oranı ve duran aktiflerin toplam aktiflere oranı kullanılmıştır. Çalışma sonucunda finansal başarısızlığın bir yıl öncesi için kurulan yapay sinir ağları modelinin başarılı ve zarar eden bankaları %100 doğru tahmin ettiği sonucuna ulaşılmıştır. Benzer şekilde finansal başarısızlığın iki yıl öncesinde kurulan modellerden başarılı bankaları %89 tahmin gücüyle diskriminant analizi, başarısız bankaları ise %100 başarı ile yapay sinir ağlarının daha iyi tahmin ettiği ifade edilmiştir.

Kılıç ve Seyrek (2012), çalışmalarında 2005-2010 yılları arasında İstanbul Menkul Kıymetler Borsası'nda işlem gören 137 imalat sanayisi işletmesinin finansal oranlarını kullanarak Yapay Sinir Ağları ve Karar Ağaçları aracılığıyla finansal başarısızlıklarını tahmin etmeye yönelik çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda finansal başarısızlığı Yapay Sinir Ağları modelinin %94, Karar Ağaçlarının ise %82 oranında doğru tahmin ettiği sonucuna ulaşılmıştır.

Öztürkler (2012)'in yaptığı çalışmaya göre finansal başarısızlık istatistikî model olan lojistik regresyon kullanılarak tahmin edilmiştir. Çalışmada 2004, 2005 ve 2006 yıllarında faaliyet gösteren 1.764 firmanın finansal oranları kullanılarak iki farklı lojistik regresyon modeli kurulmuştur. Kurulan iki logit tahmin sonucuna göre, finansman/net satışlar oranı düşük, net satış kârı/net satışlar oranı yüksek, faaliyet giderleri/net satışlara oranı düşük, asit-test oranı yüksek, dönen varlıklar toplamı/aktif oranı yüksek ve düşük kaldıraçla çalışıp borçlanmada uzun vadeyi tercih eden işletmelerin finansal olarak başarılı olma olasılıklarının daha yüksek olabileceğini söylemiştir.

Ertan ve Ersan (2018), çalışmalarında imalat sektöründeki finansal başarısızlığı tahmin etmek için 2000 ve 2014 yıllarında Borsa İstanbul'da işlem gören 208 işletme verisini kullanmışlardır. Finansal başarısızlık tanımını ise işletmenin ulusal pazardan Yakın İzleme Pazarı'na geçiş yapması olarak belirlemişlerdir. Tahmin yöntemi olarak log-lojistik, panel probit, Cox orantılı riskler, logit, tamamlayıcı log-log ve rassal etkiler modellerini ele almışlardır. Çalışmada Cox orantılı riskler yöntemi performansı en iyi model olarak belirlenmiştir.

Aksoy ve Boztosun (2019), Borsa İstanbul'da 2010-2012 yılları arasında kaydı bulunan imalat sanayi sektöründeki 86 işletme üzerinde yaptıkları çalışmada işletmelerin finansal başarısızlıklarını makine öğrenmesi sınıflama yöntemleri ile tahmin etmiştir. Çalışmalarında işletmelerin finansal başarısızlıklarını tahmin etmek için makine öğrenmesi sınıflama yöntemlerini kullanmışlardır. Sınıflama algoritması olarak Yapay Sinir Ağları, CART (Classification and Regression Tree), SVM (Support Vector Machine) ve K-En Yakın Komşu kullanılan çalışmanın model eğitiminde 14 öznitelik kullanmışlardır. Araştırmacılar bu öznitelikleri hem finansal oranlardan hem de finansal oranlardan bağımsız özel durum göstergelerinden elde ettiklerini belirtmişlerdir. Çalışma sonucunda işletmelerin finansal başarısızlıklarını hem 1 yıl hem de 2 yıl öncesinde en iyi tahmin eden algoritmanın Yapay Sinir Ağları modeli olduğunu bildirmişlerdir.

Kuzu ve Yakut (2020) yaptıkları çalışmada SVM ve Karar Ağaçları algoritmalarını kullanarak imalat sanayisinde faaliyet gösteren farklı teknolojik düzeylere sahip işletmelerin finansal başarısızlıklarını tahmin etmişlerdir. Uygulamalarında 2012-2015 yılları arasında Borsa İstanbul'a kayıtlı 153 işletmenin 11 mali oranını ve teknolojik düzeylerini tanımlayan kategorik değişkeni kullanmışlardır. İşletmelerin finansal başarısızlığı kavramını 3 yıl üst üste zarar etme durumu ve 2 yıl üst üste zarar etme durumu olarak iki farklı şekilde ele almışlardır. Her iki başarısızlık tanımı için de düşük teknoloji sınıfında olan işletmeler için SVM algoritmasının doğru sınıflama oranını %93, Karar Ağaçlarının doğru sınıflama oranını sırasıyla %90 ve %86 olarak elde etmişlerdir. Orta-düşük teknoloji düzeyi özelinde yaptıkları çalışmada ise SVM algoritmasının başarısını sırasıyla %88 ve %85, Karar Ağaçlarının başarısını %88 ve %90 olarak bulmuşlardır. Son olarak orta-yüksek teknoloji düzeyine sahip olan işletmelerin 3 yıl üst üste zarar etme ve 2 yıl üst üste zarar etme durumları hedef değişken olarak belirlendiğinde sırasıyla SVM algoritmasında %94 ve %90, Karar Ağaçlarında %94 ve %87 doğru sınıflama başarısını elde etmişlerdir.

Bu çalışmada ise borsaya kote olan ve olmayan tüm girişimler ele alınmıştır. Literatür çalışmaları incelendiğinde ele alınan girişimlerin finansal başarısızlık durumu ile ilgili önsel bir bilgi bulunmaması çalışmayı literatür çalışmalarından ayıran en önemli unsur olarak belirtilebilir. Bununla birlikte makine öğrenmesi yöntemlerinin başarılı ve tutarlı sonuçlar vermesi için veri seti boyutunun fazla olması gerektiği bilinmektedir. Literatür çalışmalarının neredeyse hepsinde kullanılan veri setlerinin boyutu minimum düzeydedir. Yapılan çalışmada ise veri seti boyutu oldukça yeterlidir. Çalışmayı literatürden ayrı tutan bir diğer konu ise verilerin etiketlenmesidir. Literatür çalışmalarında finansal başarılı-finansal başarısız

şeklindeki hazır etiketli veriler kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında ise İzolasyon Ormanı Yöntemi kullanarak veri seti etiketlenerek yeniden örnekleme yöntemine tabii tutulmuş ve sonrasında modellenmiştir.

3.YÖNTEM

Bu çalışmanın amacı imalat sanayisi NACE Rev.2 28-Başka Yerde Sınıflandırılmamış Makine ve Ekipman İmalatı sektöründe faaliyet gösteren orta-yüksek teknoloji düzeyine sahip işletmelerin finansal başarısızlığının makine öğrenmesi yöntemleri aracılığıyla tahmin edilebilmesidir. Bu amaçla 2010-2018 yılları arasında NACE Rev.2 28 sektöründe faaliyet gösteren girişimlere ait likidite oranları, borçluluk oranları, devir hızı oranları ve karlılık oranları ana başlığı altında 27 finansal oran kullanılmıştır. Modelleme aşamasında 2010-2016 yıllarını kapsayan 56.443 işletme verisi eğitim 2017 yılına ait 14.112 işletme verisi test ve 2018 yılına ait 14.768 işletme verisi doğrulama verisi olarak belirlenmiştir. 2010-2016 yılları arasındaki tüm verilerin alınması bir girişim sıra numarasının yıllar bazında tekrar etmesine neden olmuştur. Bu işletmeler sıra numarasından arındırılıp tekilleştirilerek çalışmaya dahil edilmiştir. Veri setinde tahmin edilmesi beklenen finansal başarısızlık/iflasa dair bilgi bulunmadığı için izolasyon ormanı yöntemi kullanılarak veri setinin karakteristik özelliğini yansıtmayan veriler tespit edilmiş ve finansal başarısızlık yaşayan işletme olarak etiketlenmiştir. Etiketleme işlemi sonucunda oluşturulan veri etiketlerinin dağılımı incelendiğinde finansal başarısızlık yaşayan ve finansal başarısızlık yaşamayan işletme sınıflarının eşit dağılmadığı belirlenmiştir. Tahmin edilmesi beklenen sınıfların dağılımının eşit olmamasının makine öğrenmesi modellerinde çoğunlukta olan sınıfı aşırı öğrenme eğiliminde olduğundan yeniden örnekleme yöntemleri kullanılmıştır. Veri setine yeniden örnekleme yöntemlerinden olan rasgele düşük örnekleme, rasgele aşırı örnekleme ve SMOTE yöntemleri uygulanarak üç farklı yeni veri seti elde edilmiştir. Elde edilen her veri seti için XGBoost modeli kurularak yeniden örnekleme yöntemlerinin performansları karşılaştırılmıştır.

Makine öğrenmesi eldeki sınırlı sayıda veriden yola çıkarak eğitim verisiyle algoritmalar oluşturulup bir tahmin fonksiyonu belirlenmesi işlemidir. Öğrenme işlemi veri setine göre denetimli öğrenme ve denetimsiz öğrenme olarak ikiye ayrılır. Denetimli öğrenme yöntemlerinde girdi verilerine karşılık gelen çıktı verileri bulunur. Bu durum etiketlenmiş veri olarak adlandırılır. Denetimli öğrenmede algoritmanın öğrenmesi istenilen çıktılar eğitim setinde makineye verilerek eğitim gerçekleştirilir. Denetimsiz öğrenme yönteminde ise eğitim setinde öğrenilebilecek herhangi bir etiketli veri bulunmaz. Bu yöntemde veri setinin iyice analiz edilerek yapısal bir örüntü elde edilmesi amaçlanır.

Çalışmada kullanılan tüm veriler Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Stratejik Araştırmalar ve Verimlilik Genel Müdürlüğü Girişimci Bilgi Sistemi (GBS)'nden temin edilmiştir. GBS, farklı kamu kurum ve kuruluşlarının idari kayıtlarında yer alan işletmelerin ekonomik faaliyetlerine ilişkin verilerinin belirli standartlar çerçevesinde toplandığı bir veri entegrasyonu projesidir. GBS'nin temel amacı, tüm kamu kurum ve kuruluşları başta olmak üzere üniversiteler, uzmanlar, araştırmacılar, araştırma enstitüleri ve sivil toplum kuruluşlarındaki yetkililer için iktisadi, sektörel ve bölgesel politikaların tasarlanıp uygulanması ve etkinlik ölçümü için kullanılması amacıyla doğru ve güvenilir verilerin sunulacağı bir ortam sağlamaktır.

3.1 İzolasyon Ormanı

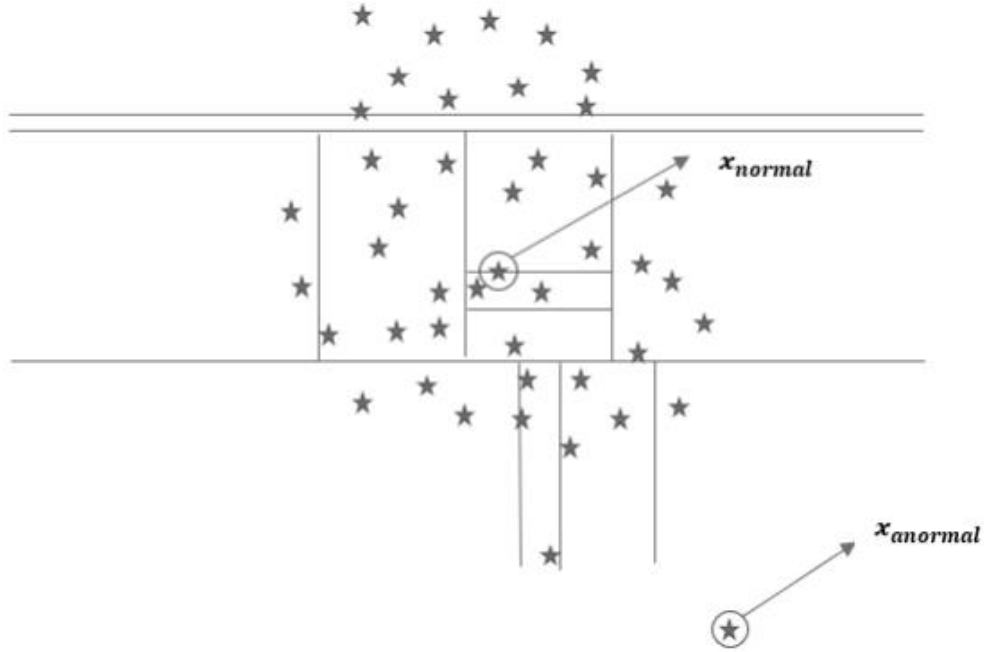
İzolasyon Ormanı, teoride karar ağacı algoritmasına dayanır ve mesafe tabanlı algılamaya sahiptir. Diğer anomali tespit yöntemlerinde algoritmalar normal veri profilini çıkartarak bu profilden uzak verileri "anomali" olarak etiketler. Bu algoritmaların temel amacı normal verilerin karakteristik yapısını tespit etmektir. Ancak İzolasyon Ormanı Yönteminde ise temel amaç anomali durumundaki noktaları tespit etmektir (Liu, 2008). Bu yöntem anomali noktalarının farklı olması ve veri setinde az bulunması üzerine kurulmuştur.

İzolasyon Ormanı Algoritmasında veri seti içerisinde rasgele seçilen bir özniteliğin minimum ve maksimum değerleri arasından rasgele bir değer seçilir ve bu rasgele seçilen değer üzerinde veya altında olmasına göre dallara ayrılır. Anomali gösteren gözlem birimleri veri setinden en yakın dallara ayrılarak diğer birimlerden izole olurlar (Şekil 1).

Bu yöntemde gözlem birimleri yalnızca izole edilmekle kalmaz bunun yanında bir de gözlemlere ait anomali skoru elde edilir. Bu skor Eşitlik 1'deki gibi elde edilir.

$$s(x, n) = 2^{-\frac{E(h(x))}{c(n)}} \quad (1)$$

Bir gözlem birimi için anomali skoru $s(x, n)$ hesaplandıktan sonra elde edilen skor; 1'e yakınsa anormal, 0.5'ten küçükse normal olarak etiketlenir. Denklemde; $h(x)$, x düğümüne olan uzaklık, $E(h(x))$ izolasyon ağaçları üzerindeki düğümlerin $h(x)$ değerleri ortalaması, $c(n)$ ise x düğümüne ulaşmaya çalışırken başarısız aramaların ortalama yol uzunluğu olarak açıklanır.



Şekil 1. İzolasyon ormanı yöntemi

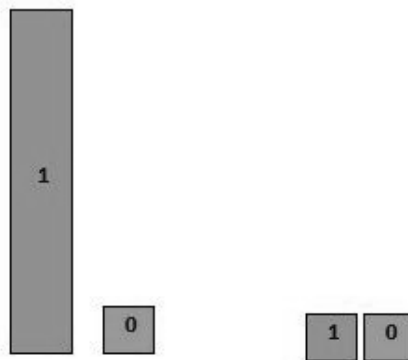
3.2 Yeniden Örnekleme Yöntemleri

Sınıflandırma problemleri makine öğrenmesinde denetimli öğrenme yöntemleri alt başlığında incelenir. Bu problemlerde çıktı değişkeni bir başka deyişle hedef vektör değerleri 0, 1, 2 gibi sınıflardan oluşur. Dengesizlik ise bir sınıfa ait örneklem büyüklüğünün diğer sınıf ya da sınıflardan yüksek olması durumudur. Bu durum fazla olan sınıf karakterinin aşırı öğrenilmesine, az olan sınıfın yeterince öğrenilememesine sebep olacağı için model performansını olumsuz etkiler. Bu sorunun çözümü için literatürde farklı teknikler geliştirilmiştir.

Eşit dağılmayan dengesiz veri setlerinde sınıfların dağılımlarını dengelemek için veri üzerinde çeşitli ön işleme adımları gerçekleştirilir. Sınıfların dağılımlarını eşitleyen yeniden örnekleme (resampling) yöntemleri kullanılmaktadır. Yeniden örnekleme, veri setini istatistiksel ya da istatistiksel olmayan tahmin yöntemleriyle yeniden yapılandırma işlemidir. Yeniden örnekleme teknikleri, Rasgele Düşük Örnekleme (random undersampling), Rasgele Aşırı Örnekleme (random oversampling) ve SMOTE olarak üç grupta incelenebilir (Galar, 2012).

3.2.1. Rasgele Düşük Örnekleme (Random Undersampling)

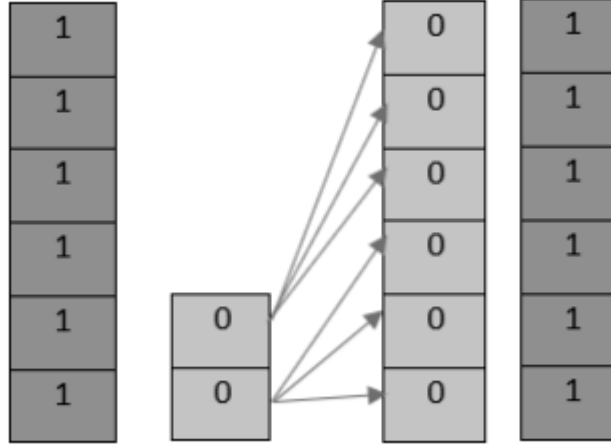
Bu yöntemde az olan sınıfın örneklemini korundur ve çok olan sınıf gözlemleri arasından rasgele seçimler yapılarak az olan sınıf sayısı kadar yeni örneklem oluşturulur (Han ve Kamber, 2006:384-385). Böylelikle az ve çok olan sınıflar eşitlenerek Şekil 2'deki gibi veri seti dengeli hale getirilir.



Şekil 2. Rasgele düşük örnekleme

3.2.2. Rasgele Aşırı Örnekleme (Random Oversampling)

Rasgele aşırı örnekleme, azınlık olarak bulunan sınıfın verilerinden örneklem çekerek veri setine eklemeye yöntemidir. (He ve Garcia, 2009). Bu yöntemde az olan sınıf birimleri rasgele seçilerek örnekleme eklendiği için aşırı öğrenme/aşırı uyum problemiyle karşılaşılabilir (Fernández ve diğerleri, 2018). Bu yöntemin oluşturacağı bir diğer problem ise birim sayısı arttığı için sınıflama yaparken sürenin artmasıdır. Şekil 3'te rasgele aşırı örnekleme yöntemi gözlenebilir.



Şekil 3. Rasgele aşırı örnekleme

3.2.3. Sentetik Azınlık Aşırı Örnekleme (SMOTE)

Dengesiz sınıf problemlerine çözüm olarak geliştirilen yöntemlerden biridir ve Chawla ve diğerleri (2002) tarafından geliştirilmiştir. Aşırı örnekleme yönteminde, gözlem birimlerinin bir kopyası oluşturulması sebebiyle meydana gelen aşırı öğrenme problemi karşı önerilir (Ay ve Yolaçan, 2022). SMOTE tekniği dengesiz veri seti probleminde kullanılan yaygın bir tekniktir (Patil ve diğerleri, 2020).

Bu yöntemde öncelikle azınlıkta bulunan sınıfın en yakın k komşusu belirlenir. Her bir yakın komşu ile seçilen gözlem arasındaki farklılıklar ölçülür ve elde edilen değer (0,1) arasından rasgele bir sayı seçilerek çarpılır. Son olarak, son elde edilen değer ilk olarak seçilen gözlem değerine eklenir. Böylelikle azınlık olan sınıftan sentetik olarak veri üretilmiş olur (Şekil 5). Yukarıda belirtilen adımlar Eşitlik 2'de formülize edilmiştir.

$$x_{yeni} = x_i + (x_j - x_i) * \alpha \quad (2)$$

3.3. XGBOOST Algoritması

XGBOOST (Extreme Gradient Boosting) Algoritması, makine öğrenmesinde sıklıkla kullanılan bir uygulamadır. XGBoost Algoritması, Gradient Boosting Machine (GBM) Algoritmasının optimize edilmesiyle ortaya çıkmıştır. XGBoost'un GBM'e göre en büyük avantajı boş gözlemleri işleyebilmesi, aşırı öğrenme durumuna karşın daha sağlam olması ve en önemlisi yüksek tahmin gücüne sahip olmasıdır. Algoritma ilk olarak Chen ve Guestrin (2016) tarafından geliştirilmiştir. Chen ve Guestrin çalışmalarında XGBoost algoritmasının diğer algoritmalara nazaran 10 kat daha hızlı çalıştığını söylemişlerdir (Yeşilyurt ve Dalkılıç, 2021).

Regresyon ve sınıflandırma problemlerinde boosting (arttırma) algoritmalarının daha yüksek performans sergilediği görülmektedir. XGBoost Algoritması diğer makine öğrenmesi yöntemlerine göre hesaplama kolaylığı sağlamaktadır. Bu hesaplama kolaylığı çok boyutlu verilerin analizinde kullanılmaktadır (Abar, 2020).

XGBoost Algoritması, güçlü ve sağlam bir sınıflandırıcı oluşturabilmek için çok fazla sayıda zayıf sınıflandırıcıyı boosting ile birleştirip yinelemeli olarak eğitimi gerçekleştirerek güçlü öğreniciyi elde etmeyi amaçlar. XGBoost algoritmasında eğitim seti için en iyi parametreyi bulmak ve model performansını ölçmek için aşağıdaki Eşitlik 3'te yer alan amaç fonksiyonu kullanılır.

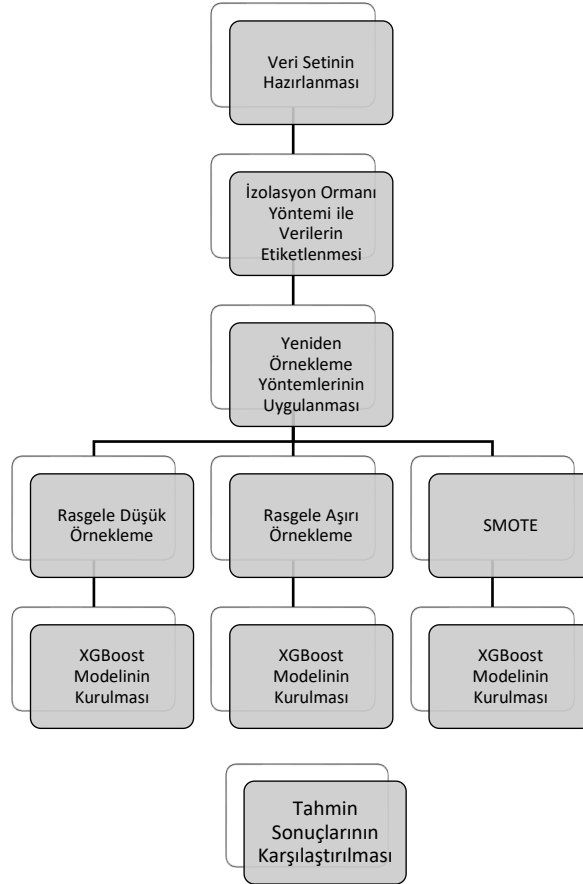
$$Obj(\theta) = L(W) + \Omega(\theta) \quad (3)$$

Eşitlikte L , eğitim kayıp fonksiyonudur ve eğitim verisini kullanarak modelin öngörüsünü ölçer (Dixit, 2017). Kayıp fonksiyonunun tanımlanarak en aza indirilmesi istenir. Ω , düzeltme (regularization) terimini

ifade eder. Düzeltme, model karmaşıklığını kontrol ederek aşırı öğrenmeyi azaltmayı amaçlar (Yangın, 2019).

4. BULGULAR

GBS'de bulunan ve NACE Rev.2 28 sektöründe faaliyet gösterdiği bilinen işletmelere ait bilanço verilerinden 27 finansal oran hesaplanmıştır. Daha sonra izolasyon ormanı yöntemi aracılığıyla veri setinde çoğunluk sınıfının karakteristik özelliklerine benzemeyen gözlem birimleri bulunarak etiketlenmiştir. Böylelikle yeniden örneklemeye yöntemlerinin uygulanacağı veri seti elde edilmiştir. Şekil 4'te tüm modelleme adımları gösterilmiştir. Çalışmada kullanılan 27 finansal oran ise Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 4. Modelleme adımları

Gelir tablosu ve bilanço verileri kullanılarak çok sayıda oran elde edilebilmektedir. Burada esas üzerinde durulması gereken konu problemi tanımlayacak oranları belirleyebilmektir. Yukarıdaki 24 oran 4 ana başlık altında toplanabilir. Bu başlıklar aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

- A) Likidite Oranları
- B) Finansal Yapı Oranları
- C) Devir Hızı Oranları
- D) Kârlılık Oranları

Likidite oranları işletmenin cari durumunun analizinde sıklıkla kullanılır. Likidite oranları kullanılarak işletmenin kısa vadeli borçlarını ödeyebilme gücü ve çalışma sermayesinin yeterli olup olmadığı belirlenebilir. Likidite oranları alt başlığında; Cari Oran, Asit-Test Oranı, Nakit Oranı, Stoklar/Dönen Varlıklar ve Stoklar/Aktif Toplam oranlarından oluşur.

Tablo 1. Finansal oranlar

<i>Finansal Oranlar</i>	<i>Finansal Oranlar</i>
LİKİDİTE	DEVİR HIZI
1. Cari Oran	Net Çalışma Serbest Devir Hızı
2 Asit Test Oranı	Aktif Devir Hızı
Nakit Oran	Net Kâr/ Özkaynak
Stoklar/Dönen Varlıklar	Net Kâr/ Aktif
Stoklar/Aktif	Faaliyet Kârı/Net Satışlar
FİNANSAL YAPI	KARLILIK
Kaldıraç Oranı	Brüt Satış Kârı/ Net Satışlar
Özkaynak/Aktif	Net Kâr/ Net Satışlar
Özkaynak/Yabancı Kaynak	Satışların Maliyeti/Net Satışlar
Kısa Vadeli Yabancı Kaynak/Aktif	Faaliyet Giderleri/Net Satışlar
Uzun Vadeli Yabancı Kaynak/Aktif	İşletme Sermayesi/Aktif
Uzun Vadeli Yabancı Kaynak/Devamlı Sermaye	
	ALTMAN
Stok Devir Hızı	Favök/Aktif Toplam
Alacak Devir Hızı	Net Satışlar/ Aktif Toplam
Çalışma Sermayesi Devir Hızı	Birikmiş Kârlar/Aktif Toplam

Finansal yapı oranları ise işletmenin borçluluk yapısı ve bu borçluluğun sürdürülebilirliğinin belirlenmesi için kullanılırlar. Borçluluk oranları alt başlığında; Kaldıraç Oranı, Özkaynak/Aktif Toplam, Özkaynak/Yabancı Kaynak, Kısa Vadeli Yabancı Kaynak/Aktif Toplam, Uzun Vadeli Yabancı Kaynak/Aktif Toplam ve Uzun Vadeli Yabancı Kaynak/Devamlı Sermaye oranları bulunur.

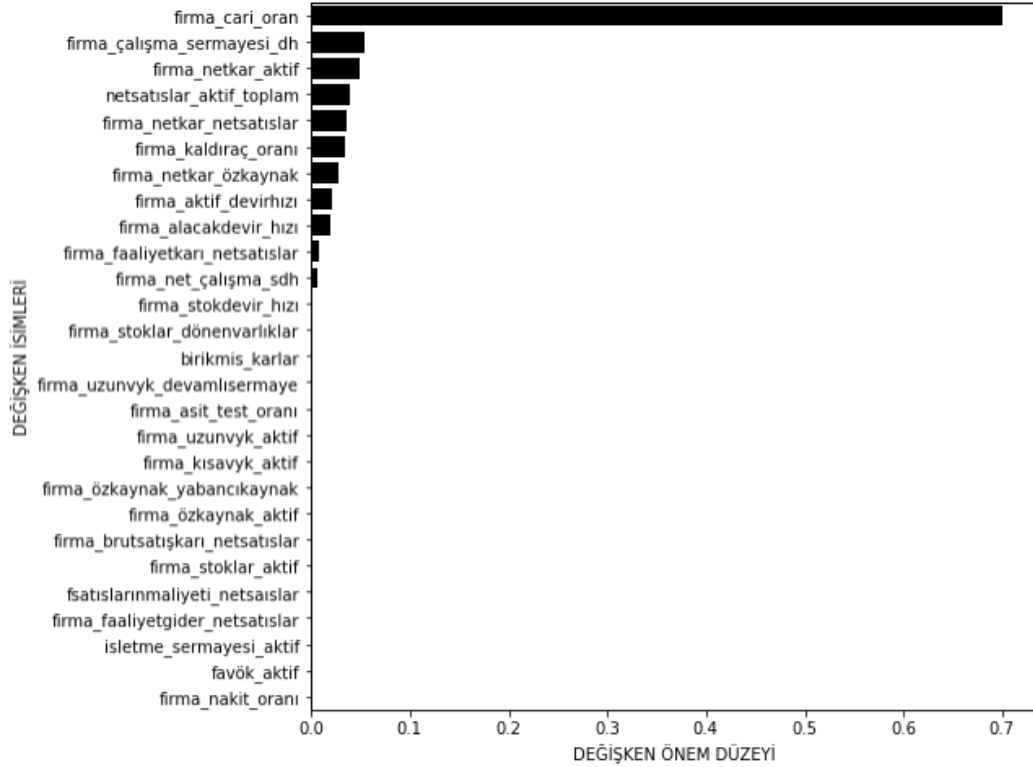
Devir hızı oranları kullanılarak işletme faaliyetlerinin etkinliği ve verimliliği ile ilgili bilgiler elde edilebilmektedir. Bu başlık altında temel olarak 5 farklı oran bulunur. Bu oranlar; Stok Devir Hızı Oranı, Alacak Devir Hızı Oranı, Çalışma Sermaye Devir Hızı, Net Çalışma Sermayesi Devir Hızı ve Aktif Devir Hızı Oranı olarak bilinmektedir.

