

VERİMLİLİK DERGİSİ



T.C. SANAYİ VE
TEKNOLOJİ BAKANLIĞI



Cilt: 58 | Sayı: 3

Küresel İklim Krizi Tedbirlerine Uyum Sürecinde Demir Çelik Sektörü: CRITIC ve CoCoSo Yöntemleriyle Bir Değerlendirme
Ümit Remzi Ergün, Elif Bulut

Yeşil Tahviller ve Yenilenebilir Enerji Üretimi İlişkisi: AB Örneği
Meryem Filiz Baştürk

An Analysis of the Circular Economy in Europe through Comparative Research Employing The CRITIC-Based MAUT and COPRAS Methods
Gökhan Özkaya

Evaluation of Technology-Based Sustainable Practices in Logistics Service Providers by Content Analysis and SWARA Method
Bihter Karagöz Taşkın, Macide Berna Çağlar

Türkiye Merkez-Çevre Çok Bölgeli Girdi-Çıktı (MRIO) Modeli ile Bölgesel ve Sektörel Yapısal Bağınlaşma Analizi (2006-2021)
Kamil Taşçı, Mutlu Yılmaz

Hemşirelerin İş Gücü Verimliliğine İlişkin Tutumları ve Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi
Berra Yılmaz Kuşaklı

Zombi Şirketlerin Sektör Verimliliği Üzerine Etkisi ve Türkiye Uygulaması
Zeynep Kaplan, Emine Ebru Aksoy

İnovasyon ve Toplam Faktör Verimliliği İlişkileri: Yükselen Piyasa Ekonomileri Üzerine Ekonometrik Bir Analiz
Ayşe Yamak

Gıda ve Enerji Üretimini Birleştiren Arazilerde Verimlilik Analizi: Komşuköy Agrivoltaik Çiftlik Modeli
Bilge Şentürk, Duygu Kuzyaka, Ömer Yalçın, Uğur M. Akyıldız, Murat Eröz, Talat Özden

JOURNAL OF PRODUCTIVITY



T.C. SANAYİ VE
TEKNOLOJİ BAKANLIĞI



VERİMLİLİK DERGİSİ

Journal of Productivity

T.C. SANAYİ VE TEKNOLOJİ BAKANLIĞI

Stratejik Araştırmalar ve Verimlilik
Genel Müdürlüğü'nün Yayınıdır

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

YIL: 2024 Sayı: 3

Yayın Türü
Yerel-Sürel / Türkçe-İngilizce

Sahibi
T.C. SANAYİ VE TEKNOLOJİ BAKANLIĞI
STRATEJİK ARAŞTIRMALAR VE VERİMLİLİK GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
adına

Genel Müdür
Abdullah BAŞAR

Editör
Doç. Dr. Önder BELGİN

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü
Doç. Dr. Önder BELGİN

Grafik Tasarım ve Uygulama
Fulya KOÇ

Dil Editörleri
Aytunç AYHAN
Şirin Müge KAVUNCU

Yönetim Yeri
T.C. SANAYİ VE TEKNOLOJİ BAKANLIĞI
STRATEJİK ARAŞTIRMALAR VE VERİMLİLİK GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

Adres: Mustafa Kemal Mahallesi Dumlupınar Bulvarı
(Eskişehir Yolu 7. Km) 2151. Cadde No: 154/A
Çankaya 06510 ANKARA
Tel: 0 312 201 65 02
verimlilikdergisi@sanayi.gov.tr
<https://dergipark.org.tr/pub/verimlilik>

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

Baskı Tarihi
22.07.2024

YAYIN KURULU / EDITORIAL BOARD

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

DANIŞMA KURULU / ADVISORY BOARD

Prof. Dr. Adil BAYKASOĞLU - Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. Ali SINAĞ - Ankara Üniversitesi
Prof. Dr. Birdoğan 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 çalışmalarını CC BY-NC 4.0 lisansı altında yayımlanmaktadır.
The authors own the copyright of their works published in Journal of Productivity and their works are published under the CC BY-NC 4.0 license.





İÇİNDEKİLER

CONTENTS

- 305** Küresel İklim Krizi Tedbirlerine Uyum Sürecinde Demir Çelik Sektörü: CRITIC ve CoCoSo Yöntemleriyle Bir Değerlendirme
324 *Iron and Steel Sector in the Process of Adaptation to Global Climate Crisis Measures: An Evaluation with CRITIC and CoCoSo Methods*
Ümit Remzi Ergün, Elif Bulut
- 325** Yeşil Tahviller ve Yenilenebilir Enerji Üretimi İlişkisi: AB Örneği
336 *The Relationship between Green Bonds and Renewable Energy Production: The Example of the EU*
Meryem Filiz Baştürk
- 337** An Analysis of the Circular Economy in Europe through Comparative Research Employing The CRITIC-Based MAUT and
358 COPRAS Methods
CRITIC Tabanlı MAUT ve COPRAS Yöntemlerini Kullanan Karşılaştırmalı Araştırma ile Avrupa'da Döngüsel Ekonominin Analizi
Gökhan Özkaya
- 359** Evaluation of Technology-Based Sustainable Practices in Logistics Service Providers by Content Analysis and SWARA Method
374 *İçerik Analizi ve SWARA Yöntemi ile Lojistik Hizmet Sağlayıcılarında Teknoloji Tabanlı Sürdürülebilir Uygulamaların Değerlendirilmesi*
Bihter Karagöz Taşkın, Macide Berna Çağlar
- 375** Türkiye Merkez-Çevre Çok Bölgeli Girdi-Çıktı (MRIO) Modeli ile Bölgesel ve Sektörel Yapısal Bağınlaşma Analizi (2006-2021)
398 *Sectoral Interdependence Analysis with Türkiye Center-Periphery Multi-Regional Input-Output (MRIO) Model (2006-2021)*
Kamil Taşçı, Mutlu Yılmaz
- 399** Hemşirelerin İş Gücü Verimliliğine İlişkin Tutumları ve Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi
412 *Nurses' Attitudes to Labor Productivity and Investigation of Influencing Factors*
Berra Yılmaz Kuşaklı
- 413** Zombi Şirketlerin Sektör Verimliliği Üzerine Etkisi ve Türkiye Uygulaması
428 *The Effect of Zombie Companies on Sector Productivity and an Application in Türkiye*
Zeynep Kaplan, Emine Ebru Aksoy
- 429** İnovasyon ve Toplam Faktör Verimliliği İlişkileri: Yükselen Piyasa Ekonomileri Üzerine Ekonometrik Bir Analiz
442 *The Relationship Between Innovation and Total Factor Productivity: An Econometric Analysis on Emerging Market Economies*
Ayşe Yamak
- 443** Gıda ve Enerji Üretimini Birleştiren Arazilerde Verimlilik Analizi: Komşuköy Agrivoltaik Çiftlik Modeli
460 *The Analysis on Dual Land Use Efficiency: Integrating Food and Energy Production in A Case Study of the Komşuköy Agrivoltaic Farm Model*
Bilge Şentürk, Duygu Kuzyaka, Ömer Yalçın, Uğur M. Akyıldız, Murat Eröz, Talat Özden

Küresel İklim Krizi Tedbirlerine Uyum Sürecinde Demir Çelik Sektörü: CRITIC ve CoCoSo Yöntemleriyle Bir Değerlendirme

Ümit Remzi Ergün¹ , Elif Bulut² 

ÖZET

Amaç: Bu araştırmanın amacı, başlıca çelik üretimi gerçekleştiren 46 ülkenin küresel iklim krizi tedbirlerine uyum süreçlerindeki performanslarını 2018-2021 dönemi için ortaya çıkarmaktır.

Yöntem: Bu çalışmada çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan CRITIC ve CoCoSo yöntemleri tercih edilmiştir. Kriter ağırlıklandırma problemi CRITIC yöntemiyle, karar alternatiflerinin sıralanması ise CoCoSo yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Analize tabi tutulan ülkeler GSYİH oranı olarak Ar-Ge harcamaları ortalamalarına göre iki grupta sınıflandırılmış ve bulgular tüm yıllar için ayrı ayrı elde edilmiştir.

Bulgular: Birinci grupta yer alan ülkeler içerisinde en yüksek performansın Güney Kore'ye ve en düşük performansın ise ABD'ye ait olduğu bulgusuna ulaşılmıştır. İkinci gruptan elde edilen bulgular ise en yüksek performansın Türkiye'ye, en düşük performansın ise Rusya'ya ait olduğu şeklindedir. Endonezya'nın küresel iklim krizi tedbirlerine uyum sürecindeki gelişim ivmesi de çalışmanın dikkat çekici sonuçları arasında yer almaktadır.

Özgünlük: Çok kriterli karar verme yöntemlerinden CRITIC ve CoCoSo'nun eşanlı olarak kullanıldığı çalışmalar hem demir çelik sektörü özelinde hem de iklim krizi ile yeşil ekonomi konularında oldukça sınırlıdır. Elde edilen sonuçların ülkelerin konjonktürel durumları ve literatür ile uyumu, çalışmada tercih edilen yöntemin uygunluğuna işaret etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Küresel İklim Krizi, Demir Çelik, Çok Kriterli Karar Verme, CRITIC, CoCoSo.

JEL Kodları: C4, I38, Q5.

Iron and Steel Sector in the Process of Adaptation to Global Climate Crisis Measures: An Evaluation with CRITIC and CoCoSo Methods

ABSTRACT

Purpose: The aim of this study is to reveal the performance of 46 major steel producing countries in their adaptation processes to global climate crisis measures for the period 2018-2021.

Methodology: In this research, CRITIC and CoCoSo methods, which are multi-criteria decision making methods, were preferred. The criterion weighting problem was performed by CRITIC method and the ranking of decision alternatives was performed by CoCoSo method. The analyzed countries were classified into two groups according to their average R&D expenditures as a percentage of GDP. The findings were obtained separately for all years.

Findings: Among the countries in the first group, the highest performance belongs to South Korea and the lowest performance belongs to the USA. The findings from the second group show that the highest performance belongs to Turkey and the lowest performance belongs to Russia. Indonesia's development momentum in the process of adaptation to global climate crisis measures is also among the remarkable results of the study.

Originality: The studies in which CRITIC and CoCoSo, two MCDM, are used simultaneously are quite limited both in the iron and steel sector and in the climate crisis and green economy. The consistency of the results obtained with the cyclical conditions of the countries and the literature points to the efficiency of the method preferred in this study.

Keywords: The Climate Crisis, Iron and Steel, MCDM, CRITIC, CoCoSo.

JEL Codes: C4, I38, Q5.

¹ Onsekiz Mart Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yönetim Bilimleri Ana Bilim Dalı, Çanakkale, Türkiye

² Ondokuz Mayıs Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Samsun, Türkiye

Sorumlu Yazar-Corresponding Author: Ümit Remzi Ergün, umit.r.ergun@gmail.com

DOI: 10.51551/verimlilik.1393071

Araştırma Makalesi / Research Article | Geliş / Submitted: 19.11.2023 | Kabul / Accepted: 17.05.2024

Atıf/Cite: Ergün, Ü.R. ve Bulut, E. (2024). "Küresel İklim Krizi Tedbirlerine Uyum Sürecinde Demir Çelik Sektörü: CRITIC ve CoCoSo Yöntemleriyle Bir Değerlendirme", *Verimlilik Dergisi*, 58(3), 305-324.

EXTENDED ABSTRACT

As a result of globalization, changing demographics, increasing production and consumption, and changing patterns of supply and demand, man-made ecological problems have signaled a catastrophic situation in today's world, and a series of international authority measures had to be put into effect in order to eliminate possible risks. Developments and findings obtained from environmental data both encourage and oblige countries to participate in activist activities on climate change and global warming by encouraging them to act as more than just observers or researchers.

The use of fossil fuels in industry and the increase in the generation of harmful wastes that pollute nature in parallel with the increase in production are among the main reasons for the increase in temperature differences between the hemispheres of the world. Therefore, one of the most critical global crises of the twenty-first century is climate change and global warming. International binding provisions and authority decisions such as the Kyoto Protocol, the Paris Climate Agreement, the European Green Deal and the ECC, which came into force and expanded their scope following the UNFCCC, are important in terms of showing the seriousness of the issue.

The iron and steel sector is primarily included in the fields of study of both the natural resources economy and the industrial economy. As a result of this situation, the iron and steel sector is directly and primarily affected by the decisions of international political authorities. For this reason, the iron and steel industry has started to realize a series of transformations and investments within its structure for the reduction of production and waste costs, green competitive structure and clean production processes.

Multi-criteria decision-making methods were used to evaluate the adaptation processes of the countries included in the scope of the study to the Global Climate Crisis measures specific to iron and steel sector. All countries which are produce iron and steel sector in the world constitute the research population of the study. The 50 major steel producing countries were selected as the sample of the study according to their steel production amounts. According to the information obtained from data sources, Taiwan, the Philippines, Serbia and Chile were excluded as the limitations of the study, and the analyzes were carried out on 46 countries. Annual data for the 2018-2021 period were used in the study.

In this research, CRITIC and CoCoSo methods, which are multi-criteria decision making methods, were preferred. The criterion weighting problem was performed by CRITIC method and the ranking of decision alternatives was performed by CoCoSo method. The analyzed countries were classified into two groups according to their average R&D expenditures as a percentage of GDP and the findings were obtained separately for all years.

According to the results obtained from the CoCoSo method, it is seen that South Korea has the best performance among the countries in the first group for the 2018-2021 period, and Japan, Germany and Italy are the other countries with the best performance. The US has the worst performance, followed by Australia and the UK. For the 2018-2021 period, Turkey has the best performance among the countries in the second group, followed by Brazil and Ukraine. Russia has the worst performance, followed by Kuwait, Bangladesh and Colombia. Among the second group of countries, it is noteworthy that Indonesia ranked 11th in 2018, 6th in 2019, 5th in 2020 and second in 2021. The study is expected to contribute to the literature in the context of the findings and methods used.

1. GİRİŞ

Küreselleşme olgusu içerisinde yaşamını sürdüren küresel insanın isteklerini ihtiyaç olarak değerlendirmeye alma eğilimindeki artış, istek ve ihtiyaçları karşılamaya yönelik mal ve hizmet üreten firmaların üretimlerinin motivasyon kaynakları arasında yer almaktadır. Üretimin motivasyon kaynağı olarak sınırsız istekleri referans alması, kit kaynaklar prensibine göre küresel değerlerde dar boğaza girilmesi sonucuyla karşı karşıya kalınmasını kaçınılmaz kılmaktadır. Küreselleşme, değişen demografik yapı, artan üretim ve tüketim ile arz talep desenlerinin değişiminin bir sonucu olarak insan yapımı ekolojik sorunların felaket sinyallerini verdiği günümüz dünyası, olası riskleri bertaraf edebilmek adına bir dizi uluslararası otorite tedbirlerini yürürlüğe almak durumunda kalmıştır. Yaşanan gelişmeler, çevresel verilerden elde edilen bulgular ülkeleri, iklim değişikliği ve küresel ısınma konularında izlemci ya da araştırmacı özelliklerinden daha fazlasını gerçekleştirmeye sevk ederek eylemci faaliyetlere katılmaları konusunda hem teşvik etmekte hem de zorunlu tutmaktadır.

Sanayide fosil yakıtların kullanımı, üretim artışına paralel biçimde doğayı kirleten zararlı atık oluşumundaki artış dünyanın yarım küreleri arasındaki sıcaklık farklarının artmasının başlıca nedenleri arasında yer almaktadır. Bu nedenle yirmi birinci yüzyılın küresel krizlerinin en kritiklerinden biri iklim değişikliği ve küresel ısınma olarak ifade edilebilecektir. Avrupa Birliği (AB) ve Birleşmiş Milletler gibi uluslararası kurumlar küresel ve yerel düzeyde bu krize sebep olan olumsuz etkileri en aza indirmeyi hedefleyen politikalar geliştirmektedirler (Avunduk ve İçen, 2023). 1980'li yıllarda başlayan sera gazı emisyonları ile küresel iklim değişikliği arasındaki ilişki 1990'lı yıllarda Avrupa Birliği'nin gündeminde yer almaya başlamıştır. İklim değişikliği ile küresel ölçekte gerçekleştirilen ilk somut tavır 9 Mayıs 1992'de kabul edilerek 21 Mart 1994 tarihinde yürürlüğe alınan Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'dir (Koç ve Kaynak, 2023). Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Sözleşmesi'ni (BMİDÇS) takiben yürürlüğe alınarak kapsamı genişletilen Kyoto Protokolü, Paris İklim Anlaşması, Avrupa Yeşil Mutabakatı (AYM) gibi uluslararası bağlayıcı hükümler ve otorite kararları konunun ciddiyetini göstermesi açısından önem arz etmektedir.

Kalkolitik Çağ'dan bugüne devletlerin ve toplumların iktisadî büyümesinin lokomotifini kabul edilen demir çelik sektörünün önemli özelliklerinden birinin de sektörde üretilen yan ve yarı mamul ürünlerinin diğer sanayi kollarının varlığının devam edebilmesinde büyük önem arz etmesidir. Sektörden doğrudan hammadde temin eden dayanıklı tüketim mamulleri, otomotiv ve ulaştırma, gemi inşaa sanayi gibi endüstriler aynı zamanda gelişmiş endüstriler olarak ifade edilmektedir. Bu nedenle demir çelik sektörü tamamlayıcı ve destekleyici bir sektör olarak da iktisadî döngüye katkı sağlamaktadır. Demir çelik sektöründe üretimi tamamlanan nihai ürün için üretim süreçlerinde hammadde, hazır parçalar, enerji, makine ve teçhizatlar gibi ara mallara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyaç çoğu zaman ithalat yolu ile giderilmektedir. Dolayısıyla demir çelik sektörü üretim süreçlerinden elde ettiği değeri ihracat yoluyla kazanım değerine dönüştürmeyi hedeflerken, üretimi tamamlayabilmek için de ithalata ihtiyaç duyan bir sektör olarak ifade edilebilecektir. Sektörün bu özelliğinin uluslararasılaşabilirliğini şekillendirdiği değerlendirilmektedir (Ergün ve Ener, 2022). Bu şekillenme ağır sanayi ve imalat sektörünün bir üyesi olarak demir çelik sektörünün küreselleşmenin önemli aktörleri arasında yer almasını sağlamaktadır. Demir çelik sektörünün önemli aktörler arasında yer alması sektörün küreselleşik üretim ve ticaret yapısı gereği çevresel sorunlar konusunda da dikkatleri üzerine toplaması anlamına gelmektedir.

Yakın geçmişe kadar ticaret tartışmalarında çevresel sorunların yüzeysel kalması ve beklenen ekolojik sorunların artışı gelişmiş ve az gelişmiş ülkeler özelinde farklı algı biçimleriyle ortaya çıkmaktadır. Gelişmiş ülkeler, çevreye ilişkin yasaların daha serbest olduğu veya hiç var olmadığı az gelişmiş ülkelerdeki daha düşük maliyetli üretime kıyasla, kendilerini dezavantajlı olarak ifade etmektedirler. Buna karşılık az gelişmiş ülkeler ise çevresel yasaları ve düzenlemeleri kendi ekonomik gelişmelerini geriletme tehdidi olarak algılamaktadırlar (Kotler ve diğerleri, 1997: 31). Bu durum uluslararası politik otoriteler tarafından bağlayıcı ve belirleyici politika veya kararların uygulamaya alınmasının nedenleri arasında gösterilebilecektir. Bu nedenlere dayalı olarak çalışmada, başlıca çelik üretimi gerçekleştiren 46 ülkeyi incelemeye küresel iklim kriziyle ve demir çelik endüstrisini ilişkilendiren başlıca kriterler üzerinden incelemeye alınmıştır. Sera gazı yayılımını gerçekleştiren sanayi sektörlerinin radikal bir şekilde modernizasyonu, düşük karbon ekonomisine geçiş için vazgeçilmez olarak değerlendirilmektedir. Demir çelik endüstrisi ise küresel olarak insan kaynaklı karbondioksit emisyonlarından öncelikli olarak sorumlu tutulmaktadır (Shatokha, 2016). AYM, Avrupa Komisyonu tarafından 2019 yılında kabul edilen yeni ekonomik büyüme stratejisi olarak tanımlanmaktadır. Bu stratejinin gerçekleştirilmesindeki en önemli görevlerden birinin de demir çelik sektörünün temiz ve döngüsel bir ekonomi için harekete geçirilmesi olduğu ifade edilebilecektir (Smol ve diğerleri, 2020). Bu durumun demir çelik endüstrisinin mevcut en iyi ve yenilikçi teknolojilerin yardımıyla çeşitli pazarlara giriş stratejilerini ve bu pazarlarda tutunma sürelerini etkilemesi beklenmektedir. Bu nedenle çalışma, başlıca çelik üreten ülkeler özelinde küresel iklim krizi tedbir ve kararlarını dikkate alarak demir çelik sektöründe en verimli üretimi gerçekleştiren ülkeler hangileridir, sorusuna yanıt aramaktadır.