Kârlılık oranları ise işletmenin faaliyetlerinde kârlı çalışılıp çalışılmadığı, özkaynaklarını ve yabancı kaynaklarını etkin kullanıp kullanmadığı hakkında bilgiler verir. En sık kullanılan kârlılık oranları Net Kâr/ Özkaynak, Net Kâr/Aktif Toplam, Faaliyet Kârı/Net Satışlar, Brüt Satış Kârı/Net Satışlar, Net Kâr/Net Satışlar, Satışların Maliyeti/Net Satışlar ve Faaliyet Giderleri/Net Satışlar olarak bilinmektedir.

Son olarak Altman'ın finansal başarısızlık tahmini için geliştirdiği Altman'ın Z Skoru yönteminde kullanılan Net İşletme Sermayesi/ Aktif Toplam, Birikmiş Karlar/ Aktif Toplam ve FAVÖK/ Aktif Toplam oranları modele dahil edilmiştir.

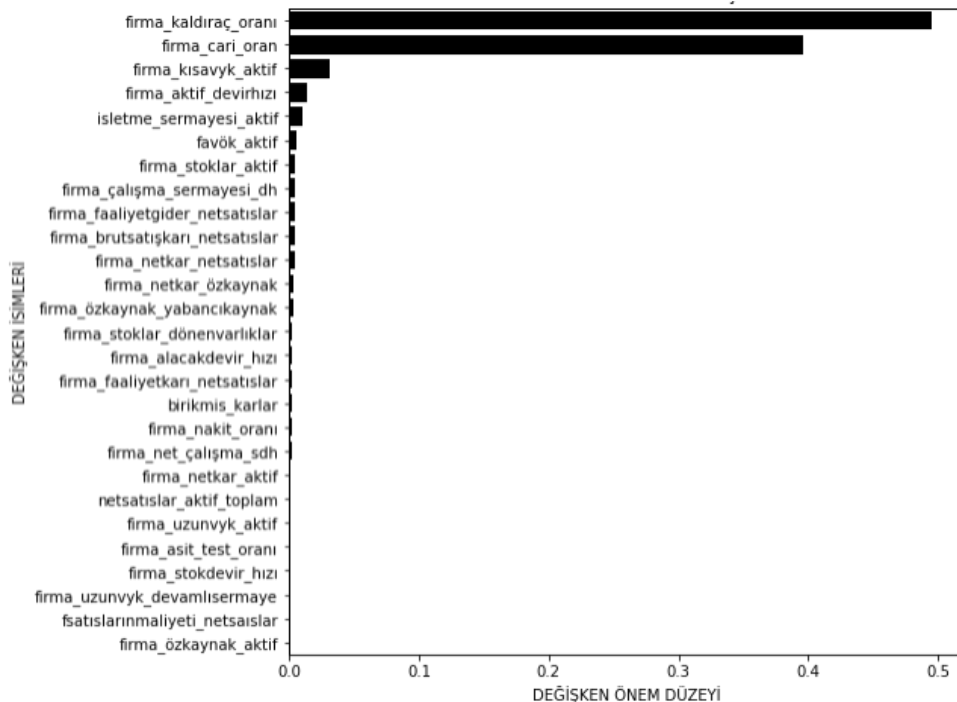
İlk olarak izolasyon oranı uygulamasıyla elde edilen veri setine rasgele düşük örnekleme yöntemi uygulanarak azınlıkta bulunan sınıfın örnekleme eşitlenmiştir. Daha sonra hazırlanan veri setine XGBoost modeli uygulanmıştır. Kurulan model kullanılarak 2017 yılına ait verilerden tahmin yapılmış ve 2018 yılında finansal başarısızlık yaşaması muhtemel işletmeler tahmin edilmiştir. Rasgele düşük örnekleme veri seti üzerine kurulan XGBoost modelinin tahminleri 2018 yılına ait veri seti ile doğrulandığında modelin %52 doğru sınıflama oranına sahip olduğu görülmüştür. Bu sonuca göre 2017'de finansal başarısızlık yaşayacağı tahmin edilen işletmelerin %52'sinin 2018'de gerçekten finansal başarısızlık yaşadığı belirlenmiştir.

Şekil 5, kurulan modelin belirlediği hedef değışkendeki değışimi en iyi açıklayan özelliklerin belirtildiği listedir. Grafik incelendiğinde kurulan modelin işletmelerin finansal başarısızlığının tahmin edilmesinde ayırt edici olarak belirlediği ilk üç değışken cari oran, çalışma sermayesi devir hızı ve net kâr/aktif oranlarıdır.



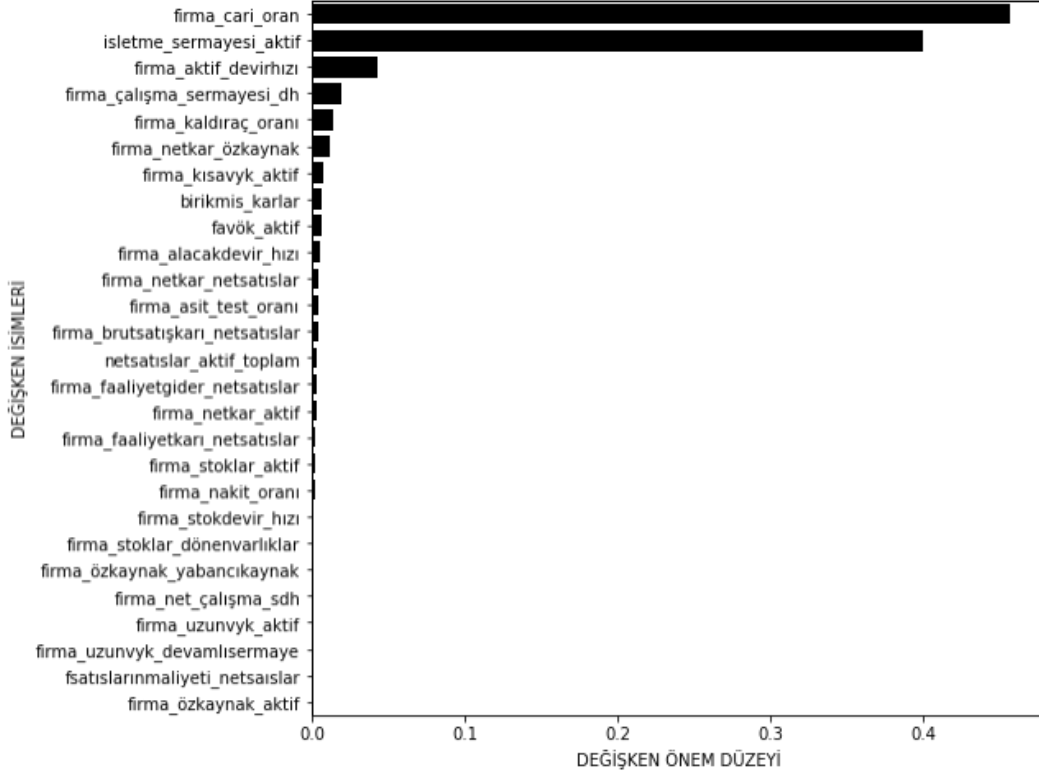
Şekil 5. rasgele düşük örnekleme verisi ile kurulan modelin önemli değişkenleri

İkinci olarak izolasyon ormanı uygulamasından elde edilen veri setine SMOTE yöntemi uygulanarak azınlıkta bulunan sınıf verilerinden sentetik veriler üretilmiş ve iki sınıfın örnekleme eşitlenmiştir. Hazırlanan veri seti üzerine XGBoost modeli kurularak 2017 yılına ait verilerden 2018 yılına ilişkin finansal başarısızlık tahmini yapılmıştır. Elde edilen tahmin sonuçları 2018 yılı verileri ile doğrulandığında finansal başarısızlık yaşayacağı tahmin edilen işletmelerin %78'inin doğru tahmin edildiği sonucuna ulaşılmıştır. Şekil 6'daki grafik incelendiğinde yeniden örnekleme yöntemlerinden SMOTE algoritması kullanılarak oluşturulan veri seti modellendiğinde işletmelerin finansal başarısızlığın tahmin edilmesinde ayırıcı değişkenlerin ilk üçünün kaldıraç oranı, cari oran ve kısa vadeli yabancı kaynak/aktifler olduğu gözlenmektedir.



Şekil 6. SMOTE verisi ile kurulan modelin önemli değişkenleri

Son olarak izolasyon ormanı uygulamasından elde edilen veri setine azınlık sınıfın örnekleminin eşitlenmesi için rasgele aşırı örnekleme yöntemi uygulanarak XGBoost modeli kurulmuştur. Kurulan model üzerinden diğer modellere benzer şekilde 2018 yılına ilişkin tahmin gerçekleştirilmiştir. Yapılan tahmin 2018 yılı verileri ile doğrulandığında finansal başarısızlık yaşayacağı tahmin edilen işletmelerin %75'inin doğru sınıflandırıldığı gözlemlenmiştir. Şekil 7'deki grafik incelendiğinde ise finansal başarısızlığın tahmini için kurulan modelin ayırt edici olarak belirlediği ilk üç değişken sırasıyla cari oran, işletme sermayesi/aktifler ve aktif devir hızı olarak belirlenmiştir.



Şekil 7. Rasgele aşırı örnekleme verisi ile kurulan modelin önemli değişkenleri

5. SONUÇ ve TARTIŞMA

Yapılan çalışmada, işletmelerin son yıl bilançosuna odaklanan literatürdeki yöntemlere ek olarak işletmelerin geçmiş yıllarına ait bilançoları da kullanılmıştır. Buna ek olarak, çalışmada Altman'ın Z-skoru hesaplamasında kullanılan değişkenler ve Z-skor sonuçları da veri setine eklenmiştir. Hazırlanan veri setine izolasyon ormanı yöntemi uygulanarak veri setinin karakteristik özelliği dışında davranan gözlem birimleri tespit edilerek veri seti finansal başarısızlık yaşayan ve finansal olarak başarılı olacak şekilde etiketlenmiştir. Etiketlenmiş ve modellenmeye hazır veri seti sınıflarının dağılımı incelendiğinde iki sınıfın dengesiz dağıldığı gözlemlenmiştir. Makine öğrenmesi modelleri dengesiz veri setleri ile çalışırken çoğunlukta olan sınıfı aşırı öğrenme eğiliminde olduğu için yeniden örnekleme yöntemleri kullanılarak düzenlemeye gidilmiştir. Daha sonra her veri setine denetimli sınıflama yöntemlerinden olan XGBoost modeli uygulanarak tahmin etme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Çalışma sonucunda tahmin gücü en yüksek yeniden örnekleme yönteminin %78 ile SMOTE yöntemi olduğu belirlenmiştir. SMOTE yöntemi ile kurulan XGBoost modeline göre belirlenen en önemli üç değişken cari oran, kaldıraç oranı ve kısa vadeli yabancı kaynak/aktif olarak belirlenmiştir (Şekil 6). Tahmin gücü en yüksek ikinci yeniden örnekleme yöntemi ise %75 ile rasgele aşırı örnekleme modeli olarak belirlenmiştir. Rasgele aşırı örnekleme yönteminin uygulandığı veri seti üzerine kurulan XGBoost modelinin en önemli üç değişkeni ise cari oran, işletme sermayesi/aktif ve aktif devir hızı olarak belirlenmiştir (Şekil 7). Son olarak %52 ile tahmin gücü en düşük olan yeniden örnekleme yöntemi rasgele düşük örnekleme olarak bulunmuştur. Rasgele düşük örnekleme uygulanan veri seti ile kurulan XGBoost modelinin en önemli üç değişkeni ise cari oran, çalışma sermayesi devir hızı ve net kar/aktif olarak belirlenmiştir (Şekil 5). Her üç yöntem kullanılarak kurulan modellerin önemli değişkenleri incelendiğinde hepsinde de en önemli üç değişken arasında cari oran değişkeninin olduğu gözlemlenmiştir. Buradan yola çıkarak, makine ve ekipman imalatı sektörünün finansal başarısızlığının modellenmesinde en önemli finansal oranın likidite oranları alt başlığında bulunan cari oran kalemi olduğu söylenebilir. Cari oranın 1'den düşük olması dönen varlıklar

toplamının vadesi 1 yıldan kısa olan borçları karşılamadığı anlamına gelir. 2'nin üzerinde olması ise işletmenin nakit varlıklarını âtil kullandığı anlamına gelir.

Çalışmada, literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak işletmelere ait 8 yıllık bilanço verisi kullanılmış ve işletmeler tekilleştirilerek çalışmaya dahil edilmiştir. Buna ek olarak, veri seti üzerinde anomali tespiti yapılmış ve veriler etiketlenmiştir. Anomali tespitini güçlendirmek için finansal başarısızlığın analizinde başarısı kanıtlanmış Altman Z-skoru hesaplanarak veri setine dahil edilmiştir. Literatürdeki diğer çalışmalar incelendiğinde yapılan tüm çalışmaların finansal başarısızlık yaşadığı ve finansal olarak başarılı olduğu kesinleşmiş işletmeler üzerinden modelleme yapıldığı görülmüştür. Bu çalışmada ise amaç finansal başarı durumu belli olmayan işletmelerin farklı bir yöntem kullanılarak tespit edilebileceği fikrini ortaya koymak ve daha sonraki çalışmalarda bu fikri geliştirebilmektir. Ayrıca, incelenen literatür çalışmalarında finansal olarak başarılı ve finansal olarak başarısız işletmelerden oluşan örneklem sayısının düşük olduğu görülmektedir. Örneklem sayısına bir bütün olarak bakıldığında yeterli gibi görünse de makine öğrenmesi modelinin eğitilmesi için eğitim ve test seti olarak bölündüğünde yetersiz kalabileceği öngörülmektedir.

Yapılan çalışmada ise eğitim seti olarak 2010-2016 yılları arasında faaliyet gösteren finansal olarak başarılı ve başarısız olduğu belirli olmayan 56.443 işletme verisi üzerinde çalışılmıştır. Bu belirsizliği gidermek için ise anomali tespit yöntemlerine odaklanılmıştır. İstatistiksel açıdan anomali değer kavramı incelendiğinde ortalama değerden ± 3 standart sapma dışında yer alan veriler anomali değer olarak adlandırılmaktadır. Ancak bu durum tek boyutlu başka bir deyişle tek değişkenli veri setlerindeki anomali gösteren veriyi belirlemek için kullanılabilir. Çok boyutlu veri setlerinde ise farklı istatistiksel uzaklık ölçüleri kullanılır. Bu ölçüler çoğunlukla doğru sonuç vermiş gibi görünse de birime bağımlı olduğu için yanıltıcı olabilir. Tüm bunlar göz önüne alınarak bu risklerden kaçınmak ve literatürde yaygın olarak çalışma yapılmamış bir yöntem kullanılması çalışmada izolasyon ormanı yöntemi kullanılması uygun görülmüştür. Böylelikle literatür çalışmalarından farklı olarak finansal başarısızlık yaşayan ve finansal başarısızlık yaşamayan işletmeler izolasyon ormanı yöntemi kullanılarak etiketlenmiştir. Veri setinin etiketlenmesi çalışmanın devamında denetimli öğrenme algoritmaları kullanmanın önünü açmıştır. Ayrıca izolasyon ormanı yönteminin 8 yıllık bilanço verisi üzerinde uygulanması örneklem sayısının yeteri kadar büyük olmasını sağlamıştır. Ancak anomali tespitinin doğası gereği etiketlenen veri setinde dengesiz sınıf dağılımı problemiyle karşılaşmıştır. Bu problem ise yeniden örnekleme yöntemleri olan rasgele aşırı örnekleme ve rasgele düşük örnekleme yöntemleri aracılığıyla ele alınmıştır. Bu doğrultuda çalışmanın ana amacı olan finansal başarısızlığın tespitinde izolasyon ormanı ve yeniden örnekleme yöntemlerinin başarısı ön plana alınmıştır. Yeniden örnekleme yöntemlerinin kullanılmasıyla birlikte her bir yöntem aracılığıyla farklı veri setleri elde edilmiştir. Elde edilen veri setleri ise ayrı ayrı modellenerek başarıları karşılaştırılmış ve nihai olarak en iyi veri seti ve model seçilmiştir. En başarılı model seçilirken test ve doğrulama veri setleri kullanılmıştır.

İzolasyon ormanı yöntemi test ve doğrulama veri setlerine uygulanmamıştır. Bunun nedeni model tahmini ve tahinlerin doğrulaması aşamasında herhangi bir yanlılığa sebebiyet vermemek olarak açıklanabilir. Çalışmadaki ana amacın izolasyon ormanı ve yeniden örnekleme yöntemleri kullanılarak finansal başarısızlığın tahmin edilmesi olduğu için farklı makine öğrenmesi yöntemlerinin karşılaştırılması yerine güncel olarak literatürde yaygın olarak kullanılan ve başarısını kanıtlamış XGBoost modeli üzerinde durulmuştur. Böylelikle modelin iyileştirilmesi ve yöntemlerin daha detaylı incelenmesinin önü açılmıştır.

Son olarak 2010-2016 yılları arasını kapsayan veriler eğitim verisi olarak kullandığında makine öğrenmesi yönteminin doğası gereği test ve eğitim olarak ayrılarak modelleme işlemi yapılmıştır. Bu sebeple bu aşamada verilecek olan model performans ölçütü olan karmaşıklık matrisini belirtmek yanıltıcı düşünceye sebep olabilir. Çalışma kapsamında izolasyon ormanı yönteminden etkilenmemesi için 2017 yılı test verisi, 2018 yılı verisi ise yeniden örnekleme ile oluşturulan modellerin doğrulanması için kullanılmıştır.

Yapılmış çalışmalar incelendiğinde araştırmaların hemen hemen hepsinde finansal başarısızlık yaşadığı kesin olan ve finansal başarısızlık yaşamayan işletmeler üzerinde çalışılmıştır. Bu çalışmada ise izolasyon ormanı yöntemi kullanılarak tüm veri seti incelenip verinin genel yapısını yansıtmayan birimler finansal başarısız işletme olarak etiketlenmiştir.

Makine öğrenmesi yöntemlerinde veri setinin yetersiz olması durumunda aşırı öğrenme ya da az öğrenme durumlarıyla karşılaşıldığı bilinmektedir. Veri setinin görece büyük olması ile ise daha genellenebilir bir model elde edilebilir. Literatürde konuyla ilgili yapılan diğer araştırmalar incelendiğinde, Kılıç ve Seyrek (2012) imalat sanayisinde faaliyet gösteren 137 işletme üzerinde yaptığı çalışmada yapay sinir ağları modelini kullanarak %94 doğru sınıflama oranına ulaştığını belirtmiştir. Benzer şekilde Kuzu ve Yakut (2020) çalışmalarında imalat sanayisinde faaliyet gösteren 153 işletme üzerinde çalışmışlardır. Farklı teknoloji düzeylerine sahip işletmelerin finansal başarısızlık tahminleri şu şekildedir; düşük teknoloji işletmeler için %93, orta-düşük teknoloji düzeyine sahip işletmeler için %90 ve orta-yüksek teknoloji düzeyine sahip işletmeler için %94. Gerçekleştirilen çalışmada ise en yüksek %78 doğru tahmin gücüne

sahip model elde edilmiştir. Ayrıca çalışma NACE Rev.2 28: Başka Yerde Sınıflandırılmamış Makine ve Ekipman İmalatı sektörü için gerçekleştirildiğinden tüm işletmelerin orta-yüksek teknoloji düzeyine sahip olduğu unutulmamalıdır. Literatür çalışmaları ve yapılan çalışma arasındaki tahmin gücündeki değişimi örnek sayısı ve kullanılan yöntemler açıklamaktadır.

Her çalışmada olduğu gibi bu çalışmada bazı kısıtlar altında gerçekleştirilmiştir. İleriki çalışmalarda finansal olarak başarılı ve başarısız işletmelerin etiketlenmesinde farklı yöntemler kullanılabilir ve yeniden örnekleme yöntemleri geliştirilerek farklı makine öğrenmesi modelleri uygulanarak model performansları karşılaştırılabileceği değerlendirilmektedir.

Bilgilendirme / Acknowledgements

Çalışmada kullanılan tüm veriler Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Girişimci Bilgi Sistemi (GBS)'nden temin edilmiştir.

All data used in the study were obtained from the Entrepreneur Information System (EIS) of the Ministry of Industry and Technology.

Yazar Katkıları / Author Contributions

Kardelen Şeyma Erdem: Literatür Taraması, Kavramsallaştırma, Veri Derleme, Analiz, Modelleme Makale Yazımı-rijinal taslak Mehmet Akif Bakır: Metodoloji, Makale Yazımı-inceleme ve düzenleme Kardelen Şeyma Erdem: Literature Review, Conceptualization, Data Curation, Analysis, Modelling, Writing-original draft Mehmet Akif Bakır: 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 çalışmalarını CC BY-NC 4.0 lisansı altında yayımlanmaktadır.

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

KAYNAKÇA

- Abar, H. (2020). "XGBoost ve Mars Yöntemleriyle Altın Fiyatlarının Kestirimi", *EKEV Akademi Dergisi*, 83, 427-446.
- Akkoç, S. (2007). "Finansal Başarısızlığın Öngörülmesinde Sinirsel Bulanık Ağ Modelinin Kullanımı ve Ampirik Bir Çalışma", Doktora Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kütahya.
- Aksoy, B. ve Boztosun, D. (2019). "İmalat İşletmelerinde Makine Öğrenmesi Yöntemleri Kullanılarak Finansal Başarısızlık Tahmini ve Sınıflandırma Performansının Karşılaştırılması: Borsa İstanbul Örneği", *2. Uluslararası Bankacılık Kongresi*, Çorum, 11-18.
- Aktaş, R., Doğanay, M. ve Yıldız, B. (2003). "Finansal Başarısızlığın Öngörülmesi: İstatistiksel Yöntemler ve Yapay Sinir Ağı Karşılaştırması", *Ankara Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi*, 58(4), 1-24.
- Altman, E.I. (1968). "Financial Ratios, Discriminant Analysis and the Prediction of Corporate Bankruptcy", *The Journal of Finance*, 23, 589-609.
- Ay, A. ve Yolaçan E. (2022). "Yeniden Örnekleme Metotlarının Kredi Kartı Sahtecilik Tespiti için Topluluk Öğrenmesine Kapsamlı Analizi", *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(5), 1005-1015.
- Beaver, W.H. (1966). "Financial Ratios as Predictors of Failure", *Journal of Accounting Research, Empirical Research in Accounting, Selected Studies*, 4, 71-111.
- Chawla, N.V., Bowyer, K.W., Hall, L.O. ve Kegelmeyer, W.P. (2002). "SMOTE: Synthetic Minority Over-sampling Technique", *Journal of Artificial Intelligence Research*, 16(1), 321-357.
- Chen T. ve Guestrin C. (2016). "XGBOOST: A Scalable Tree Boosting System", *KDD '16: Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 785-794
- Dağlı, H. (1994). "İşletme Başarısızlıkları ve Alınması Gerekli Önlemler", *Verimlilik Dergisi*, 1, MPM Yayınları, Ankara.
- Dixit, A. (2017). "Ensemble Machine Learning", Birmingham, Packt Publishing Ltd., UK.
- Ertan, A.S. ve Ersan, Ö. (2018). "Finansal başarısızlığı Belirleyen Etkenler: Türkiye İmalat Sektörü Örneği", *Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 40(2), 181-207.
- Fernández, A., García, S., Galar, M., Prati, R.C., Krawczyk, B. ve Herrera, F. (2018). "Learning from Imbalanced Data Sets", Springer Cham.
- Galar, M., Fernandez, A., Barrenechea, E., Bustince, H. ve Herrera, F. (2012). "A Review on Ensembles for the Class Imbalance Problem: Bagging-, Boosting-, and Hybrid-Based Approaches", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part C: Applications and Reviews*, 42(4), 463-485.
- Gönenli, A. (1994). "İşletmelerde Finansal Yönetim", İstanbul Üniversitesi. İşletme Fakültesi, İstanbul.
- Han, J. ve Kamber, M. (2006). "Data Mining: Concepts and Techniques", Morgan Kaufmann, San Francisco, CA.
- He, H. ve Garcia, E.A. (2009). "Learning from Imbalanced Data", *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 21(9), 1263-1284.
- Karacan, S. ve Savcı, M. (2011). "Kriz Dönemlerinde İşletmelerin Mali Başarısızlık Nedenleri", *Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 21(1), 39-54.
- Kılıç, Y. ve Seyrek, İ.H. (2012). "Finansal Başarısızlık Tahmininde Yapay Sinir Ağlarının Kullanılması: İmalat Sektöründe Bir Uygulama", *1. International Symposium on Accounting and Finance*, Gaziantep, 677-689.
- Kurtaran Çelik, M. (2010). "Bankaların Finansal Başarısızlıklarının Geleneksel ve Yeni Yöntemlerle Öngörüsü", *Yönetim ve Ekonomi*, 17(2), 129-143.
- Kuzu, B. ve Yakut, S. (2020). "Destek Vektör Makineleri Yardımıyla İmalat Sanayisinde Mali Başarısızlık Tahminlerinin Teknoloji Yoğunluğuna Göre İncelenmesi", *Osmaniye Korkut ata Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 4(2), 36-54.
- Liu, F.T., Ting, K.M. ve Zhou, Z. (2008), "Isolation Forest," *2008 Eighth IEEE International Conference on Data Mining*, Pisa, 413-422.
- Nguyen, H.G. (2005). "Using Neutral Network in Predicting Corporate Failure", *Journal of Social Sciences*, 1(4), 199-202.
- Ohlson, J.A. (1980). "Financial Ratios and the Probabilistic Prediction of Bankruptcy", *Journal of Accounting Research*, 1980, 109-131.
- Okka, O. (2009). "Finansal Yönetim Örnek Olayları ve Örnek Çözümler", 2. Baskı, Nobel Yayın Dağıtım, İstanbul.
- Öztürkler, L. (2012). "Finansal Başarısızlık Tahmini", Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Patil A., Framewala A. ve Kazi F. (2020). "Explainability of SMOTE Based Oversampling for Imbalanced Dataset Problems", *3rd International Conference on Information and Computer Technologies (ICICT)*, San Jose, CA, USA.

- Soba, M., Akyüz, F. ve Uğurcan, Y. (2016). "Şirketlerin Finansal Performanslarının Altman Yöntemiyle Analizi: Borsa İstanbul Örneği", *Uşak Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 9(28/4), 65-87.
- Taffler, R.J. (1983). "The Assesment of Company Solvency and Performance Using a Statistical Model", *Accounting and Business Research*, 13(52), 295-307.
- Tang, T.C. ve Chi, L.C. (2005). "Neural Networks Analysis in Business Failure Prediction of Chinese Importers: A Between-Countries Approach", *Expert Systems with Applications*, 29(2), 244-255.
- Toprak Kesgin, H., Shakeri, S., Bulut, N., Yüzükl, S. ve Aktaş, M.S. (2019). "Makine Öğrenmesi Kullanılarak Şirket Bilanço Verilerine Dayalı İflas Riski Tahmini", *4th International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK)*, Samsun, 195-200.
- Türksoy, A. (2007). "Konaklama İşletmelerinde Mali Başarısızlığa Yol Açan Etmenler". *Ege Academic Review*, 7(1), 99-115.
- Wilson, R.L. ve Sharda, R. (1994). "Bankruptcy Prediction Using Neural Networks", *Decision Support Systems*, 11(5), 545-557.
- Yangın, G. (2019). "XGBoost ve Karar Ağacı Tabanlı Algoritmaların Diyabet Veri Setleri Üzerine Uygulanması", Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yeşilyurt, S. ve Dalkılıç, H. (2021). "XGBoost ve Gradient Boost Machine ile Günlük Nehir Akımı Tahmini", *3rd International Symposium of III Engineering Applications on Civil Engineering and Earth Sciences*, Karabük, Türkiye.

Telepazarlama Çağrılarının Başarısını Tahmin Etmek Üzere Veriye Dayalı Bir Yaklaşım

Özge CÖMERT¹, Mesut TOĞAÇAR²

ÖZET

Amaç: Telepazarlama, telefon aracılığı ile satış yapmak üzere kullanılan pazarlama yöntemlerinden biridir ve günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışma, bankaların uzun vadeli mevduatlarını telefon aracılığıyla satmak için kullandıkları telepazarlama çağrılarının başarısını tahmin etmek amacıyla hesaplamalı bir model önermektedir.

Yöntem: Toplamda 45.211 adet telepazarlama çağrısı 16 öznelikle birlikte dikkate alınmıştır. Veriler %70 eğitim ve %30 test veri seti olmak üzere iki ayrı sete ayrılmıştır. Model için k -en yakın komşu (k -EK) makine öğrenmesi kullanılmış ve ilgili modelin hiperparametrelerinin Bayes optimizasyon yöntemi ile otomatik olarak belirlenmesi sağlanmıştır.

Bulgular: Gerçekleştirilen analizler sonucunda; %94,68 doğruluk, %62,96 hassasiyet ve %99,01 özgüllük değeri elde edilmiştir. Önerilen hesaplamalı yöntem sayesinde daha başarılı telepazarlama aramalarının yapılması sağlanarak, uzaktan satış oranının artırılması ve amaca yönelik olarak daha uygun potansiyel müşterilerin saptanması sağlanabilir.