Geleneksel demir çelik üretiminin büyük miktarda enerji tüketimi, endüstrisinin enerji tasarrufu ve CO₂ azaltma hedefleri açısından büyük zorluk teşkil etmektedir (Zeng ve diğerleri, 2009). Sürdürülebilir kalkınma mevcut ve gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılayan ve dengeleyen bir iş ve yatırım stratejisi olarak tanımlanmaktadır (Lee ve diğerleri, 2015). Sürdürülebilir kalkınma, çevrenin korunması ve ekonominin desteklenmesi olmak üzere iki kritik önem düzeyini kapsamaktadır. Karbon verimliliği ise zaman içerisinde çevresel ve ekonomik verimliliğin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmakta ve sürdürülebilir kalkınmanın uygun göstergesi olarak kabul edilmektedir (Lu ve diğerleri, 2018). Genel anlamda verimlilik, girdilerin etkili bir şekilde çıktılara nasıl dönüştüğünün uygun bir göstergesi olarak ifade edilmektedir. Sürdürülebilir kalkınmaya gösterilen eğilimin artmasıyla birlikte verimlilik kavramının karbon emisyonları ile birlikte değerlendirilmesi daha fazla önem kazanmaktadır (Gronroos ve Ojasalo, 2004; Li ve Liu, 2010; BP, 2018; Lu ve diğerleri, 2018). Bu anlamda demir çelik üretimi ve küresel iklim krizi tedbirlerine uyum ilişkisinde Ar-Ge harcamalarının da sürece olumlu etki etmesi düşünülen bir faktör olduğu değerlendirilmektedir. Literatür incelendiğinde özellikle son dönemde bu konu yaygın bir şekilde kendisine çalışma alanı bulmaktadır (Ruth ve diğerleri 2004; Shatokha, 2016; Zhang ve diğerleri 2021; Kim ve diğerleri 2022). Mevcut çalışmalar incelendiğinde Ar-Ge harcamalarının araştırmalara değişken veya kriter olarak dahil edildiği görülmektedir. Bu çalışmada Ar-Ge harcamaları ülkeleri sınıflandırma kullanılan bir araç olarak ele alınmıştır. Çalışmanın bu yönüyle literatürdeki diğer çalışmalardan farklılaştığı ifade edilmektedir. Bu bağlamda küresel iklim krizi tedbirlerine uyum sürecinde demir çelik sektörünün birbirine yakın Ar-Ge harcamalarına sahip ülkeler üzerindeki performanslarının ortaya çıkarılması amaçlanmıştır.

Bu amaç doğrultusunda çalışmanın organizasyon yapısında öncelikli olarak demir çelik sektörü kavramları ve küresel iklim krizine ilişkin çevresel regülasyonlar tanıtılmıştır. Literatür araştırması demir çelik sektörü ve iklim krizi özelinde gerçekleştirilmiştir. Yöntem başlığı altında, çalışmada uygulanan sayısal yöntemlerin açıklayıcı bilgilerine ve notasyon gösterimlerine yer verilmiştir. Bulgular kısmında yöntemlerin uygulamalarından elde edilen sayısal sonuçlar tablo gösterimiyle sunulmuştur. Çalışmanın son bölümünde ise elde edilen bulgular değerlendirilerek sonuç çıkarımları yapılmış ve gelecek çalışmalara değinilmiştir.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Demir çelik sektörü, topraktan cevher olarak demirin çıkarılmasıyla faaliyetlerine başlayan, demir ve çelik ürünlerini çeşitli üretim yöntemleri kullanarak çeşitlendirmek suretiyle nihai bir ürün olarak piyasaya veya piyasada kullanım ömrünü tamamlamış hurda olarak bulunan demir ve çelik ürünlerini dönüştürme veya yeniden işleme teknikleriyle kendisine hammadde olarak sağlayan ileri geri bağlantısı yüksek ağır sanayi ve imalat sektörü olarak ifade edilebilecektir. Sektör, bu özellikleri nedeniyle hem doğal kaynaklar ekonomisinin hem de sanayi ekonomisinin çalışma alanları içerisinde öncelikli olarak yer almaktadır. Bu durumun bir sonucu olarak demir çelik sektörü uluslararası politik otoritelerin kararlarından doğrudan ve öncelikli olarak etkilenmektedir. Bu nedenle demir çelik sektörü de üretim ve atık maliyetlerinin azaltılması, yeşil rekabetçi yapı ve temiz üretim süreçleri için bünyesinde bir dizi dönüşüm ve yatırımı gerçekleştirmeye başlamıştır. Bu dönüşüm ve yatırımların bütünü etkin kaynak verimliliği olarak ifade edilmektedir. Birleşmiş Milletler Çevre Programı tarafından etkin kaynak verimliliği, daha az kaynak tüketimi ile daha fazla refah sağlamak olarak tanımlanmıştır (Fresner ve diğerleri, 2010: 9). Demir çelik sektörü, teknoloji, sermaye, kaynak ve enerji kullanımı açısından yoğun bir sektördür. Sektörün verimli bir şekilde gelişimi, yeterli demir cevheri, su ve kok tedariklerinin yanı sıra ileri teknolojiler ve uygun politikalar da dahil olmak üzere birçok farklı dış koşulun kapsamlı bir şekilde dengelenmesini gerektirmektedir (Ma ve diğerleri, 2014).

Dünya'da çelik üretimi ana girdi olarak demir cevheri kullanan yüksek fırın (YF) ve bazik oksijen fırını (BOF) ile üretim yapan entegre tesisler ve ana girdi olarak hurda metal kullanan elektrik ark ocaklı (EAF) veya indüksiyon ocaklı (IF) tesisler tarafından gerçekleştirilmektedir. Çelik üretim süreçlerinde en büyük çevresel etkilerin gaz emisyonları, katı atıklar, enerji tüketimi ve su tüketimi ile ilgili olduğu bilinmektedir. Entegre demir ve çelik tesislerindeki üretim aşamalarındaki kok üretimi, toz ve gaz emisyonlarının ana kaynağını oluşturmaktadır. EAF'li tesislerde ise toplam emisyonların yaklaşık %95'ini birincil atık gazlar oluşturmaktadır. Hurda malzemelerin hazırlanması, şarj edilmesi ve döküm alınması gibi işlemlerden kaynaklı emisyonların tamamı birincil emisyonlar içerisinde değerlendirilmeye alınmaktadır. (Avinal ve diğerleri, 2019: 29-35).

Demir çelik sektörü çevresel boyutları ile sürdürülebilirlik ve geri dönüşüm ekonomisi çerçevesinde değerlendirmeye alındığında sektörün atık ve hurda malzemesinin üretim yöntemlerine bağlı olarak yeniden işlenip sanayiye veya piyasaya kazandırılması demir çelik tesisleri bulunan ülkelerde demirli atık ve hurda malzemeye olan talebi arttırmıştır. Bu artışın nedenlerinin dünya demir çelik ticaret hacminin ve mesafesinin artması, dünya demir cevheri kaynaklarının tükenme eğilimi ve sektör ürünlerinin artan iktisadî kıymetleri olduğu değerlendirilmektedir. İktisadî bir kıymete sahip maden kaynaklarının korunmasının önemi, bu kaynakların bulunabilirliklerinin sınırlı olmasıyla ve üretimde yer almalarının gelecekteki kullanılabilirlikleri pahasına gerçekleşmesiyle ilgilidir. Bu nedenle demir çelik malzemelerinin çıkarılması, işlenmesi, dağıtılması, kullanılması ve imha edilmesi çevresel etkiler düşünüldüğünde giderek artan bir endişe kaynağı

oluşturmaktadır. Demir ve çelik malzemelerinin çıkarılması, işlenmesi veya geri dönüştürülmesi için gerekli enerji yüksek olup, ağırlıklı olarak fosil yakıt tüketimiyle gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle, demir çelik sektörü hem çevresel hem de iktisadî olarak daha da önem kazanmaktadır. Sektör için enerji ve malzeme akışlarının belirlenmesi, kaynakların korunması, çevresel iyileştirme için fırsat ve tehditlerin sınıflandırılması modern ekonominin kaydılaştırılması açısından elzem konular arasında yer almaktadır (Michaelis ve Jackson, 2000). Bu durumda sektörün karşı karşıya kaldığı de facto veya de jure değişimlerinin küreselleşme, sektörün uluslararası ticaret kapasitesinin artması, teknolojik ilerlemeler ve hurda malzemenin önem kazanmasıyla ilgili olduğu çıkarsaması yapılabilecektir.

Yüksek enerji yoğunluğuna sahip demir çelik sektörü, 2019 yılında küresel endüstriyel karbondioksit emisyonlarının %25'inden sorumlu tutulmaktadır (Lei ve diğerleri, 2023). Bu nedenle çelik üretim sürecinin genel ürünleri ve çelik malzemesi net sifıra geçiş hedeflerinin gerçekleştirilmesi adına gereken altyapılar için kritik girdiler arasında yer almaktadır (Huang ve diğerleri, 2023). Yakın gelecekte beklenen çelik talebi artışının politikalar değişmediği sürece sektörden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının arttırılması da muhtemel olarak değerlendirilmektedir (Hebeda, 2023). Demir çelik sektörünün dünyanın en büyük enerji tüketicilerinden biri olması, üretim işlemleri sırasında atmosfere salınan önemli miktarda atık ısının da kaybedilmesi sonucunu beraberinde getirmektedir. Bu nedenle demir çelik sektörünün enerji tasarrufunu gerçekleştirirken enerji verimliliğini de arttırmaya yönelmesi sektörün öncelikleri arasında yer almaktadır (Inayat, 2023). Demir çelik sektörünün çevresel kaygılarının sadece üretim süreçleri ile ortaya çıktığı değerlendirilmemelidir. Birçok endüstride yaygın olarak kullanılan demir çelik ürünleri agresif ortamlarda korozyona eğilimli ürünler arasında yer almaktadır. Bu nedenle ürünler hem çevresel güvenlik endişelerine hem de iktisadi kayıplara yol açmaktadırlar (Boudalia ve diğerleri, 2023).

Uluslararası ticaret sistemi içerisinde yer alan ülkelerin millî üretimlerini ihraç edebilme ve millî üretim ihracatında sürekliliği sağlayabilme ortak amaçlarını oluşturmaktadır. Bu ortak amaçlar demir çelik sektörünün endüstriyel, küresel ve ticari yapısı dikkate alındığında daha da önemli hale gelmektedir. Küresel iklim krizi ve etkileriyle ortaya çıkan sorunlarla mücadelede uluslararası politik otoritelerin bağlayıcı ve zorlayıcı kararları veya iş birliği projeleriyle çözüme kavuşturulabileceği düşüncesinin az gelişmiş ve gelişmiş ülkelerdeki karşılıklarının birbirinden farklı olduğu değerlendirilmektedir. Bu durum çevresel etkiler ile mücadelede gündeme veya uygulamaya alınan program ve kararların ülkelerin ulusal iktisadî ve küresel ticaret stratejileriyle ne derecede uyumlu olduğu tartışmasını da beraberinde getirmektedir. Küresel iklim krizinin etkilerini en aza indirebilmek adına uluslararası politik otoriteler tarafından belirlenen çerçeve, bağlayıcı hüküm, politika ve öngörüler demir çelik sektörü açısından hayati önem arz etmektedir. Bu anlamda demir çelik sektörünü etkileyen ve uygulamaya alınan seçilmiş uluslararası tedbirlerin de etki alanları ile birlikte açıklanmasının gerekli olduğu değerlendirilmektedir.

Herhangi bir yasal bağlayıcılığı, kontrol mekanizmalarını ve hedefleri açıkça içermeyen Viyana Sözleşmesi'nin kabulünden sonra ozon tabakasını incelten maddelerin kullanımının ve üretiminin kontrol altına alınmasını sağlayacak olan bir protokole ihtiyaç duyulmuştur. Bu anlamda 1987'de yılında kararlaştırılan Montreal Protokolü 1989 yılında yürürlüğe alınmıştır (İklim Değişikliği Başkanlığı, 2023). Demir çelik sektörü ile üretim süreçlerinde yoğun etkileşim içerisinde bulunan dayanıklı tüketim mamullerinin üretiminde ve demir çelik tesislerinde yer alan ısı teknolojilerinde kullanılan hidroflorokarbon gazı Montreal Protokolü'nce kısıtlanan ürünler arasında yer almaktadır.

1994 yılında yürürlüğe giren BMİDÇS ile tehlikeli boyutlara ulaşan insan kaynaklı sera gazı emisyonlarının iklim sistemi üzerindeki olumsuz etkisinin önlenmesi ve belirli bir düzeyde durdurulması için uluslararası iş birliğine gidilmesi amaçlanmıştır (Dağdemir, 2015). BMİDÇS sözleşmesi, sera gazı emisyonlarının azaltılması için, ülkelerin kalkınma önceliklerini ve özel koşullarını göz önüne alarak "ortak fakat farklılaştırılmış sorumluluklar ve göreceli kabiliyetler" ilkesine dayanmaktadır (İklim Değişikliği Başkanlığı, 2023). Sözleşmenin ilkeler başlığı altında yer alan, taraflar, özellikle gelişmekte olan taraf ülkelerde sürdürülebilir ekonomik büyüme ve kalkınmaya yol açacak açık ve destekleyici bir uluslararası ekonomik sistemi teşvik etmek ve böylece iklim değişikliği sorunlarıyla daha iyi ilgilenebilmelerini sağlamak için iş birliği yapmalıdır, ifadesinin demir çelik sektörünün uluslararası ve ticari özellikleriyle ilgili olduğu değerlendirilmektedir (İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi, 2002).

BMİDÇS'nin 2020 yılına kadar Kyoto Protokolü ve 2020 yılından sonra Paris Anlaşması olmak üzere iki uygulama aracı bulunmaktadır. BMİDÇS'nin ilk uygulama anlaşması niteliğinde olan Kyoto Protokolü, 1997 yılında kabul edilmiş olup, 2005'te yürürlüğe girmiştir (T.C. Dış İşleri Bakanlığı, 2023). Kyoto Protokolü, Montreal Protokolü ve BMİDÇS'ye kıyasla demir çelik sektörü için daha açık ve sınırları belirli hükümler içermektedir. Protokolde yer alan ilgili maddelere, atmosfere salınan sera gazı miktarlarının %5 seviyelerine düşürülmesi, alternatif enerji kaynaklarına yönelmesi, fosil yakıtlar yerine bio-dizel yakıtların tercih edilmesi, demir çelik gibi yüksek enerji tüketen işletmelerde atık işlemlerinin yeniden düzenlenmesi ile fazla yakıt tüketen ve fazla karbon üreten daha fazla vergi alınması, örnek olarak verilebilecektir (Ankara

Ticaret Borsası, 2008). Kyoto Protokolü'nün zayıf ve sembolik bir çaba olarak anılmasının nedenleri arasında karbon gazı üreten ülkelerin büyüklük ölçütlerine göre protokole katılmaması, katılan ülkelerin daha sonra ayrılması, 1997-2005 yılları arasında etkin ve verimli bir hazırlık aşamasının bulunmaması, yer almaktadır (Özcan, 2020).

BMİDÇS'nin 2020 ve sonrasında uygulama aracı olan Paris İklim Anlaşması, 2015 yılında Paris'te düzenlenen 21'inci taraflar konferansında kabul edilmiştir. Anlaşma, insan kaynaklı sera gazı salımlarının neden olduğu küresel sıcaklık artışını uzun vadede, sanayileşme öncesi döneme kıyasla 2 santigrat derecenin altıyla sınırlamayı hedeflemekte; bu konuda 1,5 santigrat dereceyi yakalamanın önemine dikkat çekmektedir. Paris Anlaşması'nın, BMİDÇS ile karşılaştırıldığında en belirgin özelliği, tüm ülkelerin katkılarına dayanacak bir sistem öngörülmüş olmasıdır (T.C. Dış İşleri Bakanlığı, 2023). Paris İklim Anlaşması'nı diğerlerinden ayıran bir özelliği de ülkelere herhangi bir niceliksel hedef dayatmasında bulunmamasıdır. Taraf ülkeler bu anlamda ne zaman ve ne kadar sera gazı azaltım taahhüdünde bulunacağına kendileri karar vermektedir. Anlaşmanın sera gazı ve karbondioksit emisyonlarını vurgulayıcı ilkeleri nedeniyle demir çelik sektörünü yakından ilgilendirdiği değerlendirilmektedir.

Avrupa Komisyonu tarafından 2019 yılı sonunda ortaya konulan AYM, Avrupa'nın 2050 yılına kadar karbondan arındırılmasını amaçlamakta; bu amaçla da ekonomide köklü bir dönüşümü ve Avrupa kıtasında iklim nötrlüğüne ulaşılmasını öngörmektedir. Böylesine geniş ve derin bir dönüşüm hedefinin, üye ülkeler ve bölgeler arasında riskleri ve fırsatları makul bir dengede buluşturması gerekmektedir (Ecer ve diğerleri, 2021). AYM'nin demir çelik sektörü özelinde karşılık bulduğu hususlar, temiz enerji, sürdürülebilir sanayi ve inşaat üst başlıklarında toplanabilecektir. AYM fosil yakıtlara duyulan ihtiyacı minimize ederek, sürdürülebilir ve çevre dostu üretimi teşvik etmektedir. AYM'nin demir çelik sektörü için diğer bir karşılığı da dış ticaret ve fiyatlarla ilgilidir. AYM, AB-27'ye komşu ve dış ticaret hacmi yüksek olan ülkeleri küresel ölçekte etkileyecek önemli regülasyonlar planlamaktadır. Bununla birlikte, karbonun etkin biçimde fiyatlandırılması ve Dünya Ticaret Örgütü yükümlüklerine uyumlu sınırdaki karbon düzenleme mekanizması yeni vergiler ve tarife dışı engeller ortaya koyan yeni bir uluslararası ticaret mekanizmasına işaret etmektedir (Koç ve Kaynak, 2023).

İnsanlık elindeki kaynakları sayı ile kalite arasında bölüştürmede, bütün tarihi boyunca hep isabetli mi olmuştur, sorusuna cevap vermek mümkün görülmemektedir. Bu durumun değerlendirilebilmesi pek çok değişkenin varlığı ile birlikte ağırlıklı olarak kültür değerleri ile de ilişkilidir. Bununla birlikte bazı olgular değerlendirmeye alınarak hiç değilse genel eğilimin hangi doğrultuda olduğu belirlenebilmektedir (Cipolla, 1980: 114). Küreselleşmenin hız kazandığı günümüz dünyasında üretimle birlikte ekonominin de karbonsuzlaştırılmasının bir dizi zorlukla karşı karşıya olduğu değerlendirilmektedir. Bu nedenle ülkelerin emisyon azaltma hedeflerine nasıl ulaşabileceklerini anlamak bir anlamda düşük karbon teknolojilerini anlamının da ötesinde konumlandırılmaktadır (Hebeda, 2023). Bu bağlamda, yenilikçi teknolojilerin rolünü analiz edebilmek için öncesinde ülke özelliklerinin ortaya çıkarılmasının daha anlamlı olduğu değerlendirilmektedir.