Özgünlük: Bu çalışma kapsamında k -EK algoritmasına ve hesaplamalı modelin yapılandırılması için Bayes algoritmasına odaklanılmıştır. Literatürde benzer çalışmalarda manuel olarak belirlen hiperparametre değerlerinin mevcut çalışma kapsamında otomatik olarak saptanması sağlanmıştır. Sonuç olarak, telepazarlama alanında kullanılabilecek yeni bir hesaplamalı model önerisi gerçekleştirilmiş ve ümit verici sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Telepazarlama, Karar Destek Sistemi, Sınıflandırma, k -En Yakın Komşu Algoritması.

JEL Kodları: C8, M3, C11.

A Data-Driven Approach Estimating the Success of Telemarketing Calls

ABSTRACT

Purpose: Telemarketing is one of the marketing methods commonly used for sales over the phone and is widely employed today. This study aims to propose a computational model to predict the success of telemarketing calls used by banks to sell long-term deposits over the phone.

Methodology: A total of 45,211 telemarketing calls, along with 16 features, were considered. The data was divided into two separate sets: a 70% training set and a 30% test set. The k -Nearest Neighbors (k -NN) machine learning algorithm was utilized for the model, and the hyperparameters of the relevant model were automatically determined through Bayesian optimization.

Findings: As a result of the conducted analyses, an accuracy rate of 94.68%, precision of 62.96%, and specificity of 99.01% were achieved. The proposed computational method enables more successful telemarketing calls, leading to an increase in remote sales rates and the identification of more suitable potential customers for the purpose.

Originality: Within the scope of this study, the focus has been on the k -NN algorithm and the use of the Bayesian algorithm to configure the computational model. In contrast to similar studies in the literature where hyperparameter values were manually determined, this study has ensured the automatic determination of hyperparameter values within its scope. As a result, a novel computational model proposal for telemarketing has been presented, yielding promising results.

Anahtar Kelimeler: Telemarketing, Decision Support System, Classification, k -Nearest Neighbor Algorithm.

JEL Codes: C8, M3, C11.

¹ Öğr. Gör., Samsun Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Samsun, Türkiye, ozge.comert@samsun.edu.tr, ORCID: 0000-0001-7419-1848 (Sorumlu Yazar- Corresponding Author).

² Doç. Dr., Fırat Üniversitesi, İktisadi İdari Bilimler Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Anabilim Dalı, Elazığ, Türkiye, mtogacar@firat.edu.tr, ORCID: 0000-0002-8264-3899.

DOI: 10.51551/verimlilik.1136023

Araştırma Makalesi / Research Article | Geliş Tarihi / Submitted Date: 26.06.2022 | Kabul Tarihi / Accepted Date: 22.09.2023

Atıf: Cömert, Ö. ve Toğaçar, M. (2023). "Telepazarlama Çağrılarının Başarısını Tahmin Etmek Üzere Veriye Dayalı Bir Yaklaşım", *Verimlilik Dergisi*, 57(4), 735-746.

EXTENDED ABSTRACT

Telemarketing, a widely employed marketing method, involves selling products or services through telephone communication. This study introduces a computational model aimed at predicting the success of telemarketing calls used by banks to promote long-term deposits over the phone.

In this research, our focus centers on an open-access database containing 45,211 telemarketing calls described by 16 distinct features. We particularly emphasize the application of the k-nearest neighbors (k-NN) algorithm, a prominent machine learning approach, to extract valuable insights from this dataset. We adhere to the conventional steps for training a machine learning model, commencing with the division of the dataset into two segments: the training and test sets. Herein, we allocate 70% of the complete dataset for training purposes, reserving the remaining 30% for testing. Employing the k-NN machine learning model and harnessing the Bayes optimization method for the automatic determination of relevant hyperparameters, we attain a generalized performance, yielding an acceptable model.

Experimental trials were executed on a high-performance workstation equipped with an Intel® Xeon® Gold 6132 @2.60 processor and 64 GB of memory, utilizing MATLAB (2019a) for model training and testing. To assess the proposed model's performance, we initially utilize a confusion matrix. This matrix serves to establish the alignment between the model's predictions and actual values, subsequently allowing for the derivation of common metrics like accuracy, precision, and specificity.

During the optimization process, the test dataset remains untouched. Cross-validation, employing five folds, is conducted on the training set. Initially, the training set is partitioned into five equal subsets, and within each of the five cycles, four of these subsets are designated for training while the remaining one serves as the test set. As a result, the most efficient results are achieved with a k-value of 26 and the utilization of the Cityblock distance function. These parameters, determined through the Bayesian optimization algorithm, are then employed for model training, subsequently yielding performance metrics on the test dataset.

The overall accuracy performance stands at 94.68%, which is remarkably close to the desired outcome of near perfection, indicating significant promise. The combination of accuracy and error values provides a comprehensive assessment of model integrity, with the error value registering at 0.0532.

Furthermore, it is crucial to interpret precision (0.6296) and specificity (0.9901) metrics. These metrics indicate that the system does not equally distinguish between positive and negative cases, particularly in scenarios where dataset classes are unevenly distributed. In such cases, the F1 score metric becomes a valuable addition to the evaluation, offering a more precise assessment of the model's generalization performance. In this context, the F1 score attains a value of 0.7398. These evaluations facilitate a comprehensive appraisal of the model's performance, aiding in the identification of strengths and areas necessitating improvement.

In summary, the analysis conducted yields an impressive 94.68% accuracy, 62.96% precision, and 99.01% specificity. The proposed computational approach not only paves the way for more successful telemarketing calls but also contributes to increasing remote sales rates and identifying more suitable potential customers for targeted purposes.

This study predominantly focuses on the k-nearest neighbors (k-NN) algorithm and the Bayesian optimization algorithm for configuring the computational model. Distinguishing itself from similar studies in the literature that manually determined hyperparameter values, this research automates the process, culminating in a novel computational model proposal for telemarketing with promising results.

1. GİRİŞ

Hızla evrilen ve gelişen dünyada, tüketici davranışları da değişim göstermektedir. Tüketicilerin değişen profilleri karşısında, tüketiciye yönelik etkili pazarlama yöntemleri ve araçları sürekli bir şekilde yenilenmekte ve geliştirilmektedir. Özellikle son yıllarda yükselen eğilimlerle birlikte, işletmelerin tutundurma faaliyetleri üzerine daha fazla odaklandığı gözlemlenmektedir. Bu nedenle, işletmeler özellikle telepazarlama gibi doğrudan pazarlama yöntemlerini tercih etmekte ve bu yöntemleri sıklıkla kullanmaktadır. Uluslararası pazarda doğrudan pazarlamayı benimseyen işletme sayısında 1990'lı yıllardan sonra ciddi bir artış gözlenmiştir. Bu artışa uyum sağlayabilen işletmeler, değişimleri hızla benimsemeye ve uyum göstermeye çalışmaktadırlar (Gelibolu ve Özsoy, 2013).

Firmalar kullandıkları tutundurma aracının türüne göre kitlesel ya da kişisel araçlardan birini tercih etmektedir. Kitlesel araçlar sıklıkla kitlesel pazarlama yöntemi içerisinde kullanılmakta iken kişisel araçlardan daha çok doğrudan pazarlama yöntemi içerisinde faydalanılmaktadır. Kişisel teknolojik araçların son yıllarda gittikçe artan kullanımı ile birlikte bir doğrudan pazarlama yöntemi olarak telepazarlama firmalar tarafından daha sık kullanılır hale gelmiştir. İşletmeler artık müşterilerine birebir iletişim kurarak doğrudan pazarlama imkânı sunmak istemektedir. Doğrudan Pazarlama Birliği (Direct Marketing Association) tarafından ise doğrudan pazarlama potansiyel ve mevcut müşterilerle iletişim kurmak için kişiselleştirilmiş mesajlar kullanan pazarlama iletişimi biçimi olarak ifade edilmiştir (Aytaç ve Bilge, 2013). Doğrudan pazarlamanın en büyük özelliği ölçülebilir ve herhangi bir yerde (evde, işte vb.) gerçekleştirilebilir olmasıdır. Doğrudan pazarlamanın temel hedefi, potansiyel müşterileriyle düşük maliyetli ve birebir bir ilişki kurarak mevcut müşteri profilini oluşturmaktır. Böylelikle potansiyel müşteri profilleri belirlenmiş olur. Aynı zamanda gelecekteki müşteri profilleri de tahmin edilebilir (Dolgun ve Ersel, 2014).

Doğrudan pazarlama yöntemi ile müşterilerle SMS, MMS, video, viral reklam vb. araçlarla iletişim kurulmaktadır. Bu yöntem ile düşük maliyet ile hedef kitleye hızlı ve kolayca ulaşım sağlanmaktadır. Özellikle bankacılık sektöründe doğrudan pazarlama yöntemlerinden biri olan telepazarlama yoğun olarak tercih edilmektedir. Çünkü değişen koşullardan etkilenen hedef kitleye bankaların ulaşım biçimlerinde de değişim gerekli olmuştur. Bu nedenle bankalar müşterilerine geleneksel yöntemlerle ulaşmak yerine yeni iletişim yöntemlerinden biri olan telepazarlama yöntemi ile de ulaşım sağlamaktadır. Telepazarlama iki kategoride ele alınmaktadır. Müşterilerden gelen çağrılar için gelen (veya içe doğru) telepazarlama, müşterilere yaptıkları çağrılarda ise giden (veya dışa doğru) telepazarlama şeklindedir (Kara ve Hacıhasanoğlu, 2015).

Telepazarlama genel anlamda; yeni tüketicileri çekme, mevcut olan müşterilerin sorularına yanıt verme veya sipariş alarak hizmet sağlamak amacıyla telefonların ve çağrı merkezlerinin kullanımı olarak tanımlanmaktadır (Aytaç ve Bilge, 2013). Özellikle günümüzde hizmet sektöründe çağrı merkezleri yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Çünkü yüz yüze iletişime göre daha ucuzdur. Bundan dolayı tüm bankalar çağrı merkezleri kurmaktadır. Çağrı merkezleri bankalara müşteri memnuniyeti, tatmini ve sadakati gibi fırsatlar sağlarken diğer yandan müşterilere de istedikleri yerden telefon aracılığıyla bankacılık faaliyetlerini yapabileme, 24 saat hizmet veren çağrı merkezleri ile mesai saatleri dışında da hizmet alabilme ve alacakları hizmet hakkında daha detaylı bilgi edinme gibi avantajlar sağlamaktadır (Aytaç, 2013). Tüm dünyada teknolojinin hızla ilerlemesine paralel olarak bankalar rekabet üstünlüğü sağlamak amacıyla pazarlama sektörüne yatırımlar yapmaya başlamıştır. Hemen hemen bütün sektörlerde pazarlamanın önem kazanmasıyla bankalarda pazarlama stratejilerini gözden geçirerek ileri teknolojiye dayanarak yeni pazarlama stratejileri geliştirmişlerdir. Bu faaliyetlerinin başında müşterilerin bankaya 7/24 ve her yerden ulaşabilmelerini sağlayabilmek gelmektedir (Balsöz, 2004).

Tüm dünyada çağrı merkezi uygulamasına geçen ilk sektörlerden biri finans sektörü olmuştur. Çağrı merkezinin en yaygın kullanıldığı alan ise bankacılıktır. Bankalar çağrı merkezlerini kar merkezi olarak tanımlamaktadırlar (Zengin, 2010). Çünkü çağrı merkezleri hem satışları desteklemekte hem de farklı profillere sahip müşteri bilgilerini toplayarak bu toplanan verilerle farklı gruplardaki müşterilere ulaşma imkânı sağlamaktadır (Sarıyer, 2007).

Bu çalışmanın ana hedefi, bankaların uzun vadeli mevduatlarını telefon aracılığıyla satma konusundaki telemarketing çağrılarının başarısını artırmaktır. Bu amaç doğrultusunda, zaman ve iş gücü açısından verimliliği artırmak için makine öğrenmesi algoritmalarına dayalı hesaplamalı bir model önerisinin sunulması hedeflenmektedir. Bu ana hedef doğrultusunda, yapılandırılmış müşteri verilerini temel alan bir modelleme çalışması gerçekleştirilmiştir. Temel amaç, telemarketing çağrılarında olumlu yanıt verebilecek potansiyel müşterileri belirlemek ve bu amaçla yapılan çağrılarının olumlu sonuçlanma oranını yükseltmektir. Bu çalışmanın özgün yönü, modelle ilgili hiperparametrelerin literatürdeki benzer çalışmalardan farklı olarak manuel olarak veya deneme-yanılma yöntemleriyle belirlenmek yerine Bayes optimizasyon algoritmasıyla belirlenmesidir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bilgi ve iletişim teknolojilerindeki gelişim pazarlamanın da dinamiklerini değiştirmiştir. Geleneksel pazarlama yöntemlerinin yerini yenilikçi teknolojilerle güncellenen yeni pazarlama yöntemlerinin aldığı gözlemlenmektedir. Sürekli değişen ve gelişen ürün ve hizmet çeşitleri arasında tüketicilerin ihtiyaçları da değişkenlik göstermektedir. Bu değişim eğiliminde yetişebilmek için pazarlama araçları da sürekli güncellenmek durumundadır. Geleneksel pazarlama araçlarının yerini yapay zekâ teknolojileriyle güncellenen yeni pazarlama araçlarının aldığı görülmektedir. Gelişen teknolojileriyle birlikte işletmeler müşterilerinden elde etmek istedikleri bilgileri kolayca toplayıp, saklamakta ve değer üretmek üzere müşteri verileri yasal izinler dahilinde işlenmektedir. Özellikle son dönemlerde elektronik ticarete artan ilgi işletmeleri harekete geçirmiştir. Müşterileri ile etkin bir iletişim kurarak çevrimiçi alışveriş ortamı sunan işletmeler, performanslarını bu yolla artırmayı hedeflemektedir. Hem işletmelerin hem de müşterilerin bu dönüşüme kolayca uyum sağladıkları görülmektedir (Akın, 2008).

Literatürde doğrudan pazarlamanın farklı tanımları yapılmaktadır. Doğrudan pazarlama günümüzdeki en hızlı gelişen sektörlerden biri olarak değerlendirilmektedir. Doğrudan pazarlamada firmalar müşteriye doğrudan ulaşarak etkileşimli bir iletişim sağlamaktadır. Anında sonuç alınabilmesi doğrudan pazarlamanın etkileşimli bir pazarlama sistemi olduğunu kanıtlamaktadır. Doğrudan pazarlamanın bu yönü iki farklı şekilde tanımlanmasına neden olmuştur. Bir grup doğrudan pazarlamayı verimliliği ve kar oranlarını artırmak için geleneksel dağıtım kanallarına ilave bir yöntem olarak görmekte iken; diğer grup ise ticaretin başlıca aracı olarak görmektedir. Doğrudan pazarlamanın birçok farklı tanımı yapılmasının nedeni doğrudan pazarlamanın farklı özelliklere sahip olmasıdır. Tam olarak doğrudan pazarlama tüm tüketicilerin pazarlama faaliyetlerinin hepsine doğrudan tepki gösterebileceği ve cevap verebileceği biçimde tanımlanabilir (Yılmaz, 2021).

Geleneksel pazarlama yöntemlerinin yerini alan doğrudan pazarlama, dünyadaki hızlı değişime kolayca ayak uydurabilmektedir. Geleneksel pazarlama yöntemleri ile alışveriş yapmak çeşitli zorluklar içerir. Doğrudan pazarlama, modern dünyanın değişen yaşam koşulları, kentlerin yapısı, nüfus artışı gibi zorlaşan hayat koşullarına daha kolay uyum sağlayarak alışveriş yapmayı kolaylaştırmaktadır. Küreselleşmenin kaldırdığı sınırlara ilaveten teknolojinin gelişmesi ile birlikte insanların kolayca ve kısa sürede alışveriş yapabilmesi doğrudan pazarlamaya olan rağbetin neden arttığını açıklamaktadır. Diğer yandan toplumdaki sosyo-kültürel değişimler, özellikle eğitim ve gelir seviyesinin artması, kadının iş yaşamında daha fazla rol alması ve tüketici profillerinin sahip oldukları olanakların gittikçe iyileşmesi sonucunda doğrudan pazarlamanın yaygınlaştığı görülmektedir. Doğrudan pazarlama, son 20 yılda dünyada en hızlı gelişen pazarlama faaliyetleri arasında ilk sıradadır (Chopra ve diğerleri, 2023).

Telepazarlama, doğrudan pazarlamanın bir parçası olarak değerlendirilen bir yöntemdir. Bu yaklaşım, potansiyel müşterilerle telefon, faks ve internet gibi telekomünikasyon araçları vasıtasıyla iletişim kurmayı, nitelikli iletişim sağlamayı ve ürün ile hizmetlerin satışını gerçekleştirmeyi amaçlar. Telefonla pazarlama, potansiyel satış fırsatları oluşturma, satış gerçekleştirme veya pazarlama bilgileri toplama amacıyla telefonun kullanıldığı bir süreçtir. Telefonla pazarlama, 1970'lerde yükselen bir popülerite kazanmış olup, o günden bu yana karmaşık pazarlama stratejilerinin temel öğelerinden biri olarak kabul edilmektedir (Pappa, 2018).

Telepazarlama, 20. yüzyılın başlarından itibaren özellikle finansal hizmetler sunan şirketler tarafından planlı bir pazarlama stratejisi olarak benimsenmeye başlanmıştır. Bu çerçevede yeni müşteri kazanımı, veri tabanlarının güncellenmesi, ürün dağıtımı ve yeni araştırmalar için etkili bir pazarlama aracı olarak kullanılmıştır (Gelibolu ve Özsoy, 2013). Telepazarlama, özellikle küçük işletmeler için son derece değerli bir araç olabilir; çünkü kişisel satış yaklaşımına kıyasla zaman ve maliyet tasarrufu sağlar. Bununla birlikte, müşterilerle doğrudan iletişim konusunda aynı ölçüde avantaj sunma kapasitesine sahip değildir (Algorabi ve Namlı, 2022).

Veri madenciliği yöntemleri birçok alanda kullanılmaktadır. Verilerin bilgiye dönüşümü sağlıktan eğitime, otomotivden finansa kadar pek çok alanda sektörlerle üstünlük sağlamaktadır. Özellikle bankacılık sektöründe pazarlama sürecinde müşteri tespiti ve müşteriye ulaşımı kolaylaştırmak için yapılan çalışmada veri madenciliği yöntemi ile yapılan kampanyalara katılan müşteriler tespit edilmiştir. Son dönemde telefon bankacılığında doğrudan pazarlama, özellikle müşterilerin etkin katılımıyla ilişkilendirilerek önem kazanmıştır. Bu tür kampanyaların başarısının, veri madenciliği yöntemleri ile artırılabilir bir potansiyele sahip olduğu ifade edilmiştir. Çalışmada, telefon bankacılığı verileri üzerinde sınıflandırma işlemi için karınca kolonisi optimizasyonu gibi bir veri madenciliği yöntemi kullanarak sezgisel bir algoritmanın geliştirilmesi sağlanmıştır. Karınca kolonisi algoritması kullanılarak müşterilerin kredi alabilme ihtimalleri tahmin edilmiş ve sonuçlar, diğer yaygın veri madenciliği yöntemleri ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, bankaların sıklıkla kullandığı telepazarlama yöntemi veri madenciliği yöntemleri ile beraber kullanıldığında bankaların başarılı sonuçlar elde ettikleri sonucuna varılmıştır (Akçetin ve Çetin, 2015).

Bir diğer çalışmada, bir bankanın pazarlama kampanyaları için, bankada vadeli hesap açma durumu, müşterilerin kişisel özelliklerine dayalı olarak incelenmiştir. Bu amaçla, literatürde aynı veri seti için kullanılan istatistiksel yöntemler ve çok katmanlı yapay sinir ağı tarafından elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, veri sayısının oldukça yüksek olması nedeniyle, bankada vadeli hesap açılıp açılmayacağı %94,30 doğruluk ile tahmin edilmiştir (Karakuş, 2021).

Başka bir araştırmada, veri madenciliğinin doğrudan pazarlama üzerindeki etkisi özel bir odakla ele alınmıştır. Özellikle telepazarlama pratiğinin bankalar tarafından yoğun bir biçimde benimsenmesi nedeniyle, müşteri görüşmelerinin etkinliği ve müşteri memnuniyeti üzerine odaklanılmıştır. Veri madenciliği, bankaların müşteri profillerini daha derinlemesine anlama ve daha etkili müşteri ilişkileri kurma potansiyelini taşıdığı şekilde ele alınmıştır. Bu çalışma, CRISP-DM yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen bir analizle bankalar ve benzeri kurumların müşteri iletişimini daha iyi anlama ve kişiselleştirilmiş teklifler sunma kapasitelerine ışık tutan bir veri madenciliği sürecini örneklemiştir. Bu şekilde, literatüre önemli bir katkı sunarak işletmelerin pazarlama stratejilerini daha etkili hale getirme potansiyelini vurgulamıştır (Aytaç ve Bilge, 2013).

Başka bir araştırma, yükselen elektronik bankacılığın önemini öne çıkararak, bankacılık sektöründe veri madenciliği tekniklerinin nasıl etkili bir şekilde kullanılabileceğini araştırmıştır. Bir bankacılık kurumunun pazarlama kampanyası verileri üzerinde yapılan analiz sonuçları, C4.5 algoritmasının en üstün sınıflandırma modeli olarak öne çıktığını göstermektedir. Ayrıca, bu çalışmanın topluluk öğrenme yöntemleri ve sentez indeksi gibi yeni performans ölçütleri geliştirme bağlamında literatüre önemli bir katkı sağladığı belirlenmiştir. Bu anlamda, veri madenciliğinin bankacılık sektöründe doğrudan pazarlama stratejilerinin geliştirilmesinde ne kadar hayati bir araç olduğu vurgulanmıştır (Algorabi ve Namlı, 2022).

Bu çalışma, telepazarlama faaliyetlerinin etkinliğini artırmayı hedefleyerek gerçekleştirilmiştir. Temel amacı, en uygun müşterilere ulaşma stratejilerini geliştirmektir. Bu bağlamda, *k*-En Yakın Komşu (*k*NN) ve Bayes makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak veri analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analizler sayesinde, müşteri profilleri ve tercihleri daha iyi anlaşılabilir, telepazarlama çabalarının odaklanacağı müşteri segmentleri belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda, telepazarlama alanında kullanılabilecek yeni bir hesaplamalı model önerisi sunulmuştur. Bu model, müşteri segmentasyonu ve ürün önerilerini içeren bir yöntem sunarak, telepazarlama stratejilerinin daha etkili ve kişiselleştirilmiş olmasını amaçlamaktadır. Ayrıca bu çalışma, telepazarlama ve makine öğrenmesi arasındaki entegrasyonun önemini vurgulayarak, işletmelerin müşteri ilişkilerini güçlendirme ve satışlarını artırma potansiyelini artırmayı amaçlamaktadır.

Çalışmanın organizasyonu şu şekilde gerçekleştirilmiştir: Birinci bölümde, doğrudan pazarlama ve telepazarlama kavramlarına odaklanılır. İkinci bölümde literatür özeti sunulmaktadır. Üçüncü bölümde, çalışmada kullanılan veri seti ve makine öğrenmesi algoritmaları özetlenmekte ve bu bölümde kullanılan yöntemlerin temel detayları açıklanmaktadır. Dördüncü bölümde, elde edilen bulgular ve bu bulguların çalışma çerçevesindeki anlamları ve sonuçları detaylı bir şekilde ele alınmaktadır. Son olarak, beşinci bölümde çalışmanın sonuçları sunulmakta, elde edilen sonuçlar ve bu sonuçların gelecekteki çalışmalar için potansiyel katkıları vurgulanmaktadır.

3. YÖNTEM

3.1. Veri Seti

Çalışma kapsamında kullanılan veri seti tanınmış bankalara ait olan telepazarlama çağrılarını içermektedir. Veri setinin karakteristiği çok değişkenlidir. Veri seti, toplamda 45.211 adet veri içermektedir. Her bir veri 16 öznitelik ile temsil edilmiştir (Moro ve diğerleri, 2014). Veri setinde yer alan öznitelikler, açıklamaları ve veri türleriyle birlikte Tablo 1'de sunulmuştur.

Özniteliklere ilaveten, ilgili müşterinin herhangi bir mevduat ürününe dahil olup olmadığını içeren bir de sonuç değişkeninin tanımı da veri seti içerisinde sunulmuştur.

Veriler telepazarlama kapsamında yapılan çağrılarının sonuçlarının başarılı olup olmadığını içeren iki sınıfa ayrılmıştır. Buna göre toplamda 45.211 kayıt sonucunda başarılı arama sayısı 5.289 iken başarısız arama sayısı 39.922 olarak rapor edilmiştir. Görüldüğü üzere, kayıtların sınıflar arasındaki dağılımı dengeli değildir. Deneysel çalışmalar kapsamında, tüm veri seti %70 ve %30 oranlarında iki kümeye ayrılmıştır, bunlar eğitim ve test kümeleridir. Eğitim ve test kümesi içerisinde kullanılan kayıtlara ait dağılımlar Tablo 2'de verilmiştir. 27.987 başarısız ve 3.661 başarılı arama sonucu olmak üzere toplam 31.648 kayıt eğitim veri setinde kullanılırken; 11.935 başarısız ve 1.628 başarılı olmak üzere toplam 13.563 kayıt test setinde kullanılmıştır.

Tablo 1. Öznitelikler ve açıklamaları

No	Öznitelik	Verinin Türü	Açıklaması
1	Yaş	Sayısal	Müşterinin yaşı
2	İş	Kategorik	Müşterinin yaptığı iş
3	Evlilik	Kategorik	Müşterinin medeni durumu
4	Eğitim	Kategorik	Müşterinin eğitim düzeyi
5	Kredi Durumu	Kategorik	Müşterinin kredisi bulunmakta mıdır?
6	Bakiye	Sayısal	Hesaptaki mevcut para miktarı
7	Konut	Kategorik	Müşterinin ev kredisi var mıdır?
8	Bireysel	Kategorik	Müşterinin bireysel kredisi var mıdır?
9	İletişim	Kategorik	İletişim türü
10	Gün	Sayısal	Haftanın en son iletişim kurulan günü
11	Ay	Kategorik	Yılın en son iletişim kurulan ayı
12	Süre	Sayısal	Son iletişim süresi (saniye)
13	Kampanya	Sayısal	Bu kampanya için müşterinin aranma sayısı
14	Geçmiş Gün	Sayısal	Bir önceki kampanyadan sonra tekrar iletişim kurmak üzere geçen gün sayısı
15	Önceki	Sayısal	Bu kampanyadan önce müşterinin diğer kampanyalar için aranma sayısı
16	Sonuç	Kategorik	Önceki pazarlama kampanyasının sonucu

Tablo 2. Kayıtların veri seti ve test setindeki dağılımları

	Başarısız	Başarılı	Toplam
Eğitim seti	27.987	3.661	31.648
Test seti	11.935	1.628	13.563

3.2. *k*-En Yakın Komşu Algoritması

k-EK algoritması, parametrelerin bağımsız olduğu bir makine öğrenmesi yöntemine örnektir. Yöntem oldukça basit olmasına rağmen birçok sınıflandırma problemi için aynı zamanda oldukça verimlidir (Akbulut ve diğerleri, 2017).

k-EK algoritması (S, k, T) olarak ifade edilen üç parametre temelinde tanımlanabilir. Burada S , gerçek veya tamsayı olarak tanımlanmış olan N -boyutlu bir uzayda her veri çiftini birbirine bağlayan bir benzerlik ölçüsü olarak ifade edilir. k sınıflandırmayı gerçekleştirmek için eğitilen en yakın veri sayısını temsil eder. T sınıflandırmayı gerçekleştirmek üzere, sınıflandırıcı tarafından uygulanan eğitim verilerinin vektörünü temsil eder (Cömert, 2020).

Tablo 3. Uzaklık fonksiyonları

Uzaklık Metriği	Açıklama
Öklid	Öklid uzaklık metriği.
Standardize Edilmiş Öklid Cityblock	Standardize edilmiş Öklid uzaklık metriği. X ve Y düzlemindeki her bir koordinat değeri, X vektörünün standart sapma ya da maksimum değerine bağlı olarak ölçeklenir.
Chebychev	Chebychev uzaklık metriği. Maksimum koordinat farklılığı.
Minkowski	Minkowski uzaklık metriği. Varsayılan üs 2'dir.
Mahalanobis	Mahalanobis uzaklığı, pozitif belirli bir kovaryans matrisi kullanılarak hesaplanır.
Cosine	Cosine metriği, gözlemler arasındaki dahil edinen açının kosinüsün bir eksiğini ifade eder. Vektör olarak dikkate alınır.
Correlation	Korelasyon metriği, gözlemler arasındaki örnek doğrusal korelasyonun bir eksiğini ifade eder. Değer dizileri olarak ele alınır.
Spearman	Gözlemler arasındaki Spearman sıralama koleksiyonunun bir eksiğini ifade eder.
Hamming	Hamming uzaklık metriği, farklı koordinatların yüzdesini temsil eder.
Jaccard	Sıfır olmayan farklı koordinatların yüzdesinin temsil eden Jaccard katsayısının bir eksiğini ifade eder.

k -EK algoritması uzaklıkları ölçmek üzere Öklid gibi uzaklık metriklerini kullanır. Bu metrikler dayandıkları matematiksel ifadeye göre benzerlik ölçümünü hesaplamak üzere kullanılırlar. Eşitlik 1'de Öklid uzaklık hesabına yer verilmiştir.

$$d_0 = \sqrt{x_i^2 - y_i^2} \quad (1)$$

Uzaklık metrikleri Öklid ile sınırlı değildir. Benzer amaçla kullanılan uzaklık metriklerine Tablo 3'de yer verilmiştir. Değişken t bir veri örneği olarak ele alındığında, sınıflandırmanın uygulandığı ve en yakın komşunun ortaya çıkarıldığı varsayıldığında, bu durum aynı zamanda t 'yi bir komşu yapar. Değişken t sınıflandırılırken hangi uzaklık metriğinin kullanıldığı ve k komşu sayısının kaç olarak seçildiği, sınıflandırma başarı oranına doğrudan etki ettiğinden elbette kritik bir konudur. Bu kapsamda, k değerini seçmenin pek çok farklı yolu olabilir. Bu amaçla pek çok farklı k değeri için algoritma deneme ve yanılma yoluyla tekrar tekrar çalıştırılabilir (Alickovic ve diğerleri, 2018). Alternatif olarak, modelin k ile bağımlılığını minimuma indirmek üzere optimizasyon algoritmaları kullanılabilir.