3. LİTERATÜR TARAMASI

Çok kriterli karar verme tekniklerinin uygulama sahası alanyazın üzerinde disiplinlerarası çalışmalarda ve farklı sektörler üzerinde kendisine oldukça geniş bir alanda yer bulmaktadır. Bu nedenle çalışmanın literatür taraması demir çelik sektörü ve iklim krizi kavramları özelinde filtrelenerek gerçekleştirilmiştir.

Arens ve diğerleri (2017), düşük karbonlu demir çelik endüstrisine ulaşma hedefini Almanya özelinde incelemeye almışlardır. Yazarlar matematiksel modeller yardımıyla çelik üretim yöntemlerine göre enerji tüketimi, enerji tasarrufu, teknolojik gelişim, çelik endüstrisinin enerji tüketimi ve karbon emisyonları verileri üzerinde hesaplamalar gerçekleştirmişlerdir. Elde ettikleri bulguları duyarlılık analizleriyle de destekleyen yazarlar, yeni çelik üretim süreçlerinin gündeme alınmasıyla Almanya'nın düşük karbon hedeflerine ulaşabileceği sonucunu elde etmişlerdir.

Xylia ve diğerleri (2018) çalışmalarında çelik hurda bulunabilirliğinin 2100 yılına kadar gelecekteki çelik üretimi üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çelik optimizasyon modelinin yöntem olarak kullanıldığı çalışmada yazarlar, yeni yatırımcıların, yatırım bölgelerinde hurda bulunabilirliklerine dikkat etmeleri gerektiği sonucuna ulaşmışlardır.

Wang ve diğerleri (2018) Çin özelinde demir çelik endüstrisi de dahil olmak üzere belirlenen enerji yoğun endüstriler için düşük karbon teknolojilerine yönelik kısa vadeli bir analiz gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada çok kriterli karar verme tekniklerinden faydalanan yazarlar AHP yöntemini uygulamaya almışlardır. Çalışmada demir çelik sektörü için sinterleme baca gazı geri dönüşüm teknolojileri ile enerji yönetim sistemleri kriterlerinin daha iyi bir gelişme performansına sahip olduğu bulgusu elde edilmiştir.

Khan ve Haleem (2020) yayımladıkları makalelerinde gelişmekte olan ekonomiler üzerinde döngüsel ekonomi uygulamalarını CoCoSo yaklaşımıyla incelemeye almışlardır. Çalışmada döngüsel ekonomi uygulamaları arasında en önemli faktörün tüketici farkındalığı olduğu ve bunu mevzuat ve politika yönetimi, döngüsel kültürün geliştirilmesi, istihdama dönük teknolojik gelişim ve atıkların en aza indirgenmesine imkân tanıyan süreç tasarımlarının takip ettiği sonucuna ulaşılmıştır.

Kasap ve diğerleri (2020) tarafından yayımlanan çalışma bulanık tabanlı çok kriterli karar verme teknikleriyle demir çelik endüstrisi için en uygun yatırım seçeneğini araştırmayı konu edinmiştir. Yenilikçilik ve ergonomi gibi altı ana kriterin ve on dört alt kriterin de yer aldığı çalışma analiz metodu olarak BAHŞ ve VIKOR yöntemlerini tercih etmiştir. Çalışma demir çelik sektörü için çok sayıda değişken tarafından etkilenen yatırım seçeneklerinin belirlenebilmesi satın alma süreçlerini etkileyen spesifik değişkenleri ortaya çıkararak bunları önem ağırlıklarına göre sıralamaktadır.

Özcan ve Ömürbek (2020) tarafından yayımlanan makalede yazarlar, Türkiye’de faaliyet gösteren bir demir çelik ihracatçısı işletmenin 2000-2018 dönemini üretim, ihracat, enerji tüketimi gibi literatürden seçilen kriterlerle entropi, TOPSIS, MULTIMOORA ve MAUT yöntemleriyle değerlendirmişlerdir. Performans değerlendirmesinden elde edilen bulgulardan işletme için 2018 yılının en iyi performansa sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Dwiverdi ve diğerleri (2021), BSE-200 endeksi, GSYİH ve kişi başına çelik tüketimi kriterlerini ekonomik kalkınma ile ilişkilendirerek incelemeye almışlardır. Çalışmada, model olarak MARCOS ve CRITIC yöntemlerinden faydalanılmıştır. Hindistan’ın çelik endüstrisinin performansında dikkat çeken yükseliş çalışmanın bulguları arasında yer almaktadır.

Binboğa ve Özdi (2020) tarafından yayımlanan makalede yazarlar, demir çelik sektörü özelinde çok kriterli karar verme teknikleriyle sürdürülebilirliğin işletme performansına etkilerini işletmelerin BIST Sürdürülebilirlik Endeksi’nde yer alma durumlarını dikkate alarak araştırmışlardır. Araştırma kapsamına alınan yüz işletmede demir çelik sektöründe faaliyet gösteren firmaların ilk elli içerisinde yer almadığı görülmektedir. Yazarların entropi ve TOPSIS analizlerinden elde ettiği bulgular neticesinde BIST Sürdürülebilirlik Endeksi’nde yer alan firmaların yer almayanlara oranla aralarında belirgin farklılıkların olmadığı, daha iyi bir finansal performansa sahip olmadıkları sonucuna ulaşılmıştır.

Monajemzadeh ve diğerleri (2022) tarafından hazırlanan çalışmada, çelik ürünlerinin ihracatını etkileyen faktörleri belirlemede WASPAS ve Shannon entropi yöntemlerinden faydalanılmıştır. İran’da faaliyet gösteren Khouzestan Steel Company isimli işletme rol model alınarak çalışmada çelik ihracatını etkileyebilecek üç önemli faktörün bilgi beceri yönetimi, ihracat ve tedarik zinciri olduğu bulgusuna ulaşılmıştır. Yazarlar, İran’ın petrol ve gaz kaynaklarının yakın gelecekte tükenme riskine karşılık ülkenin çelik endüstrisindeki potansiyeline dikkat çekmişlerdir.

OECD ülkelerinin sosyo-ekonomik küresel endeksler perspektifinden karşılaştırılmasında CRITIC ve CoCoSo yöntemlerinden faydalanan Acar (2022), çalışmada GINI, beşerî kalkınma, iş yapma kolaylığı, küresel rekabet, küresel girişimcilik ve çevresel performans endekslerinden faydalanmıştır. 2015-2019 dönemini ele alan çalışma, en büyük ağırlığa sahip endeksin GINI, en iyi performansın Danimarka ve en düşük performansın Meksika olduğu bulgularıyla sonuçlanmıştır.

Sindhvani ve diğerleri (2022) net sıfır emisyonunun uygulanmasında başarı faktörlerini PF, Delphi, AHP ve CoCoSo yöntemlerinden faydalanarak modellemişlerdir. Çalışma yenilenebilir kaynakların ve net sıfır emisyon teknolojilerinin başarı faktörleri sıralamasında en iyi performansa sahip kriterler olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Akram ve diğerleri (2023) tarafından yayımlanan makale, ekonomik büyümesinin büyük bir bölümünün çelik endüstrisine bağlı olduğu Pakistan’ı incelemeye almıştır. Yazarlar Pakistan’ın en büyük çelik üreticisi olan PSMC işletmesinde endüstriyel katı atık oluşum süreçlerini dikkate alarak çok kriterli karar verme yöntemlerini incelemeye alarak yeni bir model önerisinde bulunmuşlardır. Çalışma, çelik endüstrisi üzerinden örneklenilerek optimal endüstriyel atık yönetimi tekniğinin seçimi için önerilen LPFH, CRITIC ve EDAS tekniğinin niteliksel ve niceliksel bulanık bilgilerle uyumlu olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Singh ve diğerleri (2024) çalışmalarında Hindistan’da iklim değişikliği etkilerinin azaltılması stratejilerini değerlendirmeye almışlardır. Yazarlar stratejiler üzerinde etkili olan itici güçleri ve engelleri TISM ve MICMAC analizleri kullanarak belirlemeye çalışmışlardır. Çalışmada pragmatik ve uygun maliyetli teknoloji, daha az tedarik zinciri karmaşıklığı, sağlam politika ve yasal çerçevenin, diğer tüm etkenler arasında en yüksek itici güce sahip olduğu bulgusuna ulaşılmıştır.

Gargari ve diğerleri (2024), çelik endüstrisinin su ve enerji kaynaklarına bağımlı olmasından hareketle kentsel atık su arıtma teknolojilerinin sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşılmasında etkili olduğunu savunmuşlardır. Yazarlar bu savlarını Pareto optimizasyonu ve çok kriterli karar verme yöntemleri ile

desteklemişlerdir. Çalışma fiyat, debi, tesisler ve indirim oranları kriterlerinden hareketle üçlü bir bağlantı noktası projesiyle savlarının gerçekleşebileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Alanyazın incelendiğinde çok kriterli karar verme yöntemlerinden CRITIC ve CoCoSo yöntemlerinin farklı disiplin ve sektör araştırmalarında tercih edildiği ancak ülkelerin sanayileşme süreçlerinin lokomotif gücü olarak ifade edilen demir çelik sektöründe karşılaştırmalı veya sıralamalı ülke incelemelerini iklim krizi ile ilişkilendirerek sunan çalışmalarda sayıca daha az yer aldığı görülmektedir. Bu nedenle çalışmanın literatüre katkı sağlayacağı umulmaktadır. Ayrıca çalışma küresel iklim krizi tedbirleri, yapısal dönüşüm ve teknolojik gelişmeye odaklı olarak incelemeye aldığı ülkeleri GSYİH oranı olarak Ar-Ge harcamalarına göre sınıflandırması bakımından diğer çalışmalardan farklılaşmaktadır. Küresel iklim krizine uyum tedbirleri sürecinde ülkeler özelinde gerçekleştirilen yapısal dönüşümlerin maliyet yönünün, teknolojik yatırımların ve mikro ekonomik faktörlerin etkilerinin bu şekilde daha sonuç odaklı bulgular elde edilmesine imkân tanıyabileceği değerlendirilmektedir.