3.3. Bayes Optimizasyon Algoritması

Bayes optimizasyon algoritması herhangi bir fonksiyonel formu olmayan kara kutu işlevlerinin global optimizasyonu için sıralı bir tasarım stratejisi olarak tanımlanabilir. Genellikle değerlendirilmesi maliyetli olan fonksiyonların optimize edilmesi için kullanılır (Sevindik ve Cömert, 2010).

Bayes optimizasyon algoritmasında nesnel işlev bilinmediğinden dolayı Bayes stratejisi buna rastgele bir işlev olarak davranıp, üzerine bir öncelik koymaktadır. Böylelikle fonksiyonun davranışı hakkında bilgi edinilir. Veri olarak kabul edilen fonksiyon değerlendirmeleri toplandıktan sonra, arka plandaki dağılımı oluşturmak üzere güncelleme gerçekleştirilir. Sonraki dağılım, bir kazanım fonksiyonu oluşturmak üzere kullanılır (Nour ve diğerleri, 2020).

3.4. Performans Metrikleri ve Modelin Doğrulanması

Önerilen modelin performansını değerlendirmek üzere öncelikle hata matrisi kullanılmıştır. Hata matrisi modelin tahmin ettiği değerler ile gerçek değer arasındaki ilişkilendirmeyi yapmak üzere kullanılır. Bir hata matrisi temelde dört temel indis değerinden oluşur. Bunlar doğru-pozitif (DP), doğru-negatif (DN), yanlış-pozitif (YP) ve yanlış-negatif (YN) olarak ifade edilir (Cömert ve diğerleri, 2018). DP, modelin tahmin ettiği ve aynı zamanda gerçekten de pozitif olan örneklerin sayısını temsil ederken; YP, modelin pozitif olarak tahmin ettiği ancak gerçekte negatif olan örneklerin sayısına karşılık gelir. Benzer şekilde DN, modelin negatif olarak tahmin ettiği ve gerçekte de negatif olan örneklerin sayısını temsil ederken; YN, modelin negatif olarak tahmin ettiği ancak aslında pozitif olan örneklerin sayısına karşılık gelir. Tablo 4'de bir hata matrisinin gösterimine yer verilmiştir.

Tablo 4. Hata matrisi

	Pozitif Tahmin	Negatif Tahmin
Gerçek pozitif tahmin	DP	YN
Gerçek negatif tahmin	YP	DN

Hata matrisi bir modelin çalışılan problem üzerindeki performansını ölçmek üzere kullanılırken; aynı zamanda yaygın olarak kullanılan performans metriklerinin de hesaplanmasına olanak verir. Bu metrikler genellikle doğruluk, hassasiyet ve özgüllük olarak ifade edilmektedir ve Eşitlikler 2-4'te ilgili performans metriklerinin nasıl hesaplandığı ifade edilmiştir. Doğruluk, DP ve DN sayılarının toplamının, hata matrisini oluşturan tüm indislerin toplamına oranı olarak tanımlanır ve sistemin çalışılan problem üzerindeki genel performansını değerlendirmek üzere kullanılır. Hassasiyet, modelin pozitif örnekler üzerindeki başarısını değerlendirmek üzere kullanılan performans metriğidir. Benzer şekilde özgüllük, modelin negatif örnekler üzerindeki başarımını ölçmek üzere kullanılan performans metriği olarak özetlenebilir.

$$\text{Doğruluk} = \frac{DP+DN}{DP+DN+YP+YN} \quad (2)$$

$$\text{Hassasiyet} = \frac{DP}{YN+DP} \quad (3)$$

$$\text{Özgüllük} = \frac{DN}{YP+DN} \quad (4)$$

Verilerin sınıflar arasındaki dağılımının dengesiz olduğu durumlarda modelin performansını değerlendirmek üzere kullanılan faydalı yöntemlerden biri de alıcı işletim karakteristik (AİK) eğrileridir (He ve Garcia 2009). Bu eğrilerin altında kalan alan (EAA) ne kadar bire yaklaşırsa ise modelin o kadar verimli olduğu kabul edilir (Hagan ve diğerleri, 1996).

4. BULGULAR

Deneysel çalışmalar Intel® Xeon® Gold 6132 @2.60 işlemcili ve 64 GB belleğe sahip bir iş istasyonu üzerinde gerçekleştirilmiştir. Modelin eğitimi ve testi için MATLAB (2019a) programı kullanılmıştır.

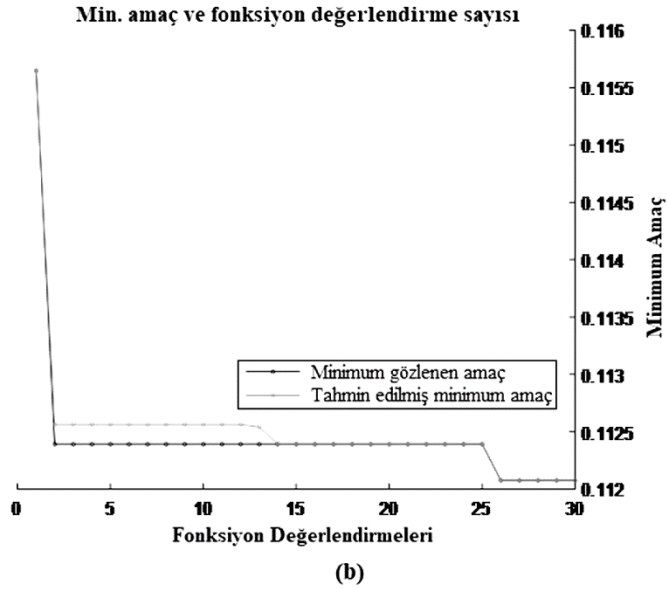
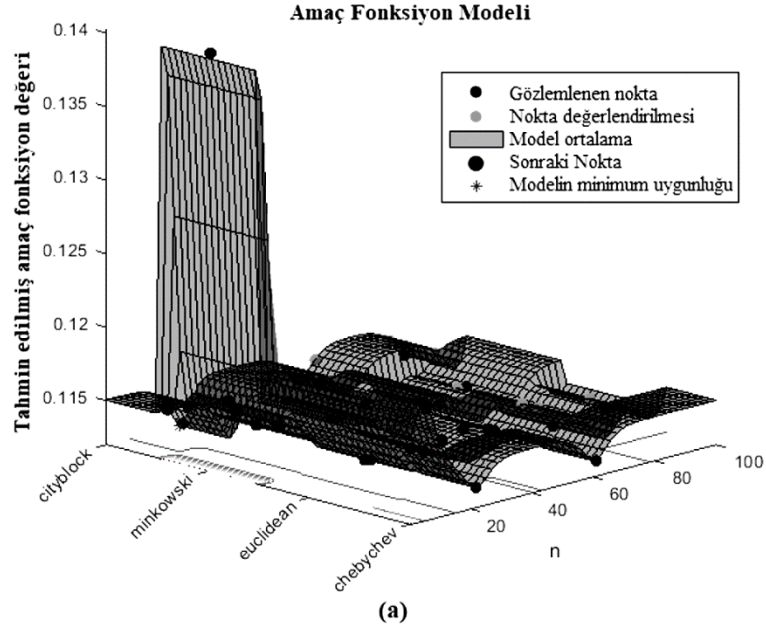
Veri seti %70 ve %30 oranlarında eğitim ve test seti olarak iki parçaya ayrılmıştır. k -EK algoritması için k komşu değeri ve kullanılacak uzaklık fonksiyonunun belirlenmesini sağlamak üzere Bayes optimizasyon algoritması kullanılmıştır. Bu kapsamda k değeri 0 ve 100 arasında aranmış ve uzaklık fonksiyonu için Cityblock, Minkowski, Öklid ve Chebychev dikkate alınmıştır. Optimizasyon süreci Şekil 1'de özetlenmiştir. Şekil 1, dört farklı uzaklık fonksiyonunun kullanıldığı ve bu fonksiyonlarla ilişkilendirilen k en yakın komşu sayısının modele olan etkisini göstermektedir. Bu grafik, farklı uzaklık metriklerinin seçiminin ve k en yakın komşu sayısının, bir modelin genel performansına ne şekilde etki ettiğini açıklamayı amaçlamaktadır. Şekil 1'in analizi, k en yakın komşu algoritmasının performansını etkileyen farklı uzaklık metriklerinin seçimini ve k değerinin belirlenmesini aydınlatarak, modelin en uygun parametrelerini belirleme sürecine katkı sağlamaktadır.

Optimizasyon prosedürü yürütülürken test veri seti hiç kullanılmamıştır. Optimizasyon sırasında eğitim seti üzerinde beş katlı çapraz doğrulama işlemi gerçekleştirilmiştir. Öncelikle eğitim seti beş eş parçaya ayrılmış ve toplamda beş döngü içerisinde her bir döngüde verilerin dört parçası eğitim, bir parçası test seti olacak şekilde kullanılmıştır. Neticede, k değeri 26 iken ve uzaklık fonksiyonu Cityblock olarak ayarlandığında en verimli sonuçlar elde edilmiştir. Bayes optimizasyon algoritması kullanılarak belirlenen bu parametreler modelin eğitimi için kullanılmış ve test veri seti üzerinden performans değerleri elde edilmiştir.

Belirlenen parametrelere göre elde edilen hata matrisi Şekil 2'de sunulmuştur. Şekil 2 bir hata matrisini temsil eder ve bu matris, dört farklı indeksi içerir: bunlar DP, DN, YP ve YN. Bu indisler, modellerin performansını değerlendirmek ve sınıflandırma sonuçlarını analiz etmek amacıyla kullanılır. İlgili matris dikkate alındığında verilerin diyagonal ekseninde toplanması beklenirken, birinci sınıf için yani bir başka ifadeyle başarılı satış sayısı için bu sürecin tam olarak istenilen seviyede gerçekleşmediği görülmektedir. Bu durumun en temel sebebi verilerin sınıflar arasındaki dağılımının eşit olmamasıdır, yani dengesiz veri dağılımıdır. Verilerin sınıflar arasında dengesiz bir şekilde dağılması durumunda genellikle makine öğrenmesi yöntemleri çoğunluk sınıfı ayırt edecek şekilde yanlış bir öğrenme gerçekleştirir.

Şekil 2'deki hata matrisi dikkate alınarak elde edilen tüm performans metrikleri Tablo 5'te sunulmuştur. Görüldüğü üzere model oldukça yüksek bir doğruluk değerine ulaşmıştır. %94,68 doğruluk oranı her ne kadar oldukça tatmin edici görünse de sistemin hassasiyet değerine bakıldığında %62,96 olduğu görülmektedir. Yani, verilerin dengesiz dağılımı nedeniyle sadece doğruluk değerine bakarak modelin performansının yorumlanmasının hatalı yargılara neden olacağı aşikârdır.

Tablo 5'te, sistem performansına dair metrikler sunulmuştur. Genel doğruluk performansı 0,9468 olarak elde edilmiştir. Bu değer yaklaşık olarak bire yakın olması, istenilen bir sonuçtur ve bu sonuç umut vadetmektedir. Doğruluk ve hata değeri, genel bir bütünlüğü ifade eder. Dolayısıyla, hata değeri 0,0532 olarak kaydedilmiştir. Bu noktada, hassasiyet (0,6296) ve özgüllük (0,9901) metriklerinin yorumlanması önemlidir. Bu metrikler, sistem tarafından hem pozitif hem de negatif durumların eşit derecede ayırt edilemediğini göstermektedir. Veri setini oluşturan sınıfların eşit şekilde dağılmadığı durumlarda, bu metriklerin yanı sıra F1 skoru metriği de dikkate alınmalıdır. F1 skoru, modelin genelleştirme performansının daha hassas bir şekilde değerlendirilmesini sağlar ve bu bağlamda F1 skoru değeri 0,7398 olarak hesaplanmıştır. Bu değerlendirmeler, modelin performansını kapsamlı bir şekilde değerlendirmemize yardımcı olmaktadır. Farklı metriklerin bir arada değerlendirilmesi, sistemin güçlü yönlerini ve iyileştirilmesi gereken alanları daha açık bir şekilde tespit etmemizi sağlamaktadır.



Şekil 1. *k*-EK algoritması için bayes optimizasyonu ((a) Amaç fonksiyon modeli, (b) Minimum amaç ve fonksiyon değerlendirme sayısı)

		Tahmini Sınıf		
		1	2	Gerçek Sınıf
1	1	1025	603	
	2	118	11817	
		1	2	

Şekil 2. Hata matrisi (1: Başarılı satış sayısı, 2: Başarısız satış sayısı)

Tablo 5. Performans metrikleri

<i>Metrikler</i>	<i>Değerler</i>
Doğruluk	0,9468
Hata	0,0532
Hassasiyet	0,6296
Özgüllük	0,9901
Kesinlik	0,8968
Yanlış pozitif oran	0,0099
F1 skor	0,7398
Matthews Korelasyon Katsayısı	0,7250
Kappa	0,7112

Önerilen veriye dayalı hesaplamalı model aracılığı ile telepazarlama sürecinde satış için iyileştirmelerin yapılabileceği öngörülmektedir. Ancak, çok daha yüksek sınıflandırma performansına sahip bir model elde edebilmek için telepazarlama yöntemiyle gerçekleştirilen başarılı satışları içeren kayıt sayılarının artırılması gereklidir. Böylesi modeller aynı zamanda potansiyel müşterilerin tespiti için de kullanışlı olabilir. Veriye dayalı hesaplamalı sistemler için bir başka önemli konu da ekonominin yerel ve global ölçekteki değişkenliğidir. Piyasa hareketleri, küresel ölçekte ekonomiyi etkileyen mikro ve makro faktörlerin değişkenliği bu anlamda yüksek başarıya sahip modelleri ortaya çıkarmak üzere karşılaşılan en temel zorluklar olarak ifade edilebilir. Verinin sürekli değiştiği, piyasa hareketlerinin çok yoğun olduğu ve yaşayan böylesi bir ekosistemi modellemek hiç de kolay değildir.

Bu çalışma kapsamında önerilen modelin başarısı söz konusu veri kümesi ölçeğinde geçerlidir. Verilerin toplandığı tarihlerdeki ekonomik koşullar bugünkünden çok farklı olabilir. Ayrıca, verilerin toplandığı ülke ya da ülkelerdeki refah seviyesi, kişilerin tasarruf oranları ve varlık düzeyleri değişken olabileceğinden modeli kısıtlayan bir başka öge de coğrafi konum olarak ifade edilebilir.

Yukarıda ifade edilen dezavantajlara rağmen, veriye dayalı hesaplamalı yöntemlerin finans alanında ciddiye alındığı; sahtecilik algılama, kredi notu belirleme, risk hesaplama, kişiye özel faiz oranı hesaplama, döviz kurları arası parite yapma gibi pek çok özel uygulama için de sayısız modelin geliştirildiği görülmektedir.

5. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME

Bankacılık sektörü son yıllarda gelişen ve değişen teknoloji imkânlarını sıklıkla kullanmaktadır. Özellikle yapay zekâ yöntemleri kullanılarak elde edilen verilerin bilgiye dönüştürülmesi, bankalara açık bazı avantajlar sağlamaktadır. Müşteriyi önceden tanıma, müşteri portföyü oluşturma, müşteri bölütleme ve sınıflandırma gibi birçok işlem yapay zekâ teknikleriyle pratik bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Telepazarlama, telefon aracılığı ile satış yapmak üzere kullanılan doğrudan pazarlama yöntemlerinden biridir ve hali hazırda yaygın olarak kullanılmaktadır. Aynı zamanda telepazarlama, işletmelerin satışlarını genişletmesine yardımcı olan uygun maliyetli bir pazarlama aracıdır.

Bu çalışma kapsamında bankaların uzun-vadeli mevduatlarını satmak üzere telepazarlama yöntemiyle yaptıkları çağrılar dikkate alınarak veriye dayalı hesaplamalı bir karar destek sistemi önerilmiştir. Bu amaçla *k*-EK algoritmasının kullanılması sağlanarak, en verimli sonuçlara erişmek üzere modelin Bayes optimizasyon algoritması yardımıyla parametre değerlerinin ayarlanması sağlanmıştır. Sonuç olarak, önerilen model %94,68 sınıflandırma başarısına erişmiştir. Hassasiyet ve özgüllük değerleri ise sırasıyla %62,96 ve %99,01 olarak elde edilmiştir. Önerilen model telepazarlama yöntemiyle gerçekleştirilmek istenen satışların iyileştirilmesini sağlayabilir ve potansiyel müşterilerin tespiti için kullanılabilir.

Literatürdeki ilişkili çalışmalar ile kıyaslama yapıldığında elde edilen genelleştirme performansı umut verici olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen özgüllük değerinin hassasiyet değerine kıyasla daha düşük kalması verilerin sınıflar arasında eşit olarak dağılmamasından kaynaklanmaktadır ve literatürde bu durum ile sıkça karşılaşılmaktadır. Verilerin sınıflar arasında eşit olarak dağılmadığı böylesi durumlarda; hassasiyet ve özgüllük metriklerinin birlikte yorumlanması modelin doğru bir şekilde değerlendirilmesi açısından kritik bir öneme sahiptir. Unutulmamalıdır ki, çalışmamızda önerilen hesaplamalı model, deneysel çalışmamızda kullandığımız açık erişimli veri seti ile kısıtlıdır. Veri setinin değişmesi durumunda daha farklı sonuçlar ile karşılaşılabileceği olasıdır.

Sonuç olarak, bu çalışmanın elde ettiği bulgular, bankacılık sektöründeki yapay zeka yöntemlerinin veri analizi ve müşteri yönetimi gibi kritik alanlarda nasıl etkili bir şekilde kullanılabilmesine dair önemli bir örnek sunmaktadır. Bankaların müşteri portföyünü geliştirme, sınıflandırma ve öngörü yapma kapasitelerini

artırmak amacıyla önerilen veriye dayalı karar destek sistemi, telepazarlama yöntemiyle gerçekleştirilen mevduat satışlarının performansını iyileştirmeyi hedeflemektedir. Gelecekteki çalışmalarda, bu alanda daha fazla geliştirme ve iyileştirme yapılabilir. Özellikle derin öğrenme tabanlı metotların kullanımına odaklanmak, karar destek sisteminin daha da geliştirilmesini sağlayabilir. Farklı derin öğrenme katmanlarının ve önceden eğitilmiş modellerin entegrasyonu, modelin daha hassas ve kesin sonuçlar üretmesine yardımcı olabilir. Ayrıca, farklı veri setlerinin ve değişik müşteri segmentlerinin sistemin genel performansına etkisinin araştırılması da, gelecekteki çalışmaların odaklanabileceği alanlardan biridir. Bu şekilde, bankacılık sektöründe veri tabanlı karar destek sistemlerinin daha geniş bir uygulama yelpazesi bulabileceği ve işletmelerin daha iyi stratejik kararlar almasına yardımcı olabileceği öngörülmektedir.

Bilgilendirme / Acknowledgements

Çalışmanın gelişmesine katkıda bulunan hakemlere ve Dergi editörüne teşekkürlerimizi sunarız.
We would like to thank the referees and editor who contributed to the improvement of the study.

Yazar Katkıları / Author Contributions

Özge Cömert: Literatür Taraması, Kavramsallaştırma, Metodoloji, Veri Derleme, Analiz, Makale Yazımı-rijinal taslak Mesut Toğaçar: Modelleme, Makale Yazımı-inceleme ve düzenleme
Özge Cömert: *Literature Review, Conceptualization, Methodology, Data Curation, Analysis, Writing-original draft* Mesut Toğaçar: *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 edilmemiştir.
It was not 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

- Akbulut, Y., Sengur, A., Guo, Y. Smarandache, F. (2017) "NS-k-NN: Neutrosophic Set-Based k-Nearest Neighbors Classifier", *Symmetry*, 9(179), 1-10.
- Akçetin, E. ve Çetin, U. (2015). "Karıncı Kolonisi Optimizasyonu Sınıflandırma Algoritması Yöntemi İle Telefon Bankacılığında Doğrudan Pazarlama Kampanyası Üzerine Bir Sınıflandırma Analizi", *International Journal of Internet*, 6(1), 5-19.
- Akın, M. (2008). "Doğrudan Pazarlama.", *Güncel Pazarlama Yaklaşımından Seçmeler*, Detay Yayıncılık, Ankara.
- Algorabi, Ö. ve Namli, E. (2022). "Banka Telepazarlama Başarısının Tahmini için Bir Birleşik Makine Öğrenme Tabanlı Karar Destek Modeli", *Verimlilik Dergisi*, 1, 94-109.
- Alickovic, E., Kevric, J. ve Subasi, A. (2018). "Performance Evaluation of Empirical Mode Decomposition, Discrete Wavelet Transform, and Wavelet Packed Decomposition for Automated Epileptic Seizure Detection and Prediction", *Biomedical Signal Processing and Control*, 39, 94-102.
- Aytaç, B. (2013). "Doğrudan Pazarlama Aracı Olarak Telepazarlama için Veri Madenciliği Çözümleri: Banka Müşterileri Üzerine Bir Uygulama", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü, Ankara.
- Aytaç, B. ve Bilge H. (2013). "Telepazarlama Verilerinin Birlikte Kurallarıyla ve CRISP-DM Yöntemiyle Analiz Edilmesi", *Aksaray Üniversitesi İİBF Dergisi*, 2(5), 25-39.
- Balsöz, M. F. (2004). "Bankacılıkta Değişen Pazarlama Anlayışı", Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Chopra, P. (2023). "A Systematic Literature Review on Network Marketing: What Do We Know and Where Should We Be Heading?", *Industrial Marketing Management*, 113, 180-201.
- Cömert, Z, Kocamaz, A.F. ve Velappan, S. (2018). "Prognostic Model Based on Image-Based Time-Frequency Features and Genetic Algorithm for Fetal Hypoxia Assessment", *Computers in Biology and Medicine*, 99, 85-97.
- Cömert, Z. (2020). "Fusing Fine-Tuned Deep Features for Recognizing Different Tympanic Membranes", *Biocybernetics and Biomedical Engineering*, 40(1), 40-51.
- Dolgun, M. Ö. ve Ersel, D. (2014). "Doğrudan Pazarlama Stratejilerinin Belirlenmesinde Veri Madenciliği Yöntemlerinin Kullanımı", *İstatistikçiler Dergisi*, 7, 1-13.
- Gelibolu, L. ve Özsoy, T. (2013). "Çağrı Merkezlerinin Satış Amaçlı Kullanılması: Doğrudan Pazarlamanın Bir Unsuru Olarak Telepazarlama", *Ç.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 22(1), 481-500.
- Hagan, M.T., Demuth, H. B., Beale, M. H. (1996). "Neural Network Design", Thomson Learning, Singapur.
- He, H. ve Garcia, E. (2009). "Learning from Imbalanced Data", *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 21(9), 63-84.
- Kara, M. ve Hacıhasanoğlu, P. (2015). "Bankacılıkta Mobil Pazarlama ve Tüketici Satın Alma Kararı Üzerine Etkisi: Yozgat Örneği", *KTÜ Sosyal Bilimler Dergisi*, 10, 181-205.
- Karakuş, M. (2021). "A Multi-Layer Neural Network Approach to Predict The Success of Bank Telemarketing", *Artificial Intelligence Theory and Applications*, 1, 69-75.
- Moro, S., Cortez, P. ve Rita, P. (2014). "A Data-Driven Approach to Predict the Success of Bank Telemarketing", *Decision Support Systems*, 62, 22-31.
- Nour, M., Cömert, Z. ve Polat, K. (2020). "A Novel Medical Diagnosis Model for COVID-19 Infection Detection Based on Deep Features and Bayesian Optimization", *Applied Soft Computing*, 106580.
- Pappa, T. (2018). "As Study on Consumer Preference on Telemarketing in Tirunelveli City", *International Journal of Commerce*, 6, 112-116.
- Sarıyer, N. (2007). "Banka Çağrı Merkezi Pazarının Bölümlendirilmesi -Yozgat İl Merkezi'nde Bir Uygulama", *ZKÜ Sosyal Bilimler Dergisi*, 3(6), 149-62.
- Sevindik, T. ve Cömert, Z. (2010). "Using Algorithms for Evaluation in Web Based Distance Education." *Procedi -Social and Behavioral Sciences*, 77-80.
- Yılmaz, Ö. (2021). "Dijital ve Doğrudan Pazarlamanın Marka Değeri Üzerindeki Etkisinin Değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Zengin, M. (2010) "Doğrudan Pazarlama Aracı Olarak Cep Telefonu Kullanımı ve Tüketici Tutumları", Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Fakültesi, Konya.

Smart Product-Service Systems in Fashion Industry: A Systematic Review of Sustainability Results

Ufuk GÜR¹

ABSTRACT

Purpose: This review paper provides an inductive analysis on "Smart product service systems" in fashion industry by explaining how servitization as a form of service innovation is critical for sustainability, and the promise of digital technologies for smart fashion industry based on analysing current challenges, opportunities, and digital technologies for the implementation of Smart PSS in the fashion industry.

Methodology: The study employed an inductive analysis approach to identify the servitization domains, respective Smart PSS applications and the environmental sustainability results. The environmental sustainability results matched with the services were derived from the extensive literature by inductive coding of all identified Smart PSS applications through systematic literature review.

Findings: Fashion industry applications of Smart PSS were matched with the respective servitization domain, and the discussion were extended with the possible environmental sustainability results based on the literature content. Further research questions have been proposed.

Originality: Recent research calls for contributions about the effects of digitalization on different outcomes of servitization beyond financial performance and draws attention to the small number of studies addressing the environmental benefits of digital servitization to the circular economy. This study addresses the research gap for a scholarly discussion about the environmental sustainability results of digital servitization in fashion industry and provides a comprehensive future research agenda.

Keywords: Service Innovation, Smart Product Services Systems, Servitization, Sustainability.

JEL Codes: M1, O30.

Moda Endüstrisinde Akıllı Ürün-Hizmet Sistemleri: Sürdürülebilirlik Sonuçları Üzerine Sistemik Bir Derleme

ÖZET

Amaç: Bu makale, bir hizmet inovasyonu biçimi olarak hizmetleştirmenin, sürdürülebilirlik için nasıl kritik olduğunu ve akıllı moda endüstrisi için dijital teknolojilerin sunduğu potansiyeli açıklayarak, moda endüstrisindeki "Akıllı ürün-hizmet sistemleri" hakkında tümevarımcı bir inceleme sunmaktadır.

Yöntem: Çalışma, moda endüstrisindeki hizmetleri, ilgili akıllı ürün-hizmet sistemleri uygulamalarını ve çevresel sürdürülebilirlik sonuçlarını belirlemek için tümevarımsal bir analiz yaklaşımı kullanmıştır. Hizmetlerle eşleştirilen çevresel sürdürülebilirlik sonuçları, sistemik literatür taraması yoluyla tanımlanan tüm dijital PSS uygulamalarının kodlanmasıyla kapsamlı literatürden türetilmiştir.

Bulgular: Akıllı ürün-hizmet sistemlerinin moda endüstrisi uygulamaları, ilgili hizmet alanı ile eşleştirilmiş ve literatür içeriğine dayalı olarak olası çevresel sürdürülebilirlik sonuçları ile tartışma genişletilmiştir. Gelecek araştırma soruları sunulmuştur.

Özgünlük: Son araştırmalar dijital hizmetin döngüsel ekonomiye çevresel faydalarını ele alan az sayıda çalışmaya dikkat çekmektedir. Bu çalışma, moda endüstrisinde dijital hizmetin getirdiği zorluklar, fırsatlar ve çevresel sürdürülebilirlik etkileri hakkında bilimsel bir tartışma için araştırma boşluğunu ele almakta ve gelecek araştırmalara ışık tutacak kapsamlı bir araştırma gündemi sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Hizmet İnovasyonu, Akıllı Ürün Hizmet Sistemleri, Hizmetleştirme, Sürdürülebilirlik.

JEL Kodları: M1, O30.

¹Postdoctoral Researcher, Faculty of Industrial Design Engineering, TU Delft. Delft, The Netherlands, d.r.gur@tudelft.nl, ORCID: 0000-0002-1820-009X.

DOI: 10.51551/verimlilik.1220774

Review Article | Submitted Date: 18.12.2022 | Accepted Date: 26.09.2023

Cite: Gür, U. (2023). "Smart Product-Service Systems in Fashion Industry: A Systematic Review of Sustainability Results", *Verimlilik Dergisi*, 57(4), 747-760.

1. INTRODUCTION

Grand challenges such as climate crisis force the transformation of high-impact manufacturing industries (industries which have triple bottom line effects globally led by their manufacturing operations) into sustainable business models. Servitization, as a form of service innovation, transforms the final products and customer facing solutions as well as sourcing, logistics, and product lifecycle. As Baines et al. (2009) clarified “servitization is the innovation of an organizations’ capabilities and processes to better create mutual value through a shift from selling product to selling product service systems”. Den Hertog et al. (2010) defined service innovation as follows: "A service innovation is a new service experience or service solution that consists of one or several of the following dimensions: new service concept, new customer interaction, new value system/business partners, new revenue model, new organizational or technological service delivery system.". Service innovation and servitization have the potential to significantly transform the fashion industry for sustainability by shifting the focus from traditional product-based models to service-oriented approaches.