4. YÖNTEM

Çalışma kapsamına alınan ülkelerin demir çelik sektörü özelinde küresel iklim krizi tedbir ve kararlarına uyum süreçlerinin değerlendirilmesinde çok kriterli karar verme yöntemlerinden faydalanılmıştır. Dünya demir çelik sektöründe üretim gerçekleştiren tüm ülkeler çalışmanın araştırma evrenini oluşturmaktadır. Başlıca çelik üreten 50 ülke araştırmanın örnekleme olarak çelik üretim miktarlarına göre seçilmiştir. Veri kaynaklarından elde edilen bilgilere göre Tayvan, Filipinler, Sırbistan ve Şili araştırmanın kısıtları olarak kapsam dışı bırakılmış, analizler 46 ülke üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada 2018-2021 dönemine ilişkin yıllık veriler kullanılmıştır. Çalışmanın veri setine ilişkin bilgiler Tablo 1’de yer almaktadır.

Tablo 1. Değerlendirme kriterleri birim ve kaynak bilgileri

<i>Değerlendirme Kriterleri</i>	<i>Birim</i>	<i>Kaynak</i>
Ham Çelik Üretimi	Ton	World Steel Association (2023)
Demir Çelik İhracatı	ABD Doları	World Trade Organization (2023)
Kümülatif Karbondioksit Emisyonları	Ton	Global Carbon Budget (2023)
Fosil Yakıt Tüketimi	Teravatsaat	Energy Institute (2023)

Tablo 1’de yer alan bilgiler küresel iklim krizi tedbirlerine uyum sürecinde demir çelik sektörü özelinde etkili olduğu değerlendirilen veri setlerini kapsamı içerisine almaktadır. Küresel CO₂ emisyonlarının %8’lik bir dilimini oluşturan çelik endüstrisi, iklim hedeflerine ulaşmanın anahtar endüstrileri arasında yer almaktadır. Bununla birlikte küresel çelik üretim kapasitesinin yaklaşık %90’ı net sıfır karbon hedeflerini açıklayan ülkelerde bulunmaktadır (OECD, 2022: 5). Global Forum on Steel Excess Capacity (2022) tarafından yayımlanan raporda gerçekleştirilen yapısal dönüşümler ve bir dizi alanda meydana gelen ilerlemelere rağmen çelik endüstrisinin Paris Anlaşması ile uyumlu bir yolda bulunmadığı belirtilmiştir. Sakamoto ve Manaki (2017), sektörlere özgü çevresel verimliliğin ihracat performansı üzerindeki olumlu etkisinin tutarlı olduğu bulgusuna ulaşmışlardır. Demir çelik endüstrisinin ise bu tutarlılığa erişmede bir dizi yapısal dönüşüme ihtiyacı olduğu değerlendirilmektedir. Teknolojinin yükseltilmesi demir çelik endüstrisinde temiz üretimi gerçekleştirmenin yaygın ve etkili alternatiflerinden biri olarak değerlendirilmektedir (Morfeldt ve diğerleri, 2015). Bu durumda araştırmanın tasarımında ham çelik üretimi verileri sadece hurda malzemenin geri dönüşümü veya ikincil çelik üretimi olarak değil karbon yakalama ve depolama gibi tekniklerle de birincil çelik üretiminde yenilikçi süreçler de dikkate alınmaktadır. Tanaka (2008), enerji tüketimi ve enerji yoğunluğunun genellikle bir endüstrinin sınırlarının farklı tanımlamalarına dayalı olarak tahmin edildiğini ifade etmektedir. Bu bağlamda çalışma esasen minimum karbon emisyonu, maksimum çelik üretimi ve ihracatı yaklaşımından hareketle çelik üreticisi ülkelerin küresel iklim krizi tedbirlerine karşı barındırdıkları yüksek teknoloji ve yeşil çelik üretimi potansiyellerini ortaya çıkarmak üzere kurgulanmıştır. Çalışmada değerlendirme kriterlerinin belirlenmesinde iç tüketim ile ihracat talepleri arasındaki farkın göz ardı edilmemesine dikkat edilmiştir. Çalışmada kullanılan verilerin farklı coğrafya ve ekonomik gelişmişlik düzeyine sahip 46 ülke için elde edilmiş olması analizlerin homojen dağılım özelliği göstermemesine neden olmaktadır. Bu nedenle çalışmada ülkeler gayrisafi yurt içi hasıla (GSYİH) oranı olarak Ar-Ge harcamaları ortalamalarına göre yüksek ve düşük ülkeler olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Küreselleşmenin bir sonucu olarak ülkeler arası rekabetin günden güne artması diğerlerinden farklılaştığını ortaya çıkarmak isteyen ülkelerin Ar-Ge, inovasyon, yatırım ve yenilik hareketlerini hızlandırdıkları görülmektedir (Börü ve Çelik, 2019). Çevresel boyutlarıyla üretim tesisleri ele alındığında ise karbon yakalama ve hapsetme gibi çeşitli komplekslerin araştırılması ve geliştirilmesi faaliyetlerine ciddi boyutlarda ekonomik kaynak aktarılmasına gereksinim duyulduğu bilinmektedir (Taner, 2012: 1). Teknoloji geliştirme ve yenilikçi faaliyetlerin vasıflı iş gücü ve Ar-Ge harcamaları oranının yüksek olduğu ülkelerde daha yoğun bir biçimde ortaya çıktığı değerlendirilmektedir (Vernon, 1966). Bu nedenle ülkelerin 2018 yılı GSYİH oranı olarak Ar-Ge harcamalarının ortalamasınının 1,3540 olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu değer üzerinde kalan ülkeler

birinci grupta, altında kalan ülkeler ise ikinci grupta analize tabi tutulmuşlardır. Ülkelerin gruplara göre dağılım sonuçlarına Tablo 2’de yer verilmiştir.

Tablo 2. GSYİH oranı olarak Ar-Ge harcamalarına göre ülkelerin sınıflandırılması

Grup	Ülkeler
Birinci Grup	Çin, Japonya, ABD, Güney Kore, Almanya, İtalya, Fransa, Kanada, Avusturya, İngiltere, Belçika, Hollanda, Avustralya, Çekya, İsveç, Finlandiya
İkinci Grup	Hindistan, Rusya, Türkiye, Brezilya, İran, Vietnam, Ukrayna, Meksika, Endonezya, İspanya, Mısır, Suudi Arabistan, Polonya, Malezya, Bangladeş, Tayland, Pakistan, Güney Afrika, Slovakya, Kazakistan, Cezayir, Romanya, Birleşik Arap Emirlikleri, Belarus, Lüksemburg, Umman, Portekiz, Yunanistan, Kolombiya, Kuveyt

Birden fazla kriterin söz konusu olduğu durumlarda karar alternatiflerinin sıralanmasını ve en iyisinin seçilmesini sağlayan yöntemler çok kriterli karar verme yöntemleri olarak tanımlanmaktadır (Abacıoğlu, 2023: 29). Çalışmada uygulamaya alınan dört kriter dikkate alınarak birinci grupta bulunan on altı ülke ve ikinci grupta bulunan otuz ülke üzerinde sıralama yapılması ihtiyacı nedeniyle çok kriterli karar verme yöntemlerinden faydalanılmıştır.

Alanyazın taramasında yayımlanan çalışmalar incelendiğinde Criteria Importance Through Intercriteria Correlation (CRITIC) yönteminin sürdürülebilirlik ve yenilenebilir enerji gibi konularda ağırlıklı olarak tercih edildiği görülmektedir (Ayan ve Abacıoğlu, 2022). Diakoulaki ve diğerleri (1995) tarafından geliştirilen CRITIC yöntemi, değerlendirme kriterlerinin ağırlıklarının objektif olarak belirlenmesinin tercih edildiği durumlarda kullanılmaktadır (Ayçin, 2020: 75). Çok kriterli karar verme problemlerinin kritik süreci ağırlıkların belirlenebilmesi ve birbirleriyle ilişkilendirilebilmesi aşamasıdır. Özellikle kriterler arasında korelasyonun bulunması durumunda CRITIC yönteminin daha iyi bir uzlaşma performansı sergilediği ifade edilebilecektir (Diakoulaki ve diğerleri, 1995). Bu nedenle CRITIC yönteminde kriterlerin birbiri ile ilişkisi ve çelişkisi hesaplanarak değerlendirmeler yapılmakta ve bu değerlendirmeler kriterlerin standart sapmalarını ve korelasyonlarını dikkate almaktadır (Yıldırım, 2023: 3, 47).

CRITIC yönteminin uygulama adımlarından sırasıyla bahsedilmiştir. n alternatiften oluşan sonlu bir A kümesi için belirli bir m sistemi için f_j değerlendirme kriterinin tanımlanmış haline Eşitlik 1’de yer verilmiştir (Diakoulaki ve diğerleri, 1995).

$$\text{Max} \{f_1(a), f_2(a), \dots, f_m(a) / a \in A\} \quad (1)$$

Çok kriterli karar problemlerinde, kriterlerin $[0, 1]$ aralığında değerler almasını sağlamak amacıyla, her f_j kriterine karşılık x_j fonksiyonu oluşturulacak şekilde normalizasyon uygulaması yapılmaktadır. Bu uygulama sonucunda ideal değer noktası elde edilmektedir. İdeal değer noktası kriter değerinin ortak bir birime dönüştürülebilmesi açısından önemlidir. x_{aj} değerlerinin a alternatifi için ideal noktaya ne kadar yakın olduğu Eşitlik 2’de gösterildiği şekliyle ifade edilmektedir (Diakoulaki ve diğerleri, 1995).

$$x_{aj} = \frac{f_j(a) - f_j^*}{f_j^* - f_j^*} \quad (2)$$

Eşitlik 2’de yer alan gösterimde j kriterindeki en iyi performans f_j^* ile en kötü performans ise f_j^* ile uzaklık olarak ifade edilmektedir (Diakoulaki ve diğerleri, 1995). Eşitlik 2 üzerinden fayda (max.) nitelikli ölçütler ve maliyet (min.) nitelikli ölçütler de modele uygulanabilmektedir. Normalizasyon modelinin fayda (max.) yönlü olarak belirlenmesi durumunda kriterlerin yüksek değerlere ulaşabilmesi; maliyet (min.) yönlü olarak belirlenmesi durumunda ise kriterlerin mümkün olan en düşük seviyede değer alması beklenmektedir. Normalizasyon işleminin değerlendirme kriterlerinin fayda ve maliyet niteliklerini dikkate alarak gerçekleştirilmesinin model ile gösterimi sırasıyla Eşitlik 3 ve 4’te yer almaktadır (Akgül, 2021).

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

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \quad (4)$$

Eşitlik 3 ve 4 ile ifade edilen modellerde r_{ij} değerleri karar matrisine göre normalize edilmiş değerleri göstermektedir. x_j^{\max} kriterin aldığı en büyük değere ve x_j^{\min} ise kriterin aldığı en küçük değere karşılık gelmektedir. Elde edilen bulgular ile ham haliyle işleme alınan değerlendirme matrisinin göreceli şekilde puanlanmış değerlerden oluşan bir karar matrisine dönüşmesi sağlanmaktadır. Bu şekilde incelemeye alınan n alternatifin puanları j ’inci kriter için ayrı ayrı değerlendirilerek x_j vektörü elde edilmektedir (Diakoulaki ve diğerleri, 1995).

$$x_j = (x_j(1), x_j(2), \dots, x_j(n)) \quad (5)$$

Her x_j vektörü kontrast yoğunluğunu ölçen standart sapma ile karakterize edilmektedir. Daha sonra $m \times m$ boyutuna ve x_j ile x_k vektörleri arasındaki doğrusal korelasyon katsayısı olan r_{jk} elemanına sahip korelasyon matrisi oluşturulmaktadır.

$$\sum_{k=1}^m (1 - r_{jk}) \quad (6)$$

Eşitlik 6'da gösterilen modelde r_{jk} Pearson korelasyon katsayısını ifade etmektedir. Ancak sıralamanın kullanıldığı durumlarda R_{jk}^S olarak da ifade edilen Spearman korelasyon katsayısı kullanılmaktadır. Her bir değerlendirme kriterine ait bilgi miktarını gösteren C_j değeri, kriterlerin birbiri ile ilişki yoğunluğu ve çelişkisi ölçümlerinin Eşitlik 7'de gösterilen model yardımıyla birleşiminden elde edilmektedir.

$$C_j = \sigma_j \cdot \sum_{k=1}^m (1 - r_{jk}) \quad (7)$$

Eşitlik 7'de yer verilen σ_j , j'inci değerin standart sapmasını ifade etmektedir. Modelde C_j değerinin yüksek olması ilgili kritere ait bilgi miktarının da büyük olması anlamına gelmektedir. Nesnel ağırlıklar, Eşitlik 7'den elde edilen bulgulara göre sonuçların normalleştirilmesiyle elde edilmektedir. Kriter ağırlıklarının elde edilmesindeki hesaplama Eşitlik 8'de yer almaktadır.

$$w_j = \frac{C_j}{\sum_{k=1}^m C_k} \quad (8)$$

Yazdani ve diğerleri (2019) tarafından geliştirilen Combined Compromise Solution (CoCoSo) yöntemi, kombinatuvar metodoloji üzerine kurgulanmıştır. CoCoSo yönteminin literatürde sürdürülebilirlik ve optimizasyon gibi konularda ağırlıklı olarak tercih edildiği bulgusuna ulaşılmıştır (Ayan ve Abacıoğlu, 2022). Pratik problemlerin çözümünde farklı karar verici grupların sürece dahil olması, araştırmayı ya da araştırmacıyı her grubun farklı kriteri veya bakış açısını sürece dahil etmesi ile karşı karşıya getirmektedir. Bu durumda ihtiyaç duyulan karşılıklı uzlaşma çerçevesi içerisinde yer alan ve tüm gereksinimleri eşzamanlı karşılayan bir çözüm yöntemidir. Bu nedenle çalışmada entegre basit toplamsal ağırlıklandırmaya dayalı, üstel ağırlıklı ve uzlaşmacı çözümleri özet olarak sunabilen CoCoSo yöntemi tercih edilmiştir (Yazdani ve diğerleri, 2019). Çalışmada kriter ağırlıklarının belirlenmesi CRITIC yönteminden faydalanılarak gerçekleştirildiğinden, CoCoSo yöntemine ait çok kriterli karar verme aşamalarının aktarımı ile devam edilmiştir.

CoCoSo yöntemiyle ağırlıklı karşılaştırılabilirlik toplamı olan S_i ve her bir alternatif için karşılaştırılabilirlik dizilerinin güç ağırlığı toplamı olan P_i değerlerinin hesaplama yöntemleri Eşitlik 9 ve 10'da yer almaktadır.

$$S_i = \sum_{j=1}^n (w_j; r_{ij}) \quad (9)$$

$$P_i = \sum_{j=1}^n (r_{ij})^{w_j} \quad (10)$$

Eşitlik 9'da yer alan S_i değerleri gri ilişkisel yaklaşımına ve Eşitlik 10'da yer alan P_i değerleri ise ağırlıklı toplam ve ağırlıklı çarpım modellerinin katsayı ile bütünleştirilmesi sonucu uygulamaya alınan WASPAS teorisine dayanmaktadır. Eşitlik 11, 12 ve 13'te yer alan toplama yöntemlerini kullanan alternatiflerin göreceli ağırlıklarının hesaplanmasında üç değerlendirme puanı stratejisinden faydalanılmaktadır (Yazdani ve diğerleri, 2019).

$$k_{ia} = \frac{P_i + S_i}{\sum_{i=1}^m (P_i + S_i)} \quad (11)$$

$$k_{ib} = \frac{S_i}{\min_i S_i} + \frac{P_i}{\min_i P_i} \quad (12)$$

$$k_{ic} = \frac{\lambda(S_i) + (1-\lambda)(P_i)}{(\lambda \max_i S_i + (1-\lambda) \max_i P_i)} ; 0 \leq \lambda \leq 1 \quad (13)$$

Alternatiflerin göreceli ağırlıklarının hesaplandığı yukarıdaki üç modelde yer alan $\min_i S_i$ değeri S_i değerlerinin minimum değerini; $\min_i P_i$ değeri ise P_i değerlerinin minimum değerine karşılık gelmektedir. λ değeri de Eşitlik 13'te yer verilen aralıkta ve genellikle karar vericiler tarafından 0.5 olarak seçilmektedir. Son olarak alternatiflerin sıralaması Eşitlik 14'te gösterilen k_i değerlerine göre gerçekleşmekte ve en büyük k_i değerine sahip alternatifin en iyi olduğu çıkarsaması ile yorumlanmaktadır.

$$k_i = (k_{ia} k_{ib} k_{ic})^{1/3} + 1/3(k_{ia} + k_{ib} + k_{ic}) \quad (14)$$

Çalışmada seçilen değerlendirme kriterlerinin, demir çelik endüstrisi özelinde birbirleri ile ilişki ve etkileşim düzeyinin yüksek olmasının ve çalışmanın birden çok zaman dönemi içermesinin bir sonucu olarak tüm hesaplamalar incelemeye alınan her bir yıl dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.

5. BULGULAR

Çalışmanın analiz süreçlerinde ilk olarak CRITIC yöntemiyle her iki grupta yer alan ülkeler için değerlendirme kriterlerinin ağırlık skorları belirlenmiştir. Analizde kullanılan değerlendirme kriterleri ve kriterlere ait nitelikler Tablo 3'te yer almaktadır.

Tablo 3. Değerlendirme kriterleri ve kriterlere ait nitelikler

<i>Değerlendirme Kriterleri</i>	<i>Kısa Gösterim</i>	<i>Amaç</i>
Ham Çelik Üretimi	HCU	Max.
Demir Çelik İhracatı	DCIHR	Max.
Kümülatif Karbondioksit Emisyonları	KCO2EM	Min.
Fosil Yakıt Tüketimi	FYT	Min.

Çalışmada değerlendirme kriterlerinin ve kriterlere ait amaçların belirlenmesinde uluslararası Küresel İklim Krizi otoritelerinin kararlarından ve demir çelik endüstrisi sektör raporlarından istifade edilmiştir. Birinci grupta yer alan ülkelerin CRITIC sonuçlarına göre 2018-2021 dönemi için değerlendirme kriterlerinin ağırlık skorları Tablo 4'te yer almaktadır.

Tablo 4. Birinci grupta yer alan ülkelerin değerlendirme kriterleri ağırlık skorları

<i>Yıllar</i>	<i>Kriterler</i>	$\sum_{k=1}^m(1 - r_{jk})$	σ_j	C_j	w_j
2018	HCU	3.4812	0.2462	0.8573	0.2453
	DCIHR	3.2429	0.2484	0.8056	0.2305
	KCO2EM	2.9983	0.2625	0.7873	0.2253
	FYT	3.7216	0.2806	1.0445	0.2989
2019	HCU	3.5167	0.2462	0.8661	0.2467
	DCIHR	3.2497	0.2509	0.8156	0.2323
	KCO2EM	3.0115	0.2639	0.7948	0.2264
	FYT	3.7305	0.2771	1.0338	0.2945
2020	HCU	3.5470	0.2467	0.8751	0.2473
	DCIHR	3.2886	0.2527	0.8313	0.2350
	KCO2EM	3.0440	0.2659	0.8095	0.2288
	FYT	3.7902	0.2696	1.0219	0.2889
2021	HCU	3.4958	0.2465	0.8624	0.2454
	DCIHR	3.2886	0.2399	0.7892	0.2246
	KCO2EM	3.0794	0.2680	0.8254	0.2349
	FYT	3.8323	0.2706	1.0371	0.2951

Tablo 4 incelendiğinde birinci grupta yer alan ülkelere ilişkin verilerle yapılan CRITIC yöntemi hesaplamalarından tüm yıllar için FYT kriterinin en yüksek ağırlık değerine sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. En düşük değerler dikkate alındığında ise 2018,2019 ve 2020 yıllarında en düşük ağırlıklandırma değerlerinin KCO2EM kriterine ait olduğu, 2021 yılında ise en düşük değer DCIHR kriterine ait olduğu görülmektedir. İkinci grupta yer alan ülkelerin CRITIC sonuçlarına göre 2018-2021 dönemi için değerlendirme kriterlerinin ağırlık skorları Tablo 5'te yer almaktadır.