Calabrese et al. (2018) addressed the research gap in service innovation regarding sustainability and identified the clear need for further research in sustainability-oriented service innovation with their systematic literature review. "Service innovation" is a "transcendent business logic" to be adopted by firms to be responsive for sustainable development goals of UN agenda 2030 (Den Hertog et al., 2010; Polese et al., 2015). The larger part of GNP in developed countries is dependent upon service sales resulting in higher interest for research in new service development from an environmental perspective (Nijssen et al., 2006). This business logic can bring profound advantages to the fashion industry by extending product lifecycles, encouraging collaborative consumption, executing circular economy principles, and employing data-driven sustainability.

Sustainability can be studied in manufacturing settings by discovering product modifications, repackaging, and processing of materials, resources, and knowledge (Chen et al., 2015; Lin and Chen, 2018). Fashion servitization, as the service innovation in fashion firms, is a fruitful research domain for sustainability challenges. As modern economies are predominantly driven by services, and if they genuinely aim to achieve sustainable development, it's imperative to examine the connection between services and sustainable growth (Djellal and Gallouj, 2016). It is most relevant when immateriality is taken for granted in service innovation. Djellal and Gallouj (2016) argued that service includes direct and indirect sources of materiality, increasing ecological footprint, and environmental externalities. Whilst manufacturing firms acknowledge the transition toward services, making it sustainable is still a challenge given the complexities related to the servitization.

Product service systems and digitalization are at the crossroads of “Digital Servitization-Smart Product Service Systems” for making sustainability as a value proposition in manufacturing firms through enhancing the performance in material sourcing, energy consumption, resource allocation and accurate information sharing, which extends the responsibility of the manufacturing firm to the product recovery and end-life solutions with enhanced digital capabilities (Basáez et al., 2017; Marić and Opazo-Basáez, 2019). The Smart PSS was coined by Valencia et al. (2015) as "smart products and its generated e-services into a single solution by embracing disruptive ICT. Smart PSS was enabled by prevailing digital technologies such as Internet of Things (IoT), cloud/edge computing, and Big Data analytics generated an advanced green service design innovation (Hiekata, 2019). Lee et al. (2019) defined Smart PSS as "the emerging type of PSS that offer market value and dynamic intelligence combining products and services as solutions for bringing new consumer experience based on digital technology such as ICT (Information and communication technology), IoT (Internet of things), cyber-physical systems (CPS), big data analytics, etc". The integration of those intelligent digital systems created new product-service systems nominating Digitalized PSS (Lerch and Gotsch, 2015) or Smart PSS as intelligent systems moving the firms to automated, independent operations that forecast product service requirements and failure modes.

There is a growing research community in servitization and the conversations about the intersection of digital economy and service economy are clarified through many review studies (Green et al., 2017; Kohtamäki et al, 2019) . Recent research also calls for contributions about the effects of digitalization on different outcomes of servitization beyond financial performance (Kohtamäki et al., 2020) and draws attention to the small number of studies addressing the environmental benefits of digital servitization to the circular economy (Paschou et al., 2020)

Bases on those calls for contributions at the intersection of servitization and sustainability, this study addresses the research gap for a scholarly discussion about the environmental sustainability results of servitization in fashion industry by providing a comprehensive review of Smart PSS applications in the industry and presenting a future research agenda.

2. LITERATURE REVIEW

2.1. Smart Product-Service Systems, Servitization, and Sustainability

Servitization (Vandermerwe and Rada, 1988) explains the economic dimension of service domination in manufacturing referring to the Product-Service Systems which has incorporated the sale of use rather than the sale of the product with a major interest in explaining sustainability potential (Annarelli et al., 2016), and impact in business operations. There are many definitions of Product-Service Systems falling under the environmental dimension of triple bottom line (Table 1).

Table 1. Definitions of PSS in environmental triple bottom line

Manzini et al. (2001)	A business innovation strategy offering a marketable mix of products and services jointly capable of fulfilling clients' needs and wants - with higher added value and a smaller environmental impact as compared to an existing system or product.
Mont (2002)	A system of products, services, supporting networks, and infrastructure that is designed to be: competitive, satisfy customer needs, and have a lower environmental impact than traditional business models.
Halme et al. (2006)	Products and services which can simultaneously fulfill people's needs considerably reduce the use of materials and energy.
Evans et al. (2007)	An attempt to use existing industrial and commercial structures to create radically environmentally improved products by treating them as services.
Centenera and Hasan (2014)	A product-service system (PSS) is an integrated combination of products and services for optimal consumption.

Note: Adopted and reproduced from Annarelli et al. (2016) with permission

The clear separation from materiality for value delivery has been the main contribution of PSS for sustainability. The upstream transition has been realized at corporate practice level including "pollution emission, waste reduction, efficient use of resources, work safety and health, job creation, impact on local communities" (Szász and Seer, 2018) however downstream transition such as making producers responsible for the future of their products (Hvass, 2015) requires a much more intense change in normative and cognitive institutions in B2C markets.

The socio-economic systems transformed by PSS business models have been named "lease society", "circular economy", "resource revolution" by influential actors (Tukker, 2015). Potential dematerialization became the core strategy for withdrawing take-make-waste patterns of production and consumption (Kristensen and Remmen, 2019), and PSS business models was recognized by many researchers as a resource and energy-efficient system while increasing revenues and giving access to service data (Yang and Evans, 2019). In their systematic review, Pashou et al. (2020) discussed the benefits of digital servitization for environment and society regarding reduced energy consumption, reduced environmental impacts, building sustainable business and products, impacts on social sustainability, and value delivery to the surrounding society.

Overall, Smart PSS business models and digital servitization offer a range of benefits for the environment and society, including reduced energy consumption, decreased environmental impacts, the development of sustainable practices and products, improvements in social sustainability, and the delivery of value to surrounding communities. These approaches represent a shift towards more resource-efficient, sustainable, and socially responsible systems of production and consumption.

2.2. Impact of Fashion Industry on Sustainability

The fashion industry has a tremendous impact on the environment given the business processes such as material sourcing, production, distribution, retail, and disposal resulting in carbon impact, water consumption, and waste in landfills. The fashion industry is responsible for substantial greenhouse gas emissions throughout its supply chain. From the cultivation of raw materials (such as cotton or leather) to manufacturing processes, transportation, and garment care, the industry contributes to carbon dioxide (CO₂) emissions, exacerbating climate change.

The current take-make-waste system uses non-renewable resources, of which less than 1% of the material produced is recycled into new clothing. The fashion industry generates a significant amount of waste, both pre-consumer waste (e.g., fabric scraps, offcuts) and post-consumer waste (e.g., discarded garments). The landfilling or incineration of textile waste contributes to environmental pollution and resource depletion. It means that USD 100 billion worth of materials are lost to an unsustainable industry which uses

oil to produce synthetic fibres, fertilizers to grow cotton, and chemicals to produce, dye, and finish fibres and textiles as well as using non-renewable energy (Allwood et al., 2008; Choi et al., 2012) and 93 billion cubic meters of water annually (Morlet et al., 2017). The fashion industry is water intensive. The production of textiles requires vast amounts of water, particularly in processes like dyeing and finishing. Additionally, water pollution occurs due to the release of untreated wastewater containing harmful chemicals into water bodies, impacting ecosystems and local communities. The industry uses numerous chemicals in various stages of production, including dyeing, printing, and fabric treatment. These chemicals can be hazardous to human health and the environment. Improper disposal and inadequate wastewater treatment can lead to their release into waterways, soil, and the air, causing pollution and biodiversity loss.

The fashion industry relies heavily on materials such as cotton, leather, and wood-based fibers like rayon and viscose. The production of these materials often leads to deforestation, as land is cleared for agriculture or grazing. Deforestation not only reduces carbon sinks but also impacts biodiversity and disrupts local ecosystems. The fashion industry produces 150 billion garments of which 30% is never sold, creating 92 million tons of textile waste; 2.1 million tons of carbon emissions are produced annually; 100 million trees are cut down for producing apparel fabric such as viscose of which 30% are cut from ancient and endangered rainforests (Denuwara et al., 2019).

Those impacts are majorly reflected in developing countries as the fashion industry creates employment to produce cotton in some low-income countries. In addition to the environmental effects, workers are also exposed to dangerous and unsafe working conditions extending to modern slavery and child labour (Morlet et al., 2017). These environmental effects underscore the need for sustainable practices and innovation within the fashion industry to minimize its ecological footprint. From adopting circular economy principles and reducing chemical usage to promoting sustainable materials and responsible consumption, various strategies can be implemented to mitigate the industry's negative impact on the environment.

2.3. Opportunities and Challenges for Smart PSS in Fashion Industry

Reasons for poor PSS implementation in the fashion industry can be traced back to the lack of consumer acceptance or business interest, which promised a need for researching barriers and opportunities in B2C stream (Tukker, 2015). Charity shops and second-hand market is saturated, limiting reuse of current and future stock. There is evidence of the non-linear relationships between increased production, decreasing prices, increasing consumption resulting in fast fashion, short-term use of products, psychological obsolescence, and premature disposal (Armstrong et al., 2015). The fashion industry relies on promoting "throwaway culture" so that consumers replace their clothing before their active lifecycle is completed (Birtwistle and Moore, 2007).

According to the European Union waste hierarchy (Corvellec and Stål, 2017), waste prevention is the most critical practice for waste management, yet applicability in the fashion industry is limited to the nature of fashion and clothing consumption, providing more diverse options for reuse and recycling. Offering take-back options and vouchers for used clothes can increase the total volume of clothes brought to disposal due to uncertainties about the consumption habits of customers who in fact might rent or borrow in addition to purchasing just for enlarging their range of choice (Corvellec and Stål, 2017; Mylan, 2015).

The clothing industry is material-intensive and product-focused as well as emotionally bounding for identity reflection possessing a constant change to be recognized as fashionable (Armstrong et al., 2015). Similar to the case in office furniture (Besch, 2005), PSS business model may not work for industries which rely on consumers demand for branding, fashion, and design creating uncertainties about the coverage of costs with renting time horizon (Tukker, 2015; Tukker and Tischner, 2006). In a business to consumer (B2C) context, PSS implications have been limited due to the intangible value such as self-esteem, sense of control, ease of access attributed to possession of things and artifacts which allow much more behavioral freedom (Tukker, 2015). Consumer and business markets are different in terms of the benefits gained by implementation of PSS.

Cost and revenue structures of PSS are more complicated than a simple product sales model involving transaction costs that occur with contracting and revenue sharing schemes (Tukker, 2015). Lacking interest in gaining new skill sets, redesigning business model and value chain due to cost and benefit reasons such as writing off production equipment and no promise of reduction of material intensity (Halme et al., 2006; Tukker, 2015). Service innovations such as dry cleaning, customization, repairing, take-back are in place as industry standards yet unable to achieve close loops, dematerialization, or sustainability in impactful terms (Armstrong and Lang, 2013).

The absence of ownership should keep consumers caring for the product as they normally would (Armstrong and Lang, 2013). Overcoming "rebound effect" led by unsustainable use of leased or shared

products requires a significant transformation of the consumer mindset. Offering insurance service might create additional revenue as well as promoting increased product utilization (J. Larsson et al., 2019).

Exploiting apparel disposal reasons such as fit, fashion change, boredom, damaged products provide ideas for new service innovation (Armstrong and Lang, 2013). Life-cycle optimization in leasing, which applies to technology obsolescence context, can be used in the fashion industry delivering the "renewal of season wardrobe" value (Intlekofer et al., 2010). H&M adopted selling DIY garment-care products such as sewing kits, repair patches, or environmentally friendly washing detergents for informing customers how to prolong the lifetime of their clothing (J. Larsson et al., 2019).

Industry willing to separate business performance from material consumption (Armstrong and Lang, 2013) will lead the transition. In cases, when many components and parts could be re-introduced into the production rather than producing entirely new components, producers might gain on sourcing benefits.

Dematerialization of the fashion industry through moving from product-oriented PSS to the result-oriented PSS does not guarantee to minimize the waste effect. A product-oriented PSS might prevent the clothes being waste through maintenance than a use-oriented PSS encouraging increased reuse. Corvellec and Stål (2017) claims that the degree of servitization is not a measure of dematerialization and PSSs should adopt waste-centric analysis for their potential contribution to dematerialization. They advocate studying the material dimensions of services, of which waste is just one result.

Value creation on the consumption side through designing a user experience is the service innovation domain. If garments are easy to access and repairing them is perceived as not-worthwhile, then what is the thing that pulls manufacturers to move from producing for frequent purchases to life-cycle orientation? (Niinimäki and Hassi, 2011). In the book review by Lowe (Lowe, 2010) of Verganti's Design Driven Innovation, creating radical new meanings for products is essential for transforming traditional industries. This new meaning should be an evident detachment from material consumption, creating end desire for quality and longevity where styles and colors are classical, and the materials age well (Adam, 2018; Niinimäki and Hassi, 2011).

Delivering co-creation services to consumers affects attachment to the product, which in turn increases the utilization time. A design mindset for a deeper understanding of consumer emotions creates meaning, which secures a long life span for the product and eliminates the psychological obsolescence (Niinimäki and Hassi, 2011).

In summary, value creation through designing a user experience, detachment from material consumption, and creating new meanings for products are essential for transforming the fashion industry. Co-creation services and a design mindset can enhance attachment to products, increase utilization time, and eliminate psychological obsolescence. By implementing these strategies and adopting a holistic approach, the fashion industry can reduce its negative environmental impact, promote sustainability, and address social issues related to labor conditions.

3. METHODOLOGY

The purpose of this study is to elaborate servitization domains in fashion industry, the smart PSS behind those servitization domains, the potential environmental sustainability results of those PSS and a future research agenda. The study employed an inductive analysis approach (Miles and Huberman, 1994) and synthesis through a systematic literature review. Firstly, author formulated the research questions as: What are the servitization domains in fashion industry? What type of Smart PSS implementations are grounded in those servitization domains? Which environmental sustainability results can those Smart PSS implementations have? Those questions guided the entire review process. Clear criteria were established to determine which studies should be included and excluded in the review. The author was interested in the fashion industry so all other studies in other industries were excluded from the review process.

The author conducted comprehensive research through Google Scholar literature database as it gives access to the largest number of different outlets that is not normally listed in different databases. The author adopted the systematic review research protocol as following: On Google Scholar database, the search queries were run starting from 2014 for the contemporary content. Initially, titles and abstracts were screened, followed by a full-text review of selected studies with the search terms:

- ("fashion industry" sustainability "servitization" digital) resulting in 180 articles.
- (fashion "product service systems") resulting in 10 articles.
- ("fashion industry" sustainability "product service systems" digital) resulting in 387 articles.

Through the screening of the initial articles, tracking backward and forward citations (including the articles published before 2014) and removing duplications, a second set of 27 articles were selected to be reviewed consistent with the inclusion/exclusion criteria mentioned above. This set of articles were extracted with the author, title, journal and year of publishing (Table 2).

To synthesize the selected literature content, the author organized the extracted data into themes of servitization domains emerging through the analysis process. Then, each category of the servitization domain was matched with the sustainability result it might create and with the smart product service system applications through exploring the patterns, similarities, and differences across studies. The environmental sustainability results matched with the servitization domains were derived from the extensive literature by inductive coding of all identified smart PSS applications through systematic literature review (Jesson et al., 2011). The findings were summarized in the table (Table 3) aided with a narrative description in discussion representing the key outcomes of the review. A comprehensive set of research questions was developed and presented for future research agenda.

4. FINDINGS and DISCUSSION

The environmental sustainability results derived from the literature in servitization domains and Smart PSS applications indicate that a servitized fashion industry can create tremendous effects for the environment. Whether in raw material sourcing, fiber production, fabric production, garment production, distribution or in-store processes, competitive companies adopt the latest technologies and smart product-service systems such as 3D scanning and printing (Štefko and Steffek, 2018), mass-customization, augmented reality, virtual try-on, virtual personal assistants (Liang et al., 2020).

RFID technology has much value offers for the fashion industry, such as "inventory management, asset tracking, product, and personnel tracking, item-level identification, supply chain management, shipping, payments, counterfeit prevention" (Denuwara et al., 2019). RFID in the recycling process eliminates wasting time and resources by identifying recyclable polymers in each garment. Recycling facilities can track the location of relevant recyclable garments through mobile platforms. The number of fibers recycling increases, creating energy savings 53%, chemical savings 88%, and water savings 99% higher than virgin fibers. RFID technology also encompasses inventor accuracy by forecasting demand for each stock. It means that unnecessary garments will not be produced and transported, resulting in less Greenhouse Gas emissions and no stock excess in stores that will be disposed. Out of nearly 100% textile recycling, only 15% of consumer-used clothing is recycled due to misinformed consumers about caring instructions, and recycling options, which can be easily tracked on an RFID tag (Denuwara et al., 2019). The environmental consequence of extending the lifetime of a clothing product is impactful in terms of a decrease in carbon emissions, water uses, and waste generation. Digital receipts provide documentation and transparency for used chemicals and materials, making information accessible to enhance recycling, which is currently dependent on costly labor-intensive processes. Those integrated information systems optimize processes for reverse logistics and servitization.

Radical thinking emerges not only in technology but how the fashion industry does business, such as the case of open-source fashion (Niinimäki and Hassi, 2011) where end-users as "Makers" contribute to the design process by collective decision making. Made-to-order knitted, and 3D print brand Feetx represents a smart manufacturing turn in service design, putting customization and co-creation at the core of their business model (Bertola and Teunissen, 2018). Knit-on-demand project provided manufacturers and retailers increased agility in production and logistics, minimizing overproduction, which means textile material, energy in the cultivation of crops, fabric manufacturing, and garment manufacturing are saved (Larsson, 2018). As Larsson (2018) furtherly presented Roll to Bag project with 3D virtual customization and fitting, made to measure MTM, digital printing and automated cutting allowed precise estimations for desired functionality minimizing material, chemicals, and water and DigiMode project with a virtual fitting room with personalized avatar minimizing material which becomes cut waste. In-store real-time demand production can also reduce clothing waste (Sandvik and Stubbs, 2019).

Artificial Intelligence and Big Data analytics enhance the decision making for product lines by identifying consumer trends instead of watching fashion weeks. It helps to decrease returns and improves purchase rates by gaining insights into refund/return data as well as cutting waste from overproduction and excess inventory environmental costs with accurate demand forecasts (Silva et al., 2019). Beyond visualization and marketing, 3D digital design can be embraced as a prototyping tool for zero-waste design practice addressing waste made in the design process (McQuillan, 2020). As sustainable intelligent manufacturing practice becomes mainstream (He and Bai, 2021), fashion industry adopts Digital-Twin technology for reducing product defects, production costs, monitoring the product and process in real-time, shortening time to market, and extending the life of the equipment and the assets without having physical samples which in turn results in less waste.

Table 2. Set of articles selected for review

<i>Study</i>	<i>Publication Title</i>	<i>Journal</i>
Armstrong et al. (2015)	'Sustainable product-service systems for clothing: exploring consumer perceptions of consumption alternatives in Finland'	Journal of Cleaner Production
Adam (2018)	'The role of human resource management (HRM) for the implementation of sustainable product-service systems (PSS)—an analysis of fashion retailers'	Sustainability
Hvass (2015)	'Business model innovation through secondhand retailing: a fashion industry case'	Journal of Corporate Citizenship
Larsson et al. (2019)	'Feasibility of servitization: Transforming fashion value chains to circularity through service innovation'	Re: textile Project, University of Borås
Niinimäki and Hassi (2011)	'Emerging design strategies in sustainable production and consumption of textiles and clothing'	Journal of Cleaner Production
Denuwara et al. (2019)	'Sustainability benefits of RFID technology in the apparel industry'	Sustainability
Sandvik and Stubbs (2019)	Circular fashion supply chain through textile-to-textile recycling'	Journal of Fashion Marketing and Management
Silva et al. (2019)	'Big Data in fashion: transforming the retail sector'	Journal of Business Strategy
Marić and Opazo-Basáez (2019)	'Green Servitization for flexible and sustainable supply chain operations: A review of reverse logistics services in manufacturing'	Global Journal of Flexible Systems Management
Liang et al. (2020)	'Implementation of Artificial Intelligence in Fashion: Are Consumers Ready?'	Clothing and Textiles Research Journal
Štefko and Steffek (2018)	'Key issues in slow fashion: Current challenges and future perspectives'	Sustainability
Lang and Armstrong (2018)	Fashion leadership and intention toward clothing product-service retail models	Journal of Fashion Marketing and Management
Ricchiardi and Bugnotto (2019)	Customized Servitization as an innovative approach for renting service in the fashion industry	CERN IdeaSquare Journal of Experimental Innovation
Pal (2016)	Extended responsibility through servitization in PSS: An exploratory study of used-clothing sector	Journal of Fashion Marketing and Management
Corvellec and Stål (2017)	Evidencing the waste effect of Product-Service Systems (PSSs)	Journal of Cleaner Production
Todeschini et al. (2017)	Innovative and sustainable business models in the fashion industry: Entrepreneurial drivers, opportunities, and challenges	Business Horizons
Antikainen et al. (2020)	Sustainable circular economy value propositions in clothing as a service -model	The ISPIM Innovation Conference – Innovating in Times of Crisis, 7-10 June 2020
Stål and Jansson (2017)	Sustainable Consumption and Value Propositions: Exploring Product-Service System Practices Among Swedish Fashion Firms	Sustainable Development
Moorhouse and Moorhouse (2017)	Sustainable Design: Circular Economy in Fashion and Textiles	The Design Journal An International Journal for All Aspects of Design
Pal and Gander (2018)	Modelling environmental value: An examination of sustainable business models within the fashion industry	Journal of Cleaner Production
Thorisdottir and Johannsdottir (2019)	Sustainability within Fashion Business Models: A Systematic Literature Review	Sustainability
Yan and Chiou (2020)	Dimensions of Customer Value for the Development of Digital Customization in the Clothing Industry	Sustainability
Yang et al. (2017)	Sustainable Retailing in the Fashion Industry: A Systematic Literature Review	Sustainability
Bertola and Teunissen (2018)	Fashion 4.0. Innovating fashion industry through digital transformation	Research Journal of Textile and Apparel
Larsson (2018)	Digital innovation for sustainable apparel systems Experiences based on projects in textile value chain development	Research Journal of Textile and Apparel
Zheng et al. (2019)	A survey of smart product-service systems: Key aspects, challenges and future perspectives	Advanced Engineering Informatics
McQuillan (2020)	Digital 3D design as a tool for augmenting zero waste fashion design practice	International Journal of Fashion Design, Technology and Education

Table 3. Environmental sustainability results of servitization/smart PSS applications in fashion industry

<i>Servitization Domain</i>	<i>Result for Environmental Sustainability</i>	<i>Smart PSS</i>
Tracking recycling	Eliminates wasting time and resources by identifying recyclable polymers in each garment.	RFID tags
Stock Accuracy	Eliminates unnecessary customer visits, excess stock, logistics and transportation	RFID tags
Informed Recycling	Extends the lifetime leading a decrease in carbon emissions, water uses, and waste generation	RFID tags
Warranty and Insurance	Extends the lifetime leading a decrease in carbon emissions, water uses, and waste generation	RFID tags
Caring/ Repairing Clothes	Prolongs garment's lifetime Increases product longevity Reduces landfill waste	Pay per use for washing, sewing, ironing services
Make it yourself/ Customization	Increase product longevity through custom fit/style & attachment	Plug and play digital knitting machines with distributed manufacturing User softwares for co-creation
	Prolongs lifecycle of products through fitting services and repair	3D Body Scanning
	Enables savings in the use of materials compared to the industrial scale for manufacturing textiles; production is based on existing orders in lieu of surplus production.	Digital textile printers, embroidery, and laser cutting machines, and digital weaving machines
Redesign	Increases product longevity Reduces landfill waste Saves textile material for several life cycles	Augmented reality for the redesign of current garments
In-store or online renting or exchanging	Reduces landfill waste Increases interest in reuse	Online platforms
Insight and Consultancy	Increases product longevity Increases responsible purchasing	Artificial Intelligence for styling and consumption Virtual Personal Assistance IoT based consumer behavior analytics
B2C Renting/ Clothing as a Service/ Fashion as a Service	Product longevity Reduce landfill waste	Pay per wear or pay per period/ Subscription Services
Fashion Look Delivery	Increases product utilization Reduces redundant consumption Decreases excess inventory and returns	Big data analytics
In-store production	Reduces clothing waste by producing garments based on real-time demand	3D Printing
Retail services	Prolongs lifecycle of products through fitting services	Virtual Fitting Rooms Magic Mirrors
Open-Source Fashion	Increase product longevity through custom fit/style & attachment	Online Crowdsourcing
B2B Reverse Logistics	Recycles	Digital Receipts
Design with Trends Accurate Demand Forecasting	Decreases waste from overproduction	Big Data Analytics
Zero-Waste Design	Prevents the creation of waste when the garment is cut and sewn	3D Digital Design
Smart Manufacturing	Eliminates failure and boosts efficiency	Cyber Physical Systems/ Digital-Twin

5. CONCLUSION

As fashion industry is accused of being one of the most polluting industries in the world (Thorisdottir and Johannsdottir, 2019), this paper contributed to the literature about sustainability in fashion industry by exploring what kind of environmental sustainability results can emerge through servitization and Smart PSS applications in the industry. Such studies provide a comprehensive synthesis for developing new research questions in further empirical research. Those further research questions might include but are not limited to:

- How can Smart PSS applications be utilized to identify consumer trends and enhance decision making for product lines in the fashion industry?
- What are the effects of utilizing Smart PSS on return rates and purchase rates in the fashion industry, and how do these insights into refund/return data contribute to the reduction of returns?
- How does the integration of Smart PSS in the fashion industry contribute to the reduction of waste from overproduction and excess inventory, and what are the associated environmental cost savings?
- In what ways can 3D digital design be effectively employed as a prototyping tool to facilitate zero-waste design practices in the fashion industry?
- How does the adoption of Digital-Twin technology in the fashion industry contribute to the reduction of product defects and production costs, while also enabling real-time monitoring of products and processes?
- What are the impacts of Digital-Twin technology on the time-to-market for fashion products, and how does it contribute to extending the life of equipment and assets?
- How does the adoption of sustainable intelligent manufacturing practices in the fashion industry influence the overall sustainability and environmental footprint of the industry?
- What are the challenges and opportunities associated with implementing Artificial Intelligence, Big Data analytics, 3D digital design, and Digital-Twin technology in the fashion industry?
- How do consumer perceptions and behaviors change when fashion brands embrace sustainable intelligent manufacturing practices and employ advanced technologies such as Artificial Intelligence and Digital-Twin?
- What are the potential economic, environmental, and social benefits of integrating these advanced technologies into the fashion industry, and how do these benefits compare to traditional manufacturing practices?
- What are the key characteristics and implications of open-source fashion in the fashion industry, and how does collective decision making by end-users contribute to the design process?
- How does the integration of customization and co-creation in the business model which utilizes made-to-order knitted and 3D printing technologies, impact the overall manufacturing process and customer experience?
- What are the environmental benefits of the knit-on-demand project in terms of minimizing overproduction, reducing textile material waste, and saving energy in crop cultivation, fabric manufacturing, and garment manufacturing?
- How does the implementation of 3D virtual customization and fitting, made-to-measure (MTM) techniques, digital printing, and automated cutting in projects contribute to minimizing material waste, chemicals, water usage, and cut waste in the fashion industry?
- What are the consumer perceptions and acceptance levels towards virtual fitting rooms with personalized avatars, and how do they contribute to reducing material waste in the fashion industry?
- How does in-store real-time demand production impact clothing waste reduction in the fashion industry, and what are the key factors influencing its effectiveness?
- What are the challenges and opportunities associated with implementing open-source fashion, made-to-order manufacturing, virtual customization, and in-store real-time demand production in the fashion industry?
- How do the environmental benefits of these innovative business models and technologies compare to traditional manufacturing and production methods in the fashion industry?
- What are the economic implications of adopting radical thinking and innovative business models in the fashion industry, particularly in terms of cost-effectiveness, resource utilization, and supply chain management?
- How can the lessons learned from successful case studies, such as Feetx, the knit-on-demand project, Roll to Bag project, and DigiMode project, be applied to other fashion brands and sectors to promote sustainable practices and minimize waste?

Zheng et al. (2019) discussed that Smart PSS is an open innovation perspective to solve societal challenges in a profitable and sustainable way as it creates value in resource efficiency, extended lifespans, and closed loops through the collaboration of different stakeholders. A stable and reliable technological infrastructure provide the stakeholders real-time communication and processing networks for digitalized servitization (Lerch and Gotsch, 2015). Managing the innovation ecosystem for a sustainable smart fashion industry address the need for the adoption of “Extended Producer Responsibility-EPR” which is implied through legislations in many countries (Goworek et al., 2020). The implementation of servitization on a broader scale is dependent on designing a product-service system including information transparency and platform-enabled participation (Larsson et al., 2019).

The sources of materiality of Smart PSS applications are still the challenges for sustainability to be explored by further research. Smart PSS aims to represent a closed-loop lifecycle management system in the circular fashion economy (Zheng et al., 2019), ultimately turning back the garments to the system for recycling through advanced digital technology (Larsson, 2018), yet the environmental externalities of the digital innovation itself should carefully be considered. For example, RFID tags made of non-biodegradable materials are another environmental externality connected to the digital technology used for Smart PSS as the global tag consumption exceeded some trillion bags per year (Thomas, 2008).

In conclusion, the fashion industry is undergoing a transformative shift driven by radical thinking and innovative approaches to business. The integration of technologies such as Artificial Intelligence, Big Data analytics, 3D digital design, and Digital-Twin technology is revolutionizing decision-making processes, reducing waste, and enhancing sustainability. Open-source fashion and collaborative design processes empower end-users as active participants in the fashion creation process, leading to collective decision-making and increased engagement. Many brands exemplify the power of made-to-order manufacturing and customization, placing the customer at the center of the business model. The adoption of virtual customization, personalized avatars, and real-time demand production further contribute to waste reduction and resource efficiency. These advancements not only have environmental benefits, such as minimizing overproduction and reducing material waste, but also hold economic potential by improving efficiency and cost-effectiveness. However, challenges remain in implementing these transformative practices industry-wide. Continued research and exploration of these topics will pave the way for a more sustainable, customer-centric, and waste-minimizing fashion industry.

Acknowledgements

This review paper was presented in ICSS INFORMS Conference on Service Science 2020.

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.



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

- Adam, M. (2018). "The Role of Human Resource Management (HRM) for the Implementation of Sustainable Product-Service Systems (PSS)-An Analysis of Fashion Retailers", *Sustainability*, 10(7), 2518.
- Annarelli, A., Battistella, C. and Nonino, F. (2016). "Product Service System: A Conceptual Framework from a Systematic Review". *Journal of Cleaner Production*, 139, 1011-1032.
- Antikainen, M., Heikkilä, J., Knuutila, H., Nurmi, P., Petänen, P. and Heikkilä, P. (2020). "Sustainable Circular Economy Value Propositions in Clothing as a Service-Model", *ISPIM Innovation Conference-Innovating in Times of Crisis*, 7-10.
- Armstrong, C.M. and Lang, C. (2013). "Sustainable Product Service Systems: The New Frontier in Apparel Retailing?" *Research Journal of Textile and Apparel*, 17(1), 1-12.
- Armstrong, C.M., Niinimäki, K., Kujala, S., Karell, E. and Lang, C. (2015). "Sustainable Product-Service Systems for Clothing: Exploring Consumer Perceptions of Consumption Alternatives in Finland", *Journal of Cleaner Production*, 97, 30-39.
- Basáez, M.O., Vendrell-Herrero, F. and Bustinza, O.F. (2017). "Enhancing Sustainability Performance through Digital Servitization: Implications from the Automotive Industry", *Book of Abstracts*, 25.
- Bertola, P. and Teunissen, J. (2018). "Fashion 4.0. Innovating Fashion Industry through Digital Transformation", *Research Journal of Textile and Apparel*, 22(4), 352-369.
- Besch, K. (2005). "Product-Service Systems for Office Furniture: Barriers and Opportunities on the European Market", *Journal of Cleaner Production*, 13(10-11), 1083-1094.
- Birtwistle, G. and Moore, C.M. (2007). "Fashion Clothing-Where Does It All End Up?", *International Journal of Retail & Distribution Management*, 22(4), 352-369.
- Calabrese, A., Castaldi, C., Forte, G. and Levialdi, N.G. (2018). "Sustainability-Oriented Service Innovation: An Emerging Research Field", *Journal of Cleaner Production*, 193, 533-548.
- Chen, Y.-S., Lin, Y.-H., Lin, C.-Y. and Chang, C.-W. (2015). "Enhancing Green Absorptive Capacity, Green Dynamic Capacities and Green Service Innovation to Improve Firm Performance: An Analysis of Structural Equation Modeling (SEM)", *Sustainability*, 7(11), 15674-15692.
- Corvellec, H. and Stål, H.I. (2017). "Evidencing the Waste Effect of Product-Service Systems (PSS)", *Journal of Cleaner Production*, 145, 14-24.
- Den Hertog, P., Van der Aa, W. and De Jong, M.W. (2010). "Capabilities for Managing Service Innovation: Towards a Conceptual Framework", *Journal of Service Management*, 21(4), 490-514.
- Denuwara, N., Maijala, J. and Hakovirta, M. (2019). "Sustainability Benefits of RFID Technology in the Apparel Industry", *Sustainability*, 11(22), 6477.
- Djellal, F. and Gallouj, F. (2016). "Service Innovation for Sustainability: Paths for Greening through Service Innovation", *In Service Innovation*, 187-215, Springer.
- Goworek, H., Oxborrow, L., Claxton, S., McLaren, A., Cooper, T. and Hill, H. (2020). "Managing Sustainability in the Fashion Business: Challenges in Product Development for Clothing Longevity in the UK", *Journal of Business Research*, 117, 629-641.
- Green, M.H., Davies, P. and Ng, I.C.L. (2017). "Two Strands of Servitization: A Thematic Analysis of Traditional and Customer Co-Created Servitization and Future Research Directions", *International Journal of Production Economics*, 192, 40-53.
- Halme, M., Anttonen, M., Hrauda, G. and Kortman, J. (2006). "Sustainability Evaluation of European Household Services", *Journal of Cleaner Production*, 14(17), 1529-1540.
- He, B. and Bai, K.-J. (2021). "Digital Twin-Based Sustainable Intelligent Manufacturing: A Review", *Advances in Manufacturing*, 9(1), 1-21.
- Hiekata, K. (2019). "Smart Product-Service Systems: A Novel Transdisciplinary Sociotechnical Paradigm." *Transdisciplinary Engineering for Complex Socio-technical Systems: Proceedings of the 26th ISTE International Conference on Transdisciplinary Engineering*, July 30–August 1, 10, 234.
- Hvass, K.K. (2015). "Business Model Innovation through Second Hand Retailing: A Fashion Industry Case", *Journal of Corporate Citizenship*, 57, 11-32.
- Intlekofer, K., Bras, B. and Ferguson, M. (2010). "Energy Implications of Product Leasing", ACS Publications.
- Kohtamäki, M., Parida, V., Oghazi, P., Gebauer, H. and Baines, T. (2019). "Digital Servitization Business Models in Ecosystems: A Theory of the Firm", *Journal of Business Research*, 104, 380-392.
- Kohtamäki, M., Parida, V., Patel, P.C. and Gebauer, H. (2020). "The Relationship between Digitalization and Servitization: The Role of Servitization in Capturing the Financial Potential of Digitalization", *Technological*

- Forecasting and Social Change*, 151, 119804.
- Kristensen, H.S. and Remmen, A. (2019). "A Framework for Sustainable Value Propositions in Product-Service Systems", *Journal of Cleaner Production*, 223, 25-35.
- Lang, C. and Armstrong, C.M.J. (2018). "Fashion Leadership and Intention Toward Clothing Product-Service Retail Models", *Journal of Fashion Marketing and Management: An International Journal*, 22(4), 571-587.
- Larsson, J.K.J. (2018). "Digital Innovation for Sustainable Apparel Systems", *Research Journal of Textile and Apparel*, 22(4), 370-389.
- Larsson, J., Vellesalu, A., Pal, R., Zethraeus, A. and Carlsson, J.(2019). "Feasibility of Servitization: Transforming Fashion Value Chains to Circularity Through Service Innovation", *Business, Materials Science*,1-64.
- Lee, C.-H., Chen, C.-H. and Trappey, A.J.C. (2019). "A Structural Service Innovation Approach for Designing Smart Product Service Systems: Case Study of Smart Beauty Service", *Advanced Engineering Informatics*, 40, 154-167.
- Lerch, C. and Gotsch, M. (2015). "Digitalized Product-Service Systems in Manufacturing Firms: A Case Study Analysis", *Research-Technology Management*, 58(5), 45-52.
- Liang, Y., Lee, S.-H. and Workman, J.E. (2020). "Implementation of Artificial Intelligence in Fashion: Are Consumers Ready?", *Clothing and Textiles Research Journal*, 38(1), 3-18.
- Lin, Y.-H. and Chen, H.-C. (2018). "Critical Factors for Enhancing Green Service Innovation", *Journal of Hospitality and Tourism Technology*, 9(2), 188-203.
- Lowe, B.(2010). "Design Driven Innovation: Changing the Rules of Competition by Radically Innovating What Things Mean", *Journal of Consumer Marketing*, 27(7), 647-648.
- Marić, J. and Opazo-Basáez, M. (2019). "Green Servitization for Flexible and Sustainable Supply Chain Operations: A Review of Reverse Logistics Services in Manufacturing", *Global Journal of Flexible Systems Management*, 20(1), 65-80.
- McQuillan, H.(2020). "Digital 3D Design as a Tool for Augmenting Zero-Waste Fashion Design Practice", *International Journal of Fashion Design, Technology and Education*, 13(1), 89-100.
- Miles, M.B. and Huberman, A.M.(1994). "Qualitative Data Analysis: An Expanded Sourcebook", Sage Publications.
- Moorhouse, D. and Moorhouse, D.(2017). "Sustainable Design: Circular Economy in Fashion and Textiles" , *The Design Journal*, 20(1), 1948-1959.
- Morlet, A., Opsomer, R., Herrmann, S., Balmond, L., Gillet, C. and Fuchs, L.(2017). "A New Textiles Economy: Redesigning Fashion's Future", *Ellen MacArthur Foundation*, 1-150.
- Mylan, J. (2015). "Understanding the Diffusion of Sustainable Product-Service Systems: Insights from the Sociology of Consumption and Practice Theory", *Journal of Cleaner Production*, 97, 13-20.
- Niinimäki, K. and Hassi, L. (2011). "Emerging Design Strategies in Sustainable Production and Consumption of Textiles And Clothing", *Journal of Cleaner Production*, 19(16), 1876-1883.
- Nijssen, E.J., Hillebrand, B., Vermeulen, P.A.M. and Kemp, R.G.M. (2006). "Exploring Product and Service Innovation Similarities and Differences", *International Journal of Research in Marketing*, 23(3), 241-251.
- Pal, R.(2016). "Extended Responsibility through Servitization in PSS: An Exploratory Study of Used-Clothing Sector.", *Journal of Fashion Marketing and Management: An International Journal*, 20(4), 453-470.
- Pal, R. and Gander, J.(2018). "Modelling Environmental Value: An Examination of Sustainable Business Models within the Fashion Industry", *Journal of Cleaner Production*, 184, 251-263.
- Paschou, T., Rapaccini, M., Adrodegari, F. and Sacconi, N. (2020). "Digital Servitization in Manufacturing: A Systematic Literature Review and Research Agenda", *Industrial Marketing Management*, 89, 278-292.
- Polese, F., Mele, C., Gummesson, E., Enquist, B., Sebhatu, S.P. and Johnson, M.(2015). "Transcendence for Business Logics in Value Networks for Sustainable Service Business", *Journal of Service Theory and Practice*, 25(2), 181-197.
- Ricchiardi, A. and Bugnotto, G.(2019). "Customized Servitization as an Innovative Approach for Renting Service in the Fashion Industry", *CERN IdeaSquare Journal of Experimental Innovation*, 3(1),15-19.
- Sandvik, I.M. and Stubbs, W.(2019). "Circular Fashion Supply Chain through Textile-To-Textile Recycling" *Journal of Fashion Marketing and Management: An International Journal*, 23(3), 366-381.
- Silva, E.S., Hassani, H. and Madsen, D.Ø.(2019). "Big Data in Fashion: Transforming the Retail Sector", *Journal of Business Strategy*, 41(4), 21-27.
- Stål, H.I. and Jansson, J. (2017). "Sustainable Consumption and Value Propositions: Exploring Product-Service System Practices among Swedish Fashion Firms", *Sustainable Development*, 25(6), 546-558.
- Štefko, R. and Steffek, V.(2018). "Key Issues in Slow Fashion: Current Challenges and Future Perspectives",

- Sustainability*, 10(7), 2270.
- Szász, L. and Seer, L.(2018). "Towards an Operations Strategy Model of Servitization: The Role of Sustainability Pressure", *Operations Management Research*, 11(1-2), 51-66.
- Thomas, V.M. (2008). "Environmental Implications of RFID", In *2008 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment*, 1-5, IEEE.
- Thorisdottir, T.S. and Johannsdottir, L. (2019). "Sustainability within Fashion Business Models: A Systematic Literature Review", *Sustainability*, 11(8), 2233.
- Todeschini, B.V., Cortimiglia, M.N., Callegaro-de-Menezes, D. and Ghezzi, A.(2017). "Innovative and Sustainable Business Models in the Fashion Industry: Entrepreneurial Drivers, Opportunities, and Challenges", *Business Horizons*, 60(6), 759-770.
- Tukker, A.(2015). "Product Services for a Resource-Efficient and Circular Economy-A Review", *Journal of Cleaner Production*, 97, 76-91.
- Tukker, A. and Tischner, U. (2006)." Product-Services as a Research Field: Past, Present and Future. Reflections from a Decade of Research", *Journal of Cleaner Production*, 14(17), 1552-1556.
- Valencia, A., Mugge, R., Schoormans, J. and Schifferstein, H.(2015). "The Design of Smart Product-Service Systems (Pss): An Exploration of Design Characteristics", *International Journal of Design*, 9(1), 13-28.
- Vandermerwe, S. and Rada, J.(1988). "Servitization of Business: Adding Value by Adding Services", *European Management Journal*, 6(4), 314-324.
- Yan, W.-J. and Chiou, S.-C. (2020). "Dimensions of Customer Value for the Development of Digital Customization in the Clothing Industry", *Sustainability*, 12(11), 4639.
- Yang, M. and Evans, S. (2019). "Product-Service System Business Model Archetypes and Sustainability", *Journal of Cleaner Production*, 220, 1156-1166.
- Zheng, P., Wang, Z., Chen, C.-H. and Khoo, L.P. (2019). "A Survey of Smart Product-Service Systems: Key Aspects, Challenges and Future Perspectives", *Advanced Engineering Informatics*, 42, 100973.

Akıllı Fabrikalarda Çizelgeleme Yöntemlerinin Analizi

Rumeysa MANZAK¹, Orhan ENGİN²

ÖZET

Amaç: Bu çalışmanın amacı, Akıllı Fabrikalarda gerçekleştirilen çizelgeleme yöntemlerini incelemektir.

Yöntem: Bu çalışmada, veri kaynağı olarak, "Google Scholar" üzerinden ulaşılan metin türünde veriler kullanılmıştır. Veri Seti, 2015-2022 yılları arasında yayınlanmış olan ve 'Scheduling in Smart Factory' anahtar kelimesini içeren araştırma makalelerinden oluşmaktadır. Çalışma gerçekleştirilirken, 'Scheduling in Smart Factory' anahtar kelimesi ile doğrudan ilgili araştırmalar analiz edilmiştir.

Bulgular: Akıllı Fabrikalarda gerçekleştirilen çizelgeleme yöntemlerinin incelenmesi çalışmasında, çizelgeleme problemlerinin çözümünde, Genetik Algoritma, Çoklu Robot Önleyici Görev Çizelgelemesi, Parçacık Optimizasyonu, Ağlar Arası Birleştirme ve Çizelgeleme gibi birçok yöntemin kullanıldığı belirlenmiştir. Önerilen bu yöntemlerin performanslarını değerlendirmek için duyarlılık analizi, hata kurtarma analizi ve karşılaştırma analizi gibi metotlar tercih edilmiştir. Bu çalışmaları doğrulamak için deney çalışmaları yürütülmüştür.

Özgünlük: Çizelgeleme problemleri, hem geleneksel fabrikalarda, hemde akıllı fabrikalarda stratejik bir öneme sahiptir. Özellikle son yıllarda, çizelgeleme çalışmaları üzerine çok sayıda algoritma geliştirilmiştir. Bu çalışmada, 2015-2022 yılları arasında gerçekleştirilen bilimsel çalışmaları içeren özgün bir tarama sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Akıllı Fabrika, Akıllı Fabrikalarda Çizelgeleme, Endüstri 4.0.

JEL Kodları: D24, E23, L23, M11.

Analysis of Scheduling Methods In Smart Factories

ABSTRACT

Purpose: The objective of this study is to examine the scheduling methods implemented in Smart Factories.

Methodology: In this study, text-type data accessed through "Google Scholar" was used as a data source. The Data Set is consisting of articles published between 2015-2022 and contains the keyword 'Scheduling in Smart Factory'. While conducting the literature study, the keyword 'Scheduling in Smart Factory' was taken as a basis.

Findings: In the study of examining the scheduling methods carried out in Smart Factories, it was determined that many methods such as Genetic Algorithm, Multi-Robot Preventive Task Scheduling, Particle Optimization, Inter-Network Coupling and Scheduling were used in the solution of scheduling problems. Methods such as sensitivity analysis, error recovery analysis and comparison analysis were used to evaluate the performance of these proposed methods. Experimental studies were conducted to validate these studies.

Originality: Scheduling issues are of strategic importance in both traditional factories and smart factories. Especially in recent years, many algorithms have been developed for scheduling studies. In this study, an original survey study including scientific studies carried out between the years 2015-2022 is presented.

Keywords: Smart Factory, Scheduling in Smart Factory, Industry 4.0.

JEL Codes: D24, E23, L23, M11.

¹ Yüksek Lisans Öğrencisi, Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, rumanzak@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5319-1758.

² Prof. Dr., Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, oengin@ktun.edu.tr, ORCID: 0000-0002-7250-0317 (Sorumlu Yazar-Corresponding Author).

DOI: 10.51551/verimlilik.1136778

Derleme Makale / Review Article | Geliş Tarihi / Submitted Date: 28.06.2022 | Kabul Tarihi / Accepted Date: 11.07.2023

Atf: Manzak, R. ve Engin, O. (2023). "Akıllı Fabrikalarda Çizelgeleme Yöntemlerinin Analizi, Verimlilik Dergisi, 57(4), 761-774.

EXTENDED ABSTRACT

In today's destructive competitive environment, organizations have to meet the expectations of their customers on time and to realize high-quality, customized products and services at low cost. For this, they need automated production and service processes. Organizations use enabling technologies such as Cyber-Physical Systems, IoT, and cloud computing to increase the efficiency of their automated production processes. Production environments where these technologies are used are called smart factories. The aim of the smart factory is to increase the reuse of systematic processes and to improve the understanding of complex structures in production processes. The smart factory aims to build production-oriented Cyber-Physical Systems to implement the vertical integration of physical assets and information systems for the ultimate realization of highly flexible and self-adaptive production processes with machines and products that move both intelligently and autonomously. In smart factories, job scheduling is required to increase efficiency. The methods used in job scheduling processes in smart factories are different from the scheduling methods in the classical production environment. As far as we know, there has not been a detailed literature analysis on the analysis of scheduling methods in smart factories.

The objective of this research is to examine the scheduling methods implemented in Smart Factories. In this study, text-type data accessed through "Google Scholar" was used as a data source. The Data Set is consisting of articles published between 2015-2022 and contains the keyword 'Scheduling in Smart Factory'. When research was done on "Google Scholar" with the relevant keyword, 210 studies were identified. These studies were examined and 15 studies were identified and analyzed, suggesting detailed solutions for scheduling in smart factories. Among the studies, it has been determined that many approaches such as Artificial Intelligence Planners, Genetic Algorithm, Particle Swarm Optimization, and these, which have an important place in the literature, have been published in 2015 and later.

In the scheduling process in smart factories, decentralized and autonomous decision-making will be ensured, a flexible scheduling paradigm will come to the fore, holistic scheduling will be made, online, real-time, and reactive charts will be created, and scheduling will be possible under uncertainty and with missing data, different optimization methods in scheduling will be available. It is expected that there will be an opportunity for automatic, self-scheduling, as tradeoffs will be made for different purposes and machines will be proactive.

In this research, the concept of smart factories that emerged with the term Industry 4.0 and scheduling studies carried out in smart factories were examined. With Industry 4.0, the term smart factory, which was developed to increase productivity in production and facilitate instantaneous monitoring of production, the features of these factories, the technologies they contain and why they should be used are explained. This continuous development and improvement process, which started with Industry 4.0, has evolved to a completely different point with smart factories. In the production processes, errors in production have been reduced and the efficiency of production has been increased, as autonomous robots and machines equipped with AI technologies can communicate with each other and improve themselves by feeding on big data. Thanks to the virtual processes that will be created in the computer environment with smart factories, it is possible to foresee the problems that may arise. In this study, the differences between traditional factories and smart factories are also mentioned.

Before the transition to smart factories, it is recommended that organizations make their existing production processes lean by eliminating waste, then automated production and service processes, and equipping these processes with enabling digital technologies such as Cyber-Physical Systems, IoT and cloud computing. Techniques that will increase efficiency, such as job scheduling and other process improvement, must be used continuously in smart factories. In the coming years, it is expected that new methods for increasing efficiency in smart factories will be developed and more effective heuristic and metaheuristic methods related to dynamic scheduling will be proposed and used. Smart factories will increase efficiency in production and service processes, but continuous improvement activities will never end and efforts to increase productivity will continue in the next century.

There has not been enough research on scheduling processes in smart factories yet. More research on this subject is expected in the coming years.

1. GİRİŞ

Aşamalı küreselleşme, kitlesel özelleştirme ve rekabetçi iş ortamları ile geleneksel işletmelerin, günümüzün çalkantılı ekonomisinde, yeni iş zorluklarıyla karşı karşıya olduğu anlamına gelmektedir. Daha hızlı teslimat süreleri, daha verimli ve otomatikleştirilmiş süreçler, daha yüksek kalite ve özelleştirilmiş ürünlere yönelik talep, şirketleri Endüstri 4.0 olarak bilinen dördüncü sanayi devrimine doğru itmiştir (Zheng ve diğerleri, 2020). Endüstri 4.0 terimi, son birkaç yılda giderek daha önemli bir konu haline gelmiştir. Endüstri 4.0 kavramı ilk olarak Alman hükümeti tarafından, Kasım 2011'de yayınlanan ve 2020 için yüksek teknoloji stratejisine ilişkin bir girişimden kaynaklanan bir makalede ortaya çıkmıştır (Pereira ve Romero, 2017; Aydoğmuş ve Engin, 2021). Endüstri 4.0, imalat endüstrisindeki otomasyon teknolojilerinin mevcut trendini temsil etmekte ve esas olarak Siber-Fiziksel Sistemler (SFS), Nesnelerin İnterneti (Nİ) ve bulut bilişim gibi etkinleştirici teknolojileri içermektedir (Xu ve diğerleri, 2018). Endüstri 4.0'da gömülü sistemler, makineden makineye iletişim, Nİ ve SFS teknolojileri, sanal alanı, fiziksel dünyayla bütünleştirir; ayrıca, siber-fiziksel ortamda, üretimin karmaşıklığı ile başa çıkmak için akıllı fabrikalar gibi yeni nesil endüstriyel sistemleri ortaya çıkarmıştır (Xu ve diğerleri, 2018). Akıllı fabrikalarda, her yeni üretim siparişi alındığında veya fabrika durumunda değişiklik tespit edildiğinde, süreç planlama ve çizelgeleme yapılması gerekmektedir. Fabrikanın duyarlılığını ve karını hızla artırmak için yeni bir plan takviminin hızla belirlenmesi gerekir. Üretim süreci planlama ve çizelgelemenin eş zamanlı optimizasyonu, geleneksel yaklaşımlardan daha iyi sonuçlara yol açmaktadır (Zhao ve diğerleri, 2019).

Günümüzdeki yıkıcı rekabet ortamında, kuruluşlar, müşterilerin beklentilerini, tam zamanında karşılamak, yüksek kalitede, özelleştirilmiş ürün ve hizmeti, düşük maliyet ile gerçekleştirmek zorundadırlar. Bunun için de otomatikleştirilmiş üretim ve hizmet süreçlerine ihtiyaç duymaktadırlar. Kuruluşlar, otomatikleştirilmiş üretim süreçlerinin verimini artırmak için SFS, Nİ ve bulut bilişim gibi etkinleştirici teknolojileri kullanılmaktadırlar. Bu teknolojilerin kullanıldığı üretim ortamları, akıllı fabrikalar olarak nitelendirilmektedir. Akıllı fabrikalarda, verimi artırmak için iş çizelgeleme yapılması gerekmektedir. Akıllı fabrikalarda iş çizelgeleme süreçlerinde kullanılan yöntemler, klasik üretim ortamındaki çizelgeleme yöntemlerinden farklıdır. Bildiğimiz kadarı ile akıllı fabrikalarda çizelgeleme yöntemlerinin analizi ile ilgili detaylı bir literatür analizi yapılmamıştır.

Bu çalışmada, akıllı fabrikalar ile ilgili literatürde yapılan araştırmalar detaylı olarak analiz edilmiştir. Özellikle, 2015 yılından itibaren akıllı fabrikalarda çizelgeleme ile ilgili araştırmalar yapıldığı için veri seti olarak, 2015-2022 yılları arasında yayınlanmış olan ve 'Scheduling in Smart Factory' anahtar kelimesini içeren araştırma makaleleri incelenmiştir. Akıllı fabrikalarda verimi artırmak için son yıllarda literatürde önerilen yöntemler, bu araştırma ile ilk defa detaylı olarak analiz edilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümde, akıllı fabrikalar ile ilgili bilgiler verilmiştir. Akıllı fabrikalardaki çizelgeleme çalışmaları, üçüncü bölümde detaylı bir şekilde sunulmuştur. İncelenen çalışmalar ile ilgili değerlendirme ve bulgular, dördüncü bölümde tartışılmıştır. Beşinci bölümde, araştırmada elde edilen sonuçlar ve çalışma ile ilgili öneriler sunulmuştur.

2. AKILLI FABRİKA

Akıllı fabrika, makinelerin, ekipmanların, ulaşım araçlarının, ürünlerin ve insanların birbirine bağlanmasını ve gerçek zamanlı olarak bilgi alışverişinde bulunmasını sağlayan bilgi ve iletişim teknolojisinin entegrasyonunu ifade eder (Rub ve Bahemia, 2019). Başka bir ifade ile akıllı fabrika, internet üzerinden, gerçek zamanlı olarak üretim tesisleriyle ilgili tüm bilgileri toplayan, bir üretim yöntemini bağımsız olarak değiştiren, hammaddeleri değiştiren ve nihayetinde optimize edilmiş bir dinamik üretim sistemi uygulayan, hiper bağlantılı, ağ tabanlı entegre bir üretim sistemidir (Shi ve diğerleri, 2020). Temel olarak Akıllı Fabrika, birbirleriyle akıllı iletişimin mümkün kılınması ve iş adımlarının birbiriyle otomatik olarak koordine edilebilmesi için yazılım aracılığıyla, makine ve sistemlerin ağ oluşturmasıyla ilgilidir (Hermann, 2018). Akıllı fabrikanın amacı, sistematik süreçlerin yeniden kullanımını artırmak ve üretim süreçlerindeki karmaşık yapıların anlaşılabilirliğini geliştirmektir. Akıllı fabrika hem akıllı hem de özerk hareket eden makineler ve ürünlerle son derece esnek ve kendi kendine uyarlanabilir üretim süreçlerinin nihai olarak gerçekleştirilebilmesi için fiziksel varlıkların ve bilgi sistemlerinin dikey entegrasyonunu uygulamak için üretim odaklı Siber Fiziksel Sistemler inşa etmeyi amaçlar (Shi ve diğerleri, 2020). Akıllı bir fabrika, dört akıllı özellikle karakterize edilir (Kalsoom ve diğerleri, 2020). Bunlar aşağıda sunulmuştur.

Sensörler: Sensörler, akıllı fabrikalarda veri izleme, toplama ve kaydetmek için kullanılır. En yaygın kablosuz sensör ağ türleri Radyo Frekansı Tanımlama Teknolojisi (RFTT), ZigBee ve Bluetooth'tur (Chen ve diğerleri, 2017).

Birlikte çalışabilirlik: Akıllı fabrika, birlikte çalışabilirliğe ve İnternet'in gerçek zamanlı kontrolüne sahiptir. Cihazlar arasındaki ara bağlantı sayesinde cihazlar arasındaki koordinasyon geliştirilebilir ve üretim modülleri arasındaki konfigürasyon protokolleri daha esnek hale getirilebilir (Shi ve diğerleri, 2020).

Entegrasyon: Yapay Zekâ (YZ) ve robotlar, akıllı fabrikaların, süreçler arasında yüksek düzeyde entegrasyona sahip olmasını sağlar. YZ, insanın entelektüel yeteneklerinin entegrasyonu ile birlikte fabrikaların analiz ve karar verme faaliyetlerinin gerçekleştirilmesini sağlar (Kalsoom ve diğerleri, 2020).

Sanal Gerçeklik (SG) teknikleri: Sanal gerçeklik, sanal ortamlara erişim yoluyla insan duyuşsal algısını zenginleştiren bir dizi cihazı içerir. Bu öğeler, multimedya bilgisi sağlamak amacıyla görüşü (artırılmış gerçeklik gözlükleri), sesi (kulaklıklar) veya dokunmayı (eldivenler) artırmak için mobil cihazlara (akıllı telefonlar, tabletler veya PC'ler) veya diğer sensörlere eklenebilir. Sanal gerçeklik ile kurulum maliyetlerinin, hataların ve makine duruş süresinin azaltılması sağlanır. Ayrıca gerçek zamanlı bilgi alma ve sanal eğitim sağlama olasılığı nedeniyle üstün ürün kalitesi ortaya çıkar (Büchi ve diğerleri, 2020).

2.1. Akıllı Fabrika İçerisindeki Teknolojiler

Nesnelerin İnterneti: Nesnelerin İnterneti, akıllı fabrikanın temel özlerinden biridir. Nİ, basitçe internetin nesnelere entegrasyonu olarak tanımlanabilir. Nİ ağları, sensör ağları ve aktüatör ağları oluşturmak üzere bağlanan sensörler ve aktüatörler gibi gömülü cihazlardan oluşur. Nİ'nin fabrikaya entegrasyonu, akıllı üretim sürecini mümkün kılar. Akıllı üretim, akıllı cihazlar, makineler ve nesnelere arasında gerçek zamanlı veri paylaşımına ve etkileşime sahiptir. Akıllı fabrikada yaygın olarak kullanılan Nİ unsurları arasında Radyo frekansı ile tanımlama teknolojisi, akıllı etiketler, algılama teknolojileri, konum takibi, gerçek zamanlı aktüatörlerin kontrolü vb. bulunur. Nİ teknolojilerinin fabrika ortamında tam entegrasyonu, dördüncü endüstri devrimi olarak adlandırılır (Malik ve Kim, 2020). Nİ, nesnelere arasındaki ara bağlantı altyapısıdır. Nİ, imalat cihazları ile hizmet sağlayıcıları veya tüketicileri arasında veri alışverişi yapmasını sağlar. Teknik açıdan Nİ, RFTT, diğer iletişim cihazları (yani gömülü bilgisayarlar), Bulut Tabanlı İmalat (BTİ) uygulamaları, Kurumsal Kaynak Planlama (KKP) entegrasyonu ve iş zekâsı teknolojisi gibi sensörlerin bir kombinasyonu olarak tanımlanabilir. Sensörler, araçlar ve ağır ekipman (vinçler, Otomatik Kılavuzlu Araçlar (OKA), yükleyiciler), makineler ve robotlar gibi fiziksel nesnelere yerleştirilmiştir (Mabkhot ve diğerleri, 2018).

Siber Fiziksel Sistemler: SFS, bilgisayar, iletişim ve fiziksel çevre ile etkileşime giren, bileşenler tarafından izlenen, koordine edilen, kontrol edilen ve entegre edilen, büyük ölçekli, birbirine bağlı, karmaşık heterojen ve ağ bağlantılı sistemlerdir. SFS, bilgi ve kaynakların aranabileceği, erişilebileceği, keşfedebileceği veya talep üzerinde geri yüklenebileceği, akıllıca analiz edilebileceği kablolu/kablosuz bir ağ üzerinden veri iletebilen ve alabilen gömülü sistemin güncellenmiş bir versiyonudur (Sinha ve Roy, 2020). SFS, bilgisayar ve fiziksel yetenekleri bütünleştiren yeni nesil sistemlerdir. Bilgi işlem gücü, iletişim teknolojileri ve kontrol mekanizmalarını kullanarak fiziksel dünyanın etkileşim ve genişleme yeteneklerini kullanarak geri bildirim döngülerine, üretim süreçlerini iyileştirmeye ve karar verme süreçlerinde insanların optimum desteğine izin verir. SFS, ilgili sensör teknolojisini kullanarak doğrudan fiziksel verileri alabilir ve bunları dijital sinyallere dönüştürebilir. Bu bilgileri paylaşabilir ve onu dijital ağlara bağlayan mevcut verilere erişebilir, böylece nesnelerin interneti oluşturabilirler. SFS, şüphesiz gömülü sistem ve sistemlerle gerçek zamanlı entegrasyondur. Bu tür bir entegrasyonda, bilgiye dayalı mühendislik sistemleri, YZ, mevcut kurulu sistemler gibi çok sayıda araç ve sistem bir araya getirilerek SFS adı verilen yeni bir sisteme dönüştürülür. SFS, üretimin tüm seviyelerinde, makinelerin, süreçlerin üretim ve lojistik ağlarına kadar farklı durumlarda iletişim ve etkileşimleri birbirine bağlayan, özerk ve işbirlikçi unsurlar ve alt sistemlerden oluşur (Hozdic, 2015). Akıllı üretim tesislerini kontrol etmek için bir üretim ortamında, Siber-Fiziksel Üretim Sistemleri (SFÜS) gereklidir. SFÜS'nin görevi, bireysel SFS'İ koordine etmek ve üretimdeki değişiklikleri kontrol etmektir (Hermann, 2018).

Bulut Tabanlı İmalat: Bulut Tabanlı İmalat, akıllı fabrikanın önemli bir bileşenidir. Bir bulut yaklaşımında, veriler veya hizmetler genellikle bir iç veya dış hizmet sağlayıcıya dışarıdan sağlanır. Bu tür hizmetlerin faturalandırılması her zaman kullanıma bağlıdır. Üç hizmet unsuru farklılaştırılabilir. Hizmet Olarak Altyapı (HOA), bir bulut sağlayıcı aracılığıyla, bilgi işlem, depolama ve ağ kapasitesinin sağlanmasıdır. Hizmet Olarak Platform (HOP) hizmet ögesi, kullanıcıya bir internet sağlayıcısı aracılığıyla teknik bir çerçeve biçiminde bir geliştirme ortamı sağlar. Bunlar, standartlaştırılmış ortamlardır. Sunulan ortamı uygulama ihtiyacını ortadan kaldırarak yazılım geliştirmeyi basitleştirir ve hızlandırır. Hizmet Olarak Yazılım (HOY), bir bulut aracılığıyla, standartlaştırılmış uygulama hizmetleri sağlar ve son kullanıcılar tarafından kullanılabilir (Hermann, 2018).

Yukarıdaki tanımlar, akıllı fabrika anlamında, üretimin, otomasyon olmadan gerçekleşmeyeceğini açıkça ortaya koymaktadır. Otomasyon, üretim süreçlerini hızlandırır ve optimize eder. Bu, üretim süreci fonksiyonlarının yapay sistemlere aktarılmasıyla yapılır. Otomatik makine, önceden tanımlanmış belirli

işlemleri otonom veya otomatik olarak yürüten bir makinedir. Otomasyonun derecesine göre kısmi veya tam otomasyon olarak adlandırılır. Akıllı fabrika alanında tam otomasyon gereklidir. Akıllı fabrikada farklı görevleri olan süreçler, esnek üretim sistemleri tarafından yürütülür (Hermann, 2018).

2.2. Sistem Mimarisi

Akıllı fabrikalar, fiziksel kaynak katmanı, endüstriyel ağ katmanı, bulut katmanı ve denetim katmanı olmak üzere dört somut katmandan oluşmaktadır (Wang ve diğerleri, 2015).

Fiziksel Kaynak Katmanı: Fiziksel kaynaklar, akıllı üretimin başarısının temelini temsil eden, üretimin tüm yaşam döngüsünde yer alan tüm üretim kaynaklarını içerir (Chen ve diğerleri, 2017). Bu kaynaklar, bir bütün olarak tüm atölye, atölyede yer alan makineler ve atölyede gerçekleştirilen tüm faaliyetlerdir (Osterrieder ve diğerleri, 2020). Bu akıllı eserler, endüstriyel ağ aracılığıyla birbirleriyle iletişim kurabilir ve bunun ötesinde, sistem çapında bir hedefe ulaşmak için iş birliği yapabilirler. Örneğin, bir grup makine, bir ürünün gerektirdiği işlem sırasını işlemek için müzakere yoluyla belirlenir. Böylece akıllı yapılar, endüstriyel ağ ve akıllı iş birliği mekanizmasına dayalı, kendi kendini organize eden ve otonom bir üretim sistemi oluşturur (Wang ve diğerleri, 2015).

Endüstriyel Ağ Katmanı: Endüstriyel ağlar, field bus ve sensör ağları gibi çeşitli ağ teknolojilerinin entegrasyonunu temsil eder. Algılama ve kontrol ile karakterize edilen ağ katmanı, akıllı fabrikada önemli bir rol oynamaktadır (Chen ve diğerleri, 2017). Endüstriyel ağ katmanı, makinelerde yer alan sensörlerden gelen bilgileri, bulut katmanına veya tam tersi şeklinde bulut katmanında yer alan bilgileri, makinelere ileterek veri aktarım sürecini işletir. Yazılım hangi verilerin (veri türü ve çeşitliliği) ve hangi hızda (hız ve hacim) gönderildiğini/alındığını kontrol eder (Osterrieder ve diğerleri, 2020). Endüstriyel ağ katmanı, akıllı fabrikalarda, örneğin yeni eklenen makineler, makine arızası, OKA'lar ve ürünler gibi mobil varlıklardan kaynaklanan uçucu özellikleri göz önüne alındığında, Endüstriyel Ethernet gibi kablolu ağlardan üstündür (Wang ve diğerleri, 2015).

Bulut Katmanı: Bulut katmanı ile güçlü, esnek ve kullanılabilir depolama sağlanır. Dağıtılmış ve paralel veri işleme mimarisi, büyük ölçekli üretim verileri ve yüksek karmaşıklıkta bilgi işlem görevleri için etkili bir çözüm sağlar ve kaynakların sanallaştırılması, kaynakların bulut üzerinde akıllı yönetimini ve dağıtımını iyileştirir. Bu nedenle, YZ, algoritmalarının ve bulut bilişimin entegrasyonu, platformun veri işleme verimliliğini ve hizmet kalitesini etkin bir şekilde geliştirir (Wan ve diğerleri, 2018a). Bulut Katmanı, akıllı fabrikayı destekleyen bir diğer önemli altyapı türüdür. Bulut bilişim teknolojisi ile internet bile devasa bir kaynak havuzu olarak sanallaştırılabilir. Bu nedenle bulut katmanı, hem depolama alanı, hem de bilgi işlem yeteneğinin talep üzerine ölçeklenebilmesi anlamında büyük veri uygulaması için çok esnek bir çözüm sunar. Akıllı yapılar çalıştırıldığında, bilgi sistemlerinin işlemesi için Endüstriyel ağ katmanı aracılığıyla, buluta aktarılabilen devasa veriler üretebilir. Büyük veri analitiği, daha sonra denetim katmanı dahil olmak üzere sistem yönetimini ve optimizasyonunu destekleyebilir (Wang ve diğerleri, 2015).

Denetim Katmanı: Denetim Katmanı, insanları akıllı fabrikaya bağlar. Bilgisayar, tablet, cep telefonu gibi terminaller ile kişiler, bulutun sağladığı istatistiklere erişebilmekte, farklı bir konfigürasyon uygulayabilmekte veya internet üzerinden uzaktan dahi olsa bakım ve teşhis gerçekleştirebilmektedir (Wang ve diğerleri, 2015).

2.3. Akıllı Fabrika ve Geleneksel Fabrika

Akıllı fabrikalarda, aynı hatta, birkaç farklı ürün yapılabilirken, geleneksel fabrikalarda hat başına sadece bir ürün üretilir. Akıllı fabrikalarda, üretim ve kaynaklar önceden iyi tanımlanmıştır. Üretim hatları, yeni ürün tipine, hızlı ve otomatik olarak uyarlanırken, geleneksel fabrikalarda hatlar kolayca değiştirilemez. Akıllı fabrikalar, eksiksiz bağlantı ile karakterize edilir; bu, cihazların, ürünlerin ve insanların bilgi sistemleri aracılığıyla, birbirine bağlı ve etkileşimde olduğu anlamına gelir. Geleneksel fabrikalarda, cihazlar arasında iletişim gerekli değildir. Akıllı fabrika, belirli bir ağ üzerinde çalışır, geleneksel fabrikalarda ise cihazlar, bilgi sistemine merkezi bir şekilde bağlanır. Akıllı fabrikalar, kendi kendine organize olur ve büyük miktarda veri işler. Geleneksel fabrikalarda, her cihaz belirli bir hizmet için programlanır ve merkezi bir sistemde toplanan ve genellikle diğer cihazlar tarafından doğrudan erişilemeyen daha az miktarda veriyi işler (Resman ve diğerleri, 2021).

2.4. Akıllı Fabrika Kullanım Gereklilikleri

Nİ ve büyük veri kavramlarının varlığı, akıllı fabrikaya fayda sağlar. Bu kavramların kuruluşlara büyük değer sağlayan en yaygın kullanım durumları aşağıda sıralanmıştır (Illa ve Padhi, 2018).

Tahmine Dayalı ve Önleyici Analiz: Akıllı fabrikalarda, maliyetleri minimize etmek amacıyla tahmine dayalı analitik yöntemlerden yararlanılmıştır. Bu yöntem, makine arızası nedeniyle planlanmamış duruş sürelerini azaltmak için kullanılmaktadır. Fabrikalar, makine arızalarını önlemek için periyodik olarak

Önleyici Bakım (ÖB) gerçekleştirmektedir. Ancak, ÖB gerçekleştirilse bile makineler, zaman zaman arızalanabilmektedir. Tahmine Dayalı Analitik (TDA) yöntemi ile hedeflenen tahmine dayalı bakım gerçekleştirilebilir. Makineler, fabrikalarda, işlemlerini gerçekleştirirken tonlarca veri üretmektedir ve bu veriler, sıcaklık, basınç vb. gibi makine parametrelerini ve üst ve alt limitler vb. gibi süreç parametrelerini içerir. Nİ ile makine arızalarına yol açan nedenleri belirlemek için TDA yöntemi kullanılır. Bu yöntem ile yaklaşan arızalardan hemen önce alarmlar oluşturulur ve bu sayede, planlanmamış arıza süreleri azaltılarak, maliyetler minimize edilir.

Kalite Yönetimi: Hata analizi ve önleme çalışmaları, kalite yönetiminin özüdür. Nİ platformu, hammaddeler, proses parametreleri, operatör detayları vb. ile ilgili büyük hacimli verilerin çekilmesini sağlar. Üretim tesisleri çok sayıda veri ürettiğinden kaynaklı Nİ, hataları analiz eder ve nerelerde oluştuğunu belirlemeye çalışır. Bu sayede fabrikalarda, hatalar önceden önenebilir ve engellenebilir.

Optimizasyon: Fabrikalar, hammadde ve enerji olmak üzere iki temel girdi tüketir. Enerji kullanım maliyeti, ürün maliyet yapısının önemli bir bileşenidir. Özellikle proses üretimi aşamasında kullanılan girdilerin miktarını belirlemek zordur. Akıllı fabrikalarda, makinelere takılan sensörler ve göstergeler, kullanılan girdileri takip etmeyi sağlar ve Nİ platformuyla birlikte bağlayıcılar, sensörlerden gelen verileri çekebilir ve doğru tüketim eğilimi sağlamak için bu verileri analiz edebilir. Bu sayede, herhangi bir makinenin gereğinden fazla girdi tüketip tüketmediği doğru bir şekilde takip edebilir ve girdi tüketimini optimize edebilir. Bu sayede ürün üretme maliyetleri minimize edilebilir (Illa ve Padhi, 2018).

3. AKILLI FABRİKALARDA ÇİZELGELEME ÇALIŞMALARI

Endüstri 4.0 ile üretim alanında, tedarikçilerde, müşterilerde ve ortaklardan büyük miktarlarda veri elde edileceği için üretimde esneklik sağlanmış ve çizelgeleme etkinliği artırılmış olacaktır. Akıllı fabrikalarda çizelgeleme sürecinde, merkezi olmayan ve otonom karar verme sağlanacak, esnek çizelgeleme paradigması ön plana çıkmış olacak, bütünsel çizelgeleme yapılacak, çevrim içi, gerçek zamanlı ve reaktif çizelgeler oluşturulacak, belirsizlik altında ve eksik veriler ile çizelge yapma imkanı olacak, çizelgelemede farklı optimizasyon yöntemleri göz önüne alınarak farklı amaçlar için ödünleştirme yapılacak ve makineler proaktif olacağı için otomatik, kendi kendine çizelgeleme yapma fırsatının olması beklenmektedir (Parente ve diğerleri, 2020)

Bu bölümde, akıllı fabrikalarda gerçekleştirilen çizelgeleme çalışmaları incelenmiştir. Literatürde, 2015-2022 yılları arasında yapılan çalışmalar Yıl, Çalışmayı Yapan Yazar(lar) ve Çalışmanın Kısa Özeti başlıkları ile Tablo 1'de sunulmuştur. Literatür taraması, "Google Scholar" üzerinden yapılmıştır. Literatür çalışması gerçekleştirilirken "Scheduling in Smart Factory" anahtar kelimesi temel alınmıştır. "Google Scholar" üzerinde, ilgili anahtar kelime ile araştırma yapıldığında, 210 adet çalışma tespit edilmiştir. Bu çalışmalar incelenmiş ve akıllı fabrikalarda çizelgeleme ile ilgili detaylı çözüm öneren, 15 adet araştırma tespit edilmiş ve bunlar analiz edilmiştir. Çalışmalar arasında, yayın tarihi 2015 ve sonrasında olan ve literatürde önemli bir yere sahip, Yapay Zekâ Planlayıcılar, Genetik Algoritma, Parçacık Sürüsü Optimizasyonu ve bunlar gibi birçok yaklaşımın önerildiği belirlenmiştir.

Ivanov ve diğerleri (2015) çalışmalarında, işbirlikçi siber fiziksel sistemler temelindeki akıllı fabrikaların, endüstriyel ağların gelecekteki bir biçimini temsil ettiğini söylemişlerdir. Bu tür ağlardaki tedarik zincirleri, zamanla gelişen dinamik yapılara sahiptir. Bu ortamlarda, akıllı fabrikalarda, kısa vadeli tedarik zinciri planlaması, geçici makine yapıları, paralel makinelerde farklı işleme hızları ve dinamik iş gelişleri nedeniyle zorlanmaktadır. Çalışmalarında, akıllı fabrikalarda, Endüstri 4.0'da kısa vadeli tedarik zinciri çizelgeleme için dinamik bir model ve algoritma önermişlerdir. Ele alınan problemin özelliği, hem makine yapısı seçiminin hem de iş atamalarının aynı anda değerlendirilmesidir. Çizelgeleme yaklaşımı, işlerin yürütülmesinin dinamik, durağan olmayan bir yorumuna ve çizelgeleme probleminin zamansal bir ayrıştırmasına dayanmaktadır.

Shiue ve diğerleri (2018) çalışmalarında, Gerçek Zamanlı Çizelgeleme (GZÇ) sorunuyla ilgili önceki çalışmaları incelemiş ve sistemdeki çeşitli bölgeler için Çoklu Dağıtım Kuralı (ÇDK) stratejisi kullanmanın, üretim performansını Tek Dağıtım Kuralı (TDK) kullanmaktan daha büyük ölçüde artırabileceğinden bahsetmiştir. Çalışmalarında akıllı fabrikalarda GZÇ sistemine, ÇDK seçim mekanizması kullanılarak, Pekiştirmeli Öğrenme (PÖ) tabanlı bir yaklaşım önermişlerdir. Yaklaşımları, atölye ortamındaki değişikliklere verimli bir şekilde yanıt vermiştir.

Wan ve diğerleri (2018b) çalışmalarında, akıllı fabrikada, yük dengeleme ve çizelgeleme optimizasyonu için akıllı sayaç ile nicel bir enerji bilinçli model oluşturmanın genel olarak mümkün olmadığından bahsetmişlerdir. Çalışmalarında akıllı fabrikada, sis düğümlerine dayalı bir Enerji Bilinçli Yük Dengeleme ve Çizelgeleme (EBYDÇ) yöntemi önerilmiştir. İlk olarak, sis düğümü üzerinde iş yükü ile ilgili bir enerji tüketim modeli kurulmuştur ve imalat kümesinin yük dengelemesini hedefleyen bir optimizasyon fonksiyonu formüle edilmiştir. Daha sonra, optimal bir çözüm elde etmek için geliştirilmiş

parçacık sürüsü optimizasyon algoritması kullanılmış ve görevleri gerçekleştirme önceliği, imalat kümesine doğru oluşturulmuştur. Son olarak, üretim kümesinin dağıtılmış çizelgelemesini elde etmek için çok etmenli sistemini tanıtmışlardır.

Tablo 1. 2015-2022 Yılları arasında akıllı fabrikalarda çizelgeleme ile ilgili literatürde yapılan çalışmalar

<i>Çalışma</i>	<i>Çalışmanın Kısa Özeti</i>
Ivanov ve diğerleri (2015)	Akıllı fabrikalarda, Endüstri 4.0'da, kısa vadeli tedarik zinciri çizelgeleme için dinamik bir model ve algoritma önerilmiştir.
Shiue ve diğerleri (2018)	Akıllı fabrikalarda, Gerçek Zamanlı Çizelgeleme sistemine, ÇDK seçim mekanizması kullanılarak PÖ tabanlı bir yaklaşım önerilmiştir.
Wan ve diğerleri (2018b)	Akıllı fabrikada, Sis düşümlerine dayalı bir Enerji Bilinçli Yük Dengeleme ve Çizelgeleme (EBYDÇ) yöntemi önerilmiştir.
Zhao ve diğerleri (2019)	Akıllı fabrikalarda, entegre süreç planlama ve çizelgelemenin, bulut tabanlı dağıtık optimizasyonu yaklaşımı önerilmiştir.
Lim ve diğerleri (2019)	Endüstri 4.0 kapsamındaki akıllı fabrika gereksinimlerini desteklemek için modülerlik ve hız gibi gereksinimleri karşılayacak bir ayrıştırma yaklaşımı önerilmiştir.
Wan ve diğerleri (2020)	Akıllı fabrikada çok kaynaklı üretim verilerinin, ağlar arası esnek iletimini ve ağ kaynaklarının optimize kullanımını gerçekleştirmek için yazılım tanımlı, ağ tabanlı, heterojen bir ağ mimarisi önerilmiştir.
Malik ve diğerleri (2020)	Akıllı bir fabrikada meydana gelebilecek sorunlar için VKBDVGYM olarak adlandırılan verimli ve kaynağa duyarlı bir çizelgeleme şemasına dayalı verimli bir görev yönetimi mekanizması önerilmiştir.
Xiao ve diğerleri (2021)	Akıllı bir fabrikada, görevleri kesintisiz ve verimli bir şekilde çalıştırmak için, bir Konteyner Tarafından Yönetilen Görev Kilitleme Kurtarma Mekanizması önerilmiştir.
Malik ve Kim (2021)	Akıllı bir fabrikada çıkabilecek sorunlara entegre çözümler bulmak için çizelgelemede öğrenmeye dayalı, verimli görev yönetimi mekanizması önerilmiştir.
Zhou ve diğerleri (2021a)	Akıllı fabrikalarda, düşük hacimli, yüksek karışımli siparişlerin, internet üzerinden çizelgelenmesi için yeni siber-fiziksel entegrasyon fikri önerilmiştir.
Kalempa ve diğerleri (2021)	Akıllı fabrikalarda, önleyici görev çizelgelemesine ilişkin, öncelik ilkelerini tanıtan ve görevler arasındaki bağımlılıkları dikkate alan ve hataları tolere eden Çok Robotlu Görev Tahsisi (ÇRGT) yaklaşımı önerilmiştir.
Zhou ve diğerleri (2021b)	Akıllı bir fabrikada, belirsizlik altında üretim işlerinin veriye dayalı dinamik zamanlaması için bileşik ödül işlevlerine sahip yeni bir YZ planlayıcı önerilmiştir.
Li ve diğerleri (2021)	Siber-fiziksel fabrikalarda, gerçek zamanlı planlama ve çizelgeleme elde etmek için "böl ve yönet" yaklaşımı olan Mekansal Zamansal Sıra Dışı Yürütme (MZSDY) yaklaşımı önerilmiştir.
Viagas ve diğerleri (2021)	Farklı derecelerde belirsizlik ve çeşitli verimlilik önlemleri ile bir atölyede çeşitli karar verme senaryoları modellenmişler ve gerçek zamanlı ve gelişmiş bilgilerin, Endüstri 4.0 bağlamında, avantajlı bir şekilde nasıl entegre edilebileceğini değerlendirmek için bir hesaplama deneyimi gerçekleştirmişlerdir.
Zhou ve diğerleri (2022)	Akıllı fabrikaya uygun bir sis hesaplama çerçevesi önerilmiş ve akıllı fabrika uygulamalarını otomatik olarak dağıtmak için Kubernetes kullanılmıştır. Sis hesaplamada, akıllı fabrikadaki görevleri planlamak ve tahsis etmek için GA'ya dayalı geliştirilmiş bir Aralık Bölmeli Genetik Çizelgeleme Algoritması (ABGÇA) önerilmiştir.

Zhao ve diğerleri (2019) çalışmalarında, akıllı fabrikalarda, her yeni üretim siparişi alındığında veya fabrika durumunda değişiklik tespit edildiğinde, süreç planlama ve çizelgeleme yapılması gerektiğinden bahsetmişlerdir. Bu çalışmada fabrikanın duyarlılığını ve kârını artırmak için yeni bir plan ve takvimin hızla belirlenmesi gerektiği anlatılmıştır. Üretim süreci planlama ve çizelgelemenin eş zamanlı optimizasyonu, geleneksel sıralı yaklaşımdan daha iyi sonuçlara yol açmaktadır. Ancak hesaplama açısından daha pahalıdır ve bu nedenle gerçek dünyadaki üretim senaryolarına uygulanması zordur. Bu

çalışmada akıllı fabrikalarda, entegre Süreç planlama ve çizelgelemenin, bulut tabanlı dağıtık optimizasyonu yaklaşımı önerilmiştir. Çoklu alt popülasyonlar üzerinde, çok amaçlı bir Genetik Algoritma (GA) yürütülmüştür. Popülasyon sayısı, mevcut optimizasyon durumuna göre otomatik olarak belirlenmiştir. Önerilen çözümün uygulanabilirliğini göstermek için iki üretim senaryosuna dayanan bir dizi test senaryosu kullanılmıştır.

Lim ve diğerleri (2019) çalışmalarında, tesis ve tedarik zinciri sorunları gibi çoğu çizelgeleme problemlerinde, kaynaklar ve operasyonlar arasındaki bağlantıların, yanal, sıralı yapıları nedeniyle genellikle sınırlandırıldığından bahsetmişlerdir. Otomatik yönlendirmeli araçlar ve iş atölyeleri ile karşılaştırıldığında, esnek bir üretim sistemi sorununun, doğal ağ yapısından kaynaklanan kombinatoriyal doğa, ilgili işlerin, topolojik ve zamansal olarak iç içe geçmesine neden olur. Zamansal ve uzaysal ağ yapısı, geleneksel ayrıştırma yaklaşımlarının doğrudan uygulanmasını engeller. Bu çalışmada Endüstri 4.0 kapsamındaki akıllı fabrika gereksinimlerini desteklemek için modülerlik ve hız gibi gereksinimleri karşılayacak bir ayrıştırma yaklaşımı önerilmiştir. Temsilci metodolojisine uygun olarak, her iki temsilci arasında yalnızca gerekli bilgiler iletilmiştir ve bu yaklaşım farklı paydaşlar arasında yalnızca sınırlı bilgiler paylaşıldığı, gerçek endüstriyel ortamlarda uygulanmıştır.

Wan ve diğerleri (2020) çalışmalarında, Endüstri 4.0 bağlamında, gelişmiş üretim ekipmanlarının ve çeşitli sensörlerin kapsamlı dağıtım ve uygulanmasının, farklı cihazlar arasında veri alışverişi için artan bir talebe yol açtığından bahsetmişlerdir. Akıllı fabrikalarda, ağ iletimi, kablolu/kablosuz iletişimin çoklu protokol özelliklerine sahiptir ve farklı veri akışlarının, farklı gerçek zamanlı gereksinimleri vardır. Bu çalışmada, çok kaynaklı üretim verilerinin ağlar arası esnek iletimini ve ağ kaynaklarının optimize kullanımını gerçekleştirmek için yazılım tanımlı, ağ tabanlı heterojen bir ağ mimarisi önerilmiştir. Daha sonra, Ağlar Arası Birleştirme ve Çizelgeleme (AABÇ) mekanizması, yüksek dinamik özellikler ve veri akışlarının farklı gecikme gereksinimleri açısından analiz edilmiştir. Bu analize dayalı olarak, rotaya duyarlı bir veri akışı dinamik yeniden yapılandırma algoritması önerilmiştir. Önerilen algoritma, özellikle çok değişkenli ve küçük ölçekli akıllı üretim sistemleri için üretim verilerinin ağlar arası füzyonunun verimliliğini arttırmıştır. Ayrıca, farklı gecikme akışlarının bant genişliği gereksinimlerini karşılamak için gecikmeye duyarlı bir ağ bant genişliği planlama algoritması önerilmiştir. AABÇ mekanizmasının etkinliği, bir şeker paketleme akıllı üretim hattı prototip platformu kullanılarak doğrulanmıştır.

Malik ve Kim (2020) çalışmalarında, akıllı üretim olarak da bilinen akıllı fabrikaların, Endüstri 4.0 devrimi ile ortaya çıkan bir alan olduğunu söylemişlerdir. Tüm bu kavramların yardımıyla akıllı fabrika, üretim varlıklarını bütünleştirir ve endüstriyel ağları temsil eder. Bu çalışmada, akıllı bir fabrikada meydana gelebilecek sorunlar için Verimli ve Kaynak Bilincine Dayalı Verimli bir Görev Yönetimi (VKBDVGYM) mekanizması önerilmiştir. Etkin görev yönetimi için kullanılan çizelgeleme algoritması, Aracı İşbirliği Mekanizması (AİM) ve ilk önce Adil Acil Durum (AAD) çizelgeleme şeması olmak üzere iki çizelgeleme yaklaşımının melezidir. AİM, makine başına üretim maksimizasyonu hedeflerine odaklanan ve ayrıca akıllı fabrikada yer alan tüm makine ağlarının üretim hedeflerine dikkat eden merkezi olmayan bir çizelgeleme yaklaşımıdır. AAD zamanlama şeması, makine yuvalarını verimli bir şekilde kullanarak görevlerin aç kalma oranını en aza indirmeye ve makine kullanımını en üst düzeye çıkarmaya odaklanır. Önerilen hibrit mekanizma, görevlerin yürütülmesini verimli bir şekilde planlamayı, makinelerin kaynak kullanımını en üst düzeye çıkarmayı, üretkenliği en üst düzeye çıkarmayı, üretim gecikmelerini en aza indirmeyi, istisnaları verimli bir şekilde ele almayı ve akıllı fabrika aktörlerini verimli bir şekilde kontrol etmeyi amaçlamıştır.

Xiao ve diğerleri (2021) çalışmalarında, akıllı fabrikaların, teknolojinin, işin, ürünlerin ve endüstrinin derin bir entegrasyonu olduğunu söylemişlerdir. Ürünlerin Ar-Ge'si, fabrika bilgilerinin inşası, müşteri siparişleri ve tedarik zinciri verileri, üretim üzerinde hareket etmek için birleştirilir. Bu çalışmada, akıllı cihaz katmanı, iletişim protokolü katmanı, uç bilgi işlem katmanı, Nİ kontrol katmanı ve uygulama katmanı olmak üzere beş katmandan oluşan bir Hibrit Nesnelerin İnterneti (H-Nİ) platform çerçevesi önerilmiştir. İşlem Kontrolü için Nesne Bağlama ve Gömme, alınan cihaz verilerini uç sunucunun veri tabanına iletir. Edge sunucusu, veri temizleme gibi ön işlemleri gerçekleştirdikten sonra, cihaz verileri tek tip olarak toplanır ve Nİ katmanı aracılığıyla dağıtılır. Akıllı fabrikanın çeşitli alt sistemleri, gerekli kaynak verilerini Nİ aracılığıyla elde eder. Görevleri kesintisiz ve verimli bir şekilde çalıştırmak için, bir Konteyner Tarafından Yönetilen Görev Kilitlenme Kurtarma Mekanizması önerilmiştir. Uç Hiyerarşisi (UH) tasarlanmış, ardından bir görev geçişi çizelgeleme stratejisi önerilmiştir. Bu yöntem ile kısmi uç sunucuların rastgele çökmesi durumunda bile toplu veri iletimi ile üretimin güvenilirliği ve istikrarı sağlanmıştır.

Malik ve Kim (2021) çalışmalarında, tahmin mekanizmasının, akıllı bir fabrikada çok önemli olduğunu, çünkü geçmiş trendlerden edinilen bilgilere dayalı olarak ürün kalitesini ve müşteri deneyimini iyileştirmeye geniş çapta yardımcı olduğundan bahsetmiştir. Kim ve Malik'e göre üretim ve tüketici kalıplarını tahmin etmek için analitik araçlarının uygulanması hayati bir kuraldır. Bu çalışmada, akıllı bir fabrikada çıkabilecek sorunlara entegre çözümler bulmak için çizelgelemede, öğrenmeye dayalı verimli

görev yönetimi mekanizması önerilmiştir. Tahmin etmeyi öğrenme mekanizması, makine kaynaklarını verimli bir şekilde kullanmak için akıllı fabrikada yer alan makineler için makine kullanımını tahmin etmeyi amaçlar. Kullanılan tahmin algoritması Yapay Sinir Ağıdır (YSA) ve kullanılan tahmin etmeyi öğrenme algoritması Parçacık Sürüsü Optimizasyonudur (PSO). Önerilen görev yönetimi mekanizması, çoklu senaryo simülasyonları ve performans analizine dayalı olarak değerlendirilir. Karşılaştırma analizi, önerilen görev yönetim sisteminin makine kullanım oranını önemli ölçüde iyileştirdiğini ve görev örneklerinin eksik oranını ve görevlerin boş kalma oranını önemli ölçüde azalttığını göstermektedir.

Zhou ve diğerleri (2021a) çalışmalarında, algılama ve iletişim teknolojilerindeki hızlı gelişmelerin, büyük miktarda veri üreten ayrılmış üretim birimlerini birbirine bağladığını söylemiştir. Yeni kitlesel kişiselleştirme eğilimi, üretim çizelgelemesine daha yüksek düzeyde rahatsızlık ve belirsizlik getirir. Geleneksel üretim sistemleri, aşırı bağımlılık ve merkezi kontrolörler ve sınırlı iletişim kanalları için verimsiz ve güvenilir olmayan bilgisayar sisteminde verileri analiz eder ve siparişleri planlar. Nİ ve bulut teknolojileri, çoklu etmen sistemi gibi dağıtılmış bir üretim mimarisi oluşturmayı mümkün kılar. Son zamanlarda, YZ yöntemleri, üretim ortamındaki çizelgeleme sorunlarını çözmek için kullanılır. Ancak, çok çeşitli üretim birimlerine sahip dağıtılmış bir sistemde yüksek boyutlu verileri işlemek, çizelgeleme algoritmaları için zordur. Bu nedenle, bu çalışmada akıllı fabrikalarda düşük hacimli-yüksek karışımı siparişlerin internet üzerinden çizelgelenmesi için yeni siber-fiziksel entegrasyon fikri önerilmiştir. İlk olarak, üretim birimleri, Nİ teknolojileri tarafından, SFS aracılığıyla birbirleriyle bağlanmıştır. İşleme operasyonlarının nitelikleri kayıt altına alınmakta ve RFTT etiketleri ile iletilmektedir. İkinci olarak, gerçek zamanlı sensör verileriyle dinamik operasyonları planlamak için her bir birimde (örneğin depo, makine) yeni sinir ağlarına sahip YZ planlayıcı önerilmiştir. Her YZ planlayıcı, kendi planlama deneyimlerinden öğrenerek diğer planlayıcılarla işbirliği yapabilmektedir. Üçüncü olarak, PÖ dayalı birden fazla YZ planlayıcısının karar verme yeteneklerini geliştirmek için yeni ödül işlevleri tasarlanmıştır. Önerilen metodoloji, akıllı bir fabrikada değerlendirilmiştir. Deney sonuçlarında, akıllı fabrikalarda yeni mimarinin yalnızca birden fazla YZ zamanlayıcısının öğrenme ve zamanlama verimliliği ile değil, aynı zamanda acele siparişler ve makine arızaları gibi beklenmedik olaylarla etkili bir şekilde ilgilendiği ortaya çıkmıştır.

Kalempa ve diğerleri (2021) çalışmalarında, otonom robotların kullanıldığı, akıllı fabrikalarda, verimliliği ve esnekliği artırmak için önleyici görev çizelgelemesine ilişkin öncelik ilkelerini tanıtan ve görevler arasındaki bağımlılıkları dikkate alan ve hataları tolere eden Çok Robotlu Görev Tahsisi (ÇRG T) yaklaşımını önermiştir. Yaklaşım, Hata Kurtarma ile Çoklu Robot Önleyici Görev Çizelgelemesi (ÇRÖGÇ) olarak adlandırılır. Her yeni olayda, yönetim için çalışan süreçler ve görevleri arasındaki etkileşimi göz önünde bulundurarak, boşta kalma ve gecikme olmaksızın daha alakalı görevlere öncelik verilmiştir. ÇRÖGÇ'nin değerlendirilmesi, Akıllı Depolarda, Artırılmış Gerçeklikten Gelişmiş Deneye Artırılmış Gerçeklik olarak adlandırılan küçük ölçekli depo lojistiğinde deney yoluyla gerçekleştirilmiştir. Önerilen yaklaşımın faydalarını göstermek için öncelik çizelgeleme, görev önleme ve hata kurtarma analizi sunulmuştur.

Zhou ve diğerleri (2021b) çalışmalarında, algılama ve bulut teknolojilerindeki hızlı gelişmelerin, üretim sistemini veri açısından zengin bir ortama dönüştürmekte olduğunu ve üretim planlamasını giderek daha karmaşık hale getirdiğini söylemişlerdir. Geleneksel çevrim dışı çizelgeleme yöntemleri, çeşitli tasarım özelliklerine sahip, düşük hacimli yüksek karma iş emirlerini işleme yeteneği açısından sınırlıdır. Simülasyona dayalı yöntemler, imalat işlerinin dağıtılmış çizelgeleme vaadini göstermektedir, ancak çoğunlukla tarihsel veriler ve ampirik kurallarla statik bir şekilde uygulanmaktadır. Son zamanlarda, YZ algoritmaları, üretim ortamındaki dinamik çizelgeleme problemlerini çözmek için artan ilgiyi körüklemektedir. Bununla birlikte, akıllı üretim için birden fazla pratik amaç (örneğin, üretim süresini en aza indirmek, üretim maliyetlerini azaltmak, iş yüklerini dengelemek) düşünülürken üretim planlaması için yüksek boyutlu verileri kullanmak zordur. Bu nedenle, akıllı bir fabrikada belirsizlik altında üretim işlerinin veriye dayalı dinamik zamanlaması için bileşik ödül işlevlerine sahip yeni bir YZ planlayıcı önerilmiştir. İş emirlerinin, makinelerin ve malzeme taşıma sistemlerinin gerçek zamanlı durumlarını izlemek için akıllı fabrikada İnternet özellikli sensör ağları kurulmuştur. Girdi olarak yüksek boyutlu verileri almak ve ardından gerçek zamanlı karar verme için durum-eylem değerlerini öğrenmek için yeni bir üretim değeri ağı geliştirilmiştir. PÖ dayalı bileşik ödüller, YZ planlayıcısının üretim planlaması için gerçek zamanlı olarak birden çok hedefe ulaşmak için verimli bir şekilde öğrenmesine yardımcı olmuştur. Önerilen metodoloji, akıllı bir üretim ortamında deneysel çalışmalarla değerlendirilmiştir.

Li ve diğerleri (2021) çalışmalarında, SFS'lerin, Endüstri 4.0 akıllı üretiminin en umut verici yönlerinden biri olduğunu söylemişlerdir. SFS'de çeşitli öncü teknolojilerin uygulanması sayesinde, karar vericiler için gerçek zamanlı olarak bol miktarda üretim verisi ve bilgisi mevcuttur. Bununla birlikte, üretim optimizasyonunun doğal karmaşıklığı ve belirsizliği, bilim adamlarını ve uygulayıcılarını rahatsız etmekte ve akıllı üretimin daha fazla ilerlemesini engellemektedir. Üretim planlama ve çizelgeleme çok karmaşık ve stokastik bir problemdir. Karmaşıklık ve belirsizlik darboğazını kırmak için SFS'in güçlü yönlerinden

nasıl yararlanılacağı hala daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyan bir sorudur. Bu çalışmada siber-fiziksel fabrikalarda gerçek zamanlı planlama ve çizelgeleme elde etmek için yeni bir “böl ve yönet” yaklaşımı olan Mekansal Zamansal Sıra Dışı Yürütme (MZSDY) yaklaşımı önerilmiştir. MZSDY, bir fabrikanın mekân ve zaman kapsamalarını, karmaşıklığı azaltmak ve belirsizlikleri yerelleştirmek için sonlu alanlara ve aralıklara böler, böylece orijinal karmaşık optimizasyon problemi, farklı mekansal ve zamansal özelliklere sahip bir dizi alt probleme ayrıştırılmıştır. Bu küçük boyutlu alt problemler, veri ve bilgi görünürlüğü ve izlenebilirliği kullanılarak birleştirilebilmekte ve daha sonra küresel bir çözüm üretmek için yuvarlanan bir mekansal-zamansal tarzda çözülebilmektedir. MZSDY'nin geleneksel stratejilere kıyasla iyi dengelenmiş ve daha istikrarlı bir performansa sahip olduğu bir deney çalışması ile gösterilmiştir. Mekansal ve zamansal ölçeklerin sonuçlar üzerindeki etkilerini incelemek için duyarlılık analizi yapılmıştır.

Viagas ve Framinan (2021) çalışmalarında, son zamanlarda üretim alanına getirilen teknolojik gelişmelerin (topluca Endüstri 4.0 olarak bilinir), bilgilerin gerçek zamanlı olarak entegrasyonunu sağlayarak atölyedeki karar verme süreçlerini iyileştirmek için büyük olanaklar sunduğunu söylemişlerdir. Bu süreçler arasında, verinin yoğun ve dinamik doğası göz önüne alındığında, çizelgeleme genellikle ana yararlanıcılardan biri olarak gösterilir. Ancak, Endüstri 4.0'ın son derece yüksek uygulama maliyetleri göz önüne alındığında, bu potansiyel faydaların doğru bir şekilde değerlendirilmesi gereklidir. Ayrıca karar verme sürecinde kullanılacak farklı yaklaşımlar ve çözüm prosedürlerinin yanı sıra çeşitli bilgi kaynakları olduğu da (yani yalnızca atölye durum verileri değil, aynı zamanda yukarı/aşağı akış süreçlerinden gelen veriler) dikkate alınmalıdır. Bu yüzden farklı derecelerde belirsizlik ve çeşitli verimlilik önlemleri ile bir atölyede çeşitli karar verme senaryoları modellenmiştir ve gerçek zamanlı ve gelişmiş bilgilerin Endüstri 4.0 bağlamında avantajlı bir şekilde nasıl entegre edilebileceğini değerlendirmek için bir hesaplama deneyimi gerçekleştirilmiştir. Kapsamlı hesaplama deneyleri, gerçek zamanlı, entegre atölye verileri ve ileri bilgi kullanmanın faydalarının, büyük ölçüde hem planlama yaklaşımının hem de çözüm prosedürlerinin doğru seçimine bağlı olduğunu ve bu kullanımın verimsiz olduğu senaryolar olduğunu göstermektedir.

Zhou ve diğerleri (2022) çalışmalarında, yeni nesil bilgi teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte birçok geleneksel fabrikanın akıllı fabrikalara dönüşmeye başladığını söylemişlerdir. Üretim verimliliğini artırmak için akıllı fabrikalarda büyük hacimli verilerin nasıl işleneceği ciddi bir sorundur. Akıllı fabrikanın özelliklerinden hareketle, akıllı fabrikaya uygun bir sis hesaplama çerçevesi önerilmiş ve akıllı fabrika uygulamalarını otomatik olarak dağıtmak için Kubernetes kullanılmıştır. İlk olarak, sis hesaplama olayında, akıllı fabrikadaki görevleri planlamak ve tahsis etmek için GA'ya dayalı geliştirilmiş bir Aralık Bölmeli Genetik Çizelgeleme Algoritması (ABGÇA) önerilmiştir. Bu çalışmada, görev yürütme süresi ve kaynak dengesinin optimizasyonu aynı anda ele alınarak ve ABGÇA ile birleştirilerek optimize edilmiş çizelgeleme kararı verilmiştir. İkinci olarak, bir bulut ve sis işbirliğine dayalı bilgi işlem mimarisi tasarlanmıştır. Bu senaryoda, ABGÇA'ya dayalı optimizasyon için Ceza faktörlü Aralık Bölmeli Genetik Çizelgeleme Algoritması (CFABGÇA) önerilmiştir.

4. DEĞERLENDİRME ve BULGULAR

Akıllı fabrikalarda çizelgeleme konusunda, “Google Scholar” üzerinden “Scheduling in Smart Factory” anahtar kelimesi ile literatürde yapılan çalışmalar bir önceki bölümde detaylı olarak açıklanmıştır. Literatürde yapılan bu çalışmalardan elde edilen değerlendirme ve bulgular aşağıda kısaca özetlenmiştir:

- Akıllı fabrikalarda, her yeni sipariş alındığında veya fabrika süreçlerinde herhangi bir değişiklik meydana geldiğinde, çizelgelemenin tekrar yapılması ve güncellenmesi gerektiği,
- Çizelgeleme süreçlerinde, akıllı fabrikalarda, dağıtık optimizasyon, genetik algoritma ve hibrit mekanizmaların kullanıldığı,
- Çizelgelemede, akıllı fabrikalarda, çok temsilcili sistemler yardımı ile başarılı sonuçlar elde edildiği,
- Dinamik ağ tabanlı mimarilerin, akıllı fabrikalarda çizelgeleme süreçlerinde tercih edildiği,
- Akıllı fabrikalarda çizelgeleme sürecinde, teknolojinin, üretilen ürünlerin, kullanılan makinaların, akıllı cihazların, iletişim protokollerinin, nesnelerin interneti platformlarının entegrasyonunun, çizelgeleme performansı için oldukça önemli olduğu,
- Çizelgeleme sürecinde tahmin mekanizmasının önemli olduğu, tahmin için de yapay sinir ağları ve parçacık sürü optimizasyonu yöntemlerinin kullanıldığı,
- Akıllı fabrikalarda, büyük miktarlarda veri elde edildiğinden dolayı etkin bir çizelgeleme için bu verilerin analiz edilmesi gerektiği bunun için de yapay zekâ tekniklerine ihtiyaç duyulduğu,

- Akıllı fabrikalarda çizelgelemede, üretim süreçlerinde otonom robotların kullanıldığı durumlarda, çoklu robotlu görev tahsisi yaklaşımlarının kullanıldığı,
- Akıllı fabrikalarda dinamik bir ortam olduğu için çizelgelemede simülasyon ve yapay zekâ yaklaşımlarının tercih edildiği,
- Çizelgeleme süreçlerinin çok karmaşık ve stokastik olduğu; bu karmaşıklığı azaltmak için böl-yönet yaklaşımı önerildiği ve problemin bir dizi alt problemlere bölüp çözüm arandığı belirlenmiştir.

Akıllı fabrikalara geçiş ile beraber her zamankinden daha fazla veri elde etme imkânı olduğundan sağlam ve etkili çizelgeleme yapmak için sadece üretim alanının değil değer zincirinin tüm aşamalarının planlanması gerekir (Alemão ve diğerleri, 2021). Gelecek on yılda, akıllı fabrikalarda, imalatın dijitalleştiği, modelleme, optimizasyon ve simülasyon çalışmalarının ön plana çıktığı, malzeme süreç ve ürün olgusunun pekiştirildiği, kaynak paylaşımının etkin olduğu, ekipman izleme, teşhis ve onarım özzerkliğinin benimsendiği, standardizasyon ve iş birliğine geçildiği, siber güvenlik ve emniyetin esas olduğu bir ortamda çizelgeleme sürecinin anlık ve dinamik ortama uyumlu yapılması beklenmektedir (Kusiak, 2018).

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu araştırmada, Endüstri 4.0 terimi ile ortaya çıkan akıllı fabrika kavramı ve akıllı fabrikalarda gerçekleştirilen çizelgeleme çalışmaları incelenmiştir. Endüstri 4.0 ile birlikte üretimde verimliliği arttırmak ve üretimin anlık olarak takip edilmesini kolaylaştırmak için geliştirilen akıllı fabrika terimi, bu fabrikaların özellikleri, içlerinde barındırdıkları teknolojiler ve neden kullanılmaları gerektiği açıklanmıştır. Endüstri 4.0 ile başlayan bu sürekli geliştirme ve iyileştirme süreci akıllı fabrikalar ile bambaşka bir noktaya evrilmiştir. Üretim süreçlerinde, YZ teknolojileri ile donatılan otonom robotlar ve makinelerin birbirleri ile iletişim kurabilmeleri ve büyük veriden beslenerek kendilerini geliştirebilmeleri sayesinde üretimde hatalar indirgenmiş ve üretimin verimliliği artırılmıştır. Akıllı fabrikalar ile bilgisayar ortamında oluşturulacak sanal süreçler sayesinde ortaya çıkabilecek sorunların öngörülmesi sağlanmıştır. Bu çalışmada, ayrıca geleneksel fabrikalar ve akıllı fabrikalar arasındaki farklardan bahsedilmiştir. İşletmeler, karar verme süreçlerini kolaylaştırmak ve sınırlı kaynaklarını belirli amaçlar doğrultusunda belirli bir zaman aralığında işlere atanmasını sağlamak amacıyla çizelgeleme faaliyetleri yürütmektedir. Çalışmanın son bölümünde, akıllı fabrikalardaki çizelgeleme çalışmaları incelenmiştir. Bu çalışmalarda hangi amaçlar için ne tür algoritmaların kullanıldığı ve problemlerin çözüme kavuşturulması için ne gibi yöntemlerin geliştirildiğinden bahsedilmiştir. Bu problemlerin çözümünde, Genetik Algoritma, Çoklu Robot Önerici Görev Çizelgelemesi, Parçacık Optimizasyonu, Ağlar Arası Birleştirme ve Çizelgeleme gibi birçok yöntem incelenmiştir. Geliştirilen yöntemlerin etkilerini incelemek için duyarlılık analizi, hata kurtarma analizi ve karşılaştırma analizi gibi metotlar kullanılmıştır. Bu çalışmaları doğrulamak için deney çalışmaları yürütülmüştür. İncelenen bu araştırmalar doğrultusunda geliştirilen yöntemler, akıllı fabrikalardaki çizelgeleme performansının iyileştirilmesine katkıda bulunmuştur.

Akıllı fabrikalarda çizelgeleme süreçleri ile ilgili henüz yeteri kadar araştırma yapılamamıştır. Önümüzdeki yıllarda bu konuda daha fazla araştırma yapılması beklenmektedir. Akıllı fabrikalara geçiş sürecinden önce kuruluşların mevcut üretim süreçlerini, israflardan arındırarak yalın hale getirmeleri, verimli hale getirilmiş üretim ve hizmet süreçlerinin otomasyona geçirilmesi ve bu süreçlerin, SFS, Nİ ve bulut bilişim gibi etkinleştirici dijital teknolojileri ile donatılması önerilmektedir. Akıllı fabrikalarda, iş çizelgeleme ve diğer süreç iyileştirme gibi verim artışını sağlayacak tekniklerin sürekli kullanılması gerekmektedir. Önümüzdeki yıllarda, akıllı fabrikalarda verim artışı ile ilgili yeni yöntemlerin geliştirilmesi ve dinamik çizelgeleme ile ilgili daha etkin sezgisel ve metasezgisel yöntemlerin önerilerek kullanılması beklenmektedir. Akıllı fabrikalar, üretim ve hizmet sürecindeki verim artışını sağlayacak ama sürekli iyileştirme faaliyetleri hiçbir zaman son bulmayacak ve verimlilik artışı ile ilgili çabalar önümüzdeki yüzyılda da devam edecektir.

Gelecekte, akıllı fabrikalarda çizelgeleme problemlerinin yanında lojistik, kalite gibi farklı birimlere ait problemlere ve bu problemlerin çözümünde birden çok çözüm algoritmasının bir arada kullanıldığı çalışmalar araştırılacaktır.

Yazar Katkıları / Author Contributions

Rumeysa Manzak: Literatür Taraması, Metodoloji, Veri Derleme, Analiz, Makale Yazımı-rijinal taslak
Orhan Engin: Literatür Taraması, Makale Yazımı-inceleme ve düzenleme, Analiz
Rumeysa Manzak: Literature Review, Methodology, Data Curation, Analysis, Writing-original draft
Orhan Engin: Literature Review, Writing-review and editing, Analysis

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

- Alemão, D., Rocha, A.D. ve Barata, J. (2021). "Smart Manufacturing Scheduling Approaches-Systematic Review and Future Directions", *Applied Science*, 11, 2186.
- Aydoğmuş, U., Engin, O. (2021). "Endüstri 4.0 Sürecinde Ağırlama Sektörüne Yönelik Uygulamaların İncelemesi", *İstanbul Aydın Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 13(3), 851-874.
- Büchi, G., Cugno, M., Castagnoli, R. (2020). "Smart Factory Performance and Industry 4.0", *Technological Forecasting and Social Change*, 150,1-10.
- Chen B., Wan, J., Shu, L., Li, P., Mukherjee, M. ve Yin, B. (2017). "Smart Factory of Industry 4.0: Key Technologies, Application Case, and Challenges", *IEEE Access*, 6, 6505-6519.
- Hermann, F. (2018). "The Smart Factory and Its Risks", *Systems*, 6(38), 1-15.
- Hozdic, E. (2015). "Smart Factory for Industry 4.0: A Review", *International Journal of Modern Manufacturing Technologies*, 7(1), 28-35.
- Illa, P.K. ve Padhi, N. (2018). "Practical Guide to Smart Factory Transition Using IoT, Big Data and Edge Analytics", *IEEE Access*, 6, 55162-55170.
- Ivanov, D., Sokolov, B.V., Werner, F. ve Dolgui, A. (2015). "A Dynamic Model and an Algorithm for Shortterm Supply Chain Scheduling in the Smart Factory Industry 4.0", *International Journal of Production Research*, 54(2), 386-402.
- Kalempa, V.C., Piardi, L., Limeira, M. ve Oliveira, A.S. (2021). "Multi-Robot Preemptive Task Scheduling with Fault Recovery: A Novel Approach to Automatic Logistics of Smart Factories", *Sensors*, 21, 01-26.
- Kalsoom T., Ramzan, N., Ahmed, S. ve Ur-Rehman, M. (2020). "Advances in Sensor Technologies in the Era of Smart Factory and Industry 4.0", *Sensors*, 20, 1-22.
- Kusiak A. (2018). "Smart Manufacturing", *International Journal of Production Research*, 56(1-2), 508-517.
- Li, M., Zhong, R.Y., Qu, T. ve Huang, G.Q. (2021). "Spatial–Temporal Out-of-Order Execution for Advanced Planning and Scheduling in Cyber-Physical Factories", *Journal of Intelligent Manufacturing*, 33, 1355-1372.
- Lim, C.H., Moon, S.K. ve Okpoti, E.S. (2019). "A Reusable Scheduling Problem Decomposition Framework for Smart Factories", *2019 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, Macao, China, 516-520.
- Mabkhot, M.M., Al-Ahmari, A.M., Salah, B. ve Alkhalefah, H. (2018). "Requirements of the Smart Factory System: A Survey and Perspective", *Machines*, 6, 1-22.
- Malik, S. ve Kim, D. (2021). "Improved Control Scheduling Based on Learning to Prediction Mechanism for Efficient Machine Maintenance in Smart Factory", *Actuators*, 10(2), 1-17.
- Malik, S. ve Kim, D., (2020). "A Hybrid Scheduling Mechanism Based on Agent Cooperation Mechanism and Fair Emergency First in Smart Factory", *IEEE Access*, 8, 227064-227075.
- Osterrieder, P., Budde, L. ve Friedli, T. (2020). "The Smart Factory as a Key Construct of Industry 4.0: A Systematic Literature Review", *International Journal of Production Economics*, 107476.
- Parente, M., Figueira, G., Amorim, P. ve Marques, A. (2020). "Production Scheduling in the Context of Industry 4.0: Review ve Trends", *International Journal of Production Research*, 58(17), 5401-5431.
- Pereira, A.C. ve Romero, F. (2017). "A Review of the Meanings and the Implications of the Industry 4.0 Concept", *Procedia Manufacturing*, 13, 1206-1214.
- Resman, M., Turk, M. ve Herakovic, N. (2021). "Methodology for Planning Smart Factory", *8th CIRP Conference of Assembly Technology and Systems*, 29 September - 1 October 2020, Athens, Greece, 97, 401-406.
- Rub, J. ve Bahemia, H. (2019). "A Review of the Literature on Smart Factory Implementation", *2019 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)*, 17-19 June 2019, Valbonne Sophia-Antipolis, France, 1-9.
- Shi, Z., Xie, Y., Xue, W., Chen, Y., Fu, L. ve Xu, X. (2020). "Smart Factory in Industry 4.0", *System Research and Behavioral Science*, 37, 607-617.
- Shiue, Y.R., Lee, K.C. ve Su, C.T. (2018). "Real-time Scheduling for a Smart Factory Using a Reinforcement Learning Approach". *Computers & Industrial Engineering*, 125, 604-614.
- Sinha, D. ve Roy, R. (2020). "Reviewing Cyber-Physical System as a Part of Smart Factory in Industry 4.0", *IEEE Engineering Management Review*, 48(2), 103-117.
- Viagas, V.F ve Framinan, J.M. (2021). "Exploring the Benefits of Scheduling with Advanced and Real-time Information Integration in Industry 4.0: A Computational Study", *Journal of Information Integration*, 27, 1-11.

- Wan, J., Chen, B., Wang, S., Xia, M., Li, D. ve Liu, C. (2018b). "Fog Computing for Energy-Aware Load Balancing and Scheduling in Smart Factory", *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 14, 4548-4556.
- Wan, J., Yang, J., Wang, Z., Hua, Q., (2018a). "Artificial Intelligence for Cloud-Assisted Smart Factory", *IEEE Access*, 6, 55419-55430.
- Wan, J., Yang, J., Wnag, S., Li, D., Li, P. ve Xia, M. (2020). "Cross-Network Fusion and Scheduling for Heterogeneous Networks in Smart Factory", *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 16(9), 6059-6068.
- Wang, S., Wan, J., Li, D. ve Zhang, C. (2015). "Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook", *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2016, 1-10.
- Xiao, R., Zhang, Y., Cui, X.H., Zhang, F. ve Wang, H.H. (2021). "A Hybrid Task Crash Recovery Solution for Edge Computing in IoT-Based Manufacturing", *IEEE Access*, 9, 106220-106231.
- Xu, L.D., Xu, E.L. ve Li, L. (2018). "Industry 4.0: State of the Art and Future Trends", *International Journal of Production Research*, 56, 2941-2962.
- Zhao, S., Dziurzanski, P., Przewozniczek, M., Komarnicki, M. ve Indrusiak, L.S. (2019). "Cloud-based Dynamic Distributed Optimisation of Integrated Process Planning and Scheduling in Smart Factories, GECCO'19: Genetic and Evolutionary Computation Conference", 13-17 July 2019, Prague Czech Republic, 1381-1389.
- Zheng, T., Ardolino, M., Bacchetti, A. ve Perona, M. (2020). "The Applications of Industry 4.0 Technologies in Manufacturing Context: A Systematic Literature Review", *International Journal of Production Research*, 59, 1922-1954.
- Zhou, M.T., Ren, T.F., Dai, Z.M. ve Feng, X.Y. (2022). "Task Scheduling and Resource Balancing of Fog Computing in Smart Factory", *Mobile Network and Applications*, 1-12.
- Zhou, T., Tang, D., Zhu, H. ve Wang, L. (2021b). "Reinforcement Learning with Composite Rewards for Production Scheduling in a Smart Factory", *IEEE Access*, 9, 752-766.
- Zhou, T., Tang, D., Zhu, H. ve Zhang, Z. (2021a). "Multi-Agent Reinforcement Learning for Online Scheduling in Smart Factories", *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 72, 1-14.



STRATEJİK ARAŞTIRMALAR VE VERİMLİLİK GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