Tablo 5. İkinci grupta yer alan ülkelerin değerlendirme kriterleri ağırlık skorları

<i>Yıllar</i>	<i>Kriterler</i>	$\sum_{k=1}^m(1 - r_{jk})$	σ_j	C_j	w_j
2018	HCU	3.9736	0.2158	0.8577	0.2659
	DCIHR	3.5267	0.2391	0.8435	0.2615
	KCO2EM	3.5793	0.1911	0.6841	0.2121
	FYT	3.6374	0.2309	0.8398	0.2604
2019	HCU	4.0127	0.2126	0.8531	0.2707
	DCIHR	3.4710	0.2286	0.7937	0.2518
	KCO2EM	3.5263	0.1918	0.6765	0.2147
	FYT	3.6262	0.2284	0.8283	0.2628
2020	HCU	3.9790	0.2218	0.8826	0.2728
	DCIHR	3.4512	0.2394	0.8263	0.2554
	KCO2EM	3.5406	0.1925	0.6817	0.2107
	FYT	3.6552	0.2312	0.8453	0.2612
2021	HCU	3.9109	0.2141	0.8376	0.2480
	DCIHR	3.5414	0.2800	0.9917	0.2936
	KCO2EM	3.5766	0.1933	0.6915	0.2047
	FYT	3.7219	0.2302	0.8570	0.2537

Tablo 5 incelendiğinde ikinci grupta yer alan ülkelere ilişkin verilerle yapılan CRITIC yöntemi hesaplamalarından 2018, 2019 ve 2020 yılları için HCU kriterinin, 2021 yılı için ise DCIHR'nin en yüksek ağırlık değerine sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. En düşük değerler dikkate alındığında ise tüm yıllar için yıllarında en düşük ağırlıklandırma değerlerinin KCO2EM kriterine ait olduğu görülmektedir. Birinci grupta yer alan ülkelerin CoCoSo sonuçlarından elde edilen bulgular 2018 dönemi için Tablo 6'da yer almaktadır.

Tablo 6. Birinci grup ülkelerinin CoCoSo bulguları, 2018

Ülkeler	S_i	P_i	k_{ia}	k_{ib}	k_{ic}	k_i
Çin	0.5822	2.8445	0.0633	4.8073	0.8655	2.5531
Japonya	0.5894	3.3498	0.0728	5.1037	0.9949	2.7748
ABD	0.1727	1.9824	0.0398	2.0000	0.5443	1.2127
Güney Kore	0.6096	3.3205	0.0726	5.2057	0.9926	2.8116
Almanya	0.5763	3.2322	0.0704	4.9684	0.9619	2.6957
İtalya	0.5850	3.1500	0.0690	4.9775	0.9433	2.6835
Fransa	0.5532	3.0316	0.0663	4.7336	0.9054	2.5590
Kanada	0.5113	2.8749	0.0626	4.4114	0.8552	2.3945
Avusturya	0.5571	2.8819	0.0636	4.6803	0.8686	2.5077
İngiltere	0.4893	2.7590	0.0600	4.2259	0.8204	2.2948
Belçika	0.5852	3.0085	0.0664	4.9073	0.9077	2.6268
Hollanda	0.5660	2.9386	0.0648	4.7605	0.8851	2.5521
Avustralya	0.5044	2.1875	0.0498	4.0247	0.6799	2.0992
Çekya	0.5350	2.7162	0.0601	4.4687	0.8211	2.3874
İsveç	0.5512	2.7609	0.0612	4.5855	0.8365	2.4447
Finlandiya	0.5423	2.5568	0.0573	4.4310	0.7827	2.3405

İkinci grupta yer alan ülkelerin CoCoSo sonuçlarından elde edilen bulgular 2018 dönemi için Tablo 7'de yer almaktadır.

Tablo 7. İkinci grup ülkelerinin CoCoSo bulguları, 2018

Ülkeler	S_i	P_i	k_{ia}	k_{ib}	k_{ic}	k_i
Hindistan	0.4990	2.6892	0.0316	2.4541	0.7184	1.449834
Rusya	0.4301	2.4116	0.0281	2.1555	0.6404	1.279963
Türkiye	0.7588	3.6790	0.0439	3.5563	1.0000	2.072016
Brezilya	0.5889	3.4552	0.0400	3.0168	0.9113	1.801947
İran	0.4446	3.1375	0.0355	2.5042	0.8072	1.531063
Vietnam	0.5283	3.2069	0.0370	2.7524	0.8417	1.651205
Ukrayna	0.5415	3.3261	0.0383	2.8377	0.8715	1.705001
Meksika	0.4592	3.1317	0.0356	2.5397	0.8092	1.546174
Endonezya	0.4593	3.0270	0.0345	2.4953	0.7856	1.512633
İspanya	0.5419	3.2816	0.0379	2.8198	0.8616	1.691140
Mısır	0.4575	2.8561	0.0328	2.4174	0.7467	1.455411
Suudi Arabistan	0.3830	2.8290	0.0318	2.2113	0.7238	1.359577
Polonya	0.4665	3.0953	0.0353	2.5433	0.8026	1.543071
Malezya	0.4698	2.9214	0.0336	2.4774	0.7642	1.490803
Bangladeş	0.4654	2.3568	0.0279	2.2243	0.6360	1.303360
Tayland	0.4507	2.8972	0.0331	2.4171	0.7544	1.460677
Pakistan	0.4485	2.5743	0.0299	2.2733	0.6812	1.353989
Güney Afrika	0.4674	3.0427	0.0348	2.5229	0.7909	1.527047
Slovakya	0.5162	3.0243	0.0351	2.6425	0.7978	1.578097
Kazakistan	0.4707	2.9339	0.0337	2.4852	0.7672	1.495926
Cezayir	0.4489	2.4523	0.0287	2.2221	0.6538	1.315046
Romanya	0.4832	2.8921	0.0334	2.4997	0.7606	1.496922
BAE	0.4592	2.8471	0.0327	2.4179	0.7450	1.454460
Belarus	0.4717	2.7381	0.0318	2.4040	0.7233	1.433911
Lüksemburg	0.4992	2.8249	0.0329	2.5127	0.7490	1.493884
Umman	0.4766	2.7191	0.0316	2.4085	0.7201	1.433416
Portekiz	0.4823	2.7639	0.0321	2.4426	0.7315	1.454553
Yunanistan	0.4706	2.6228	0.0306	2.3517	0.6971	1.395371
Kolombiya	0.4634	2.3683	0.0280	2.2240	0.6381	1.304769
Kuveyt	0.4554	2.3355	0.0276	2.1890	0.6289	1.284812

Birinci grupta yer alan ülkelerin CoCoSo sonuçlarından elde edilen bulgular 2019 dönemi için Tablo 8'de yer almaktadır.

Tablo 8. Birinci grup ülkelerinin CoCoSo bulguları, 2019

Ülkeler	S_i	P_i	k_{ia}	k_{ib}	k_{ic}	k_i
Çin	0.5816	2.8358	0.0632	4.6822	0.8697	2.5077
Japonya	0.5904	3.3392	0.0727	4.9843	1.0000	2.7318
ABD	0.1785	1.9909	0.0401	2.0000	0.5521	1.2179
Güney Kore	0.6134	3.3200	0.0727	5.1035	1.0010	2.7780
Almanya	0.5762	3.2192	0.0702	4.8445	0.9658	2.6501
İtalya	0.5855	3.1439	0.0690	4.8589	0.9491	2.6415
Fransa	0.5500	3.0180	0.0660	4.5964	0.9080	2.5074
Kanada	0.5066	2.8522	0.0621	4.2701	0.8547	2.3387
Avusturya	0.5534	2.8921	0.0637	4.5525	0.8768	2.4646
İngiltere	0.4873	2.7610	0.0601	4.1166	0.8266	2.2568
Belçika	0.5810	3.0029	0.0663	4.7626	0.9120	2.5739
Hollanda	0.5614	2.9342	0.0646	4.6183	0.8895	2.5002
Avustralya	0.5012	2.1963	0.0499	3.9108	0.6865	2.0607
Çekya	0.5309	2.7132	0.0600	4.3365	0.8255	2.3395
İsveç	0.5482	2.8039	0.0620	4.4792	0.8530	2.4168
Finlandiya	0.5418	2.5711	0.0576	4.3261	0.7921	2.3074

İkinci grupta yer alan ülkelerin CoCoSo sonuçlarından elde edilen bulgular 2019 dönemi için Tablo 9'da yer almaktadır.

Tablo 9. İkinci grup ülkelerinin CoCoSo bulguları, 2019

Ülkeler	S_i	P_i	k_{ia}	k_{ib}	k_{ic}	k_i
Hindistan	0.5047	2.7022	0.0318	2.5320	0.7295	1.4864
Rusya	0.3923	2.3906	0.0276	2.0986	0.6330	1.2519
Türkiye	0.7453	3.6509	0.0436	3.5862	1.0000	2.0819
Brezilya	0.5806	3.4337	0.0398	3.0591	0.9131	1.8181
İran	0.4488	3.1528	0.0357	2.5892	0.8192	1.5712
Vietnam	0.5308	3.2233	0.0372	2.8345	0.8539	1.6901
Ukrayna	0.5391	3.3152	0.0382	2.8975	0.8767	1.7304
Meksika	0.4553	3.1052	0.0353	2.5846	0.8099	1.5629
Endonezya	0.4816	3.1207	0.0357	2.6602	0.8194	1.5988
İspanya	0.5361	3.2598	0.0376	2.8649	0.8634	1.7085
Mısır	0.4585	2.8132	0.0324	2.4616	0.7442	1.4696
Suudi Arabistan	0.3838	2.7742	0.0313	2.2492	0.7183	1.3694
Polonya	0.4657	3.0722	0.0351	2.5970	0.8048	1.5641
Malezya	0.4958	3.0637	0.0353	2.6714	0.8097	1.5963
Bangladeş	0.4718	2.3875	0.0283	2.3044	0.6504	1.3433
Tayland	0.4458	2.8134	0.0323	2.4284	0.7413	1.4548
Pakistan	0.4499	2.5318	0.0296	2.3124	0.6782	1.3660
Güney Afrika	0.4619	3.0198	0.0345	2.5634	0.7920	1.5422
Slovakya	0.5112	2.9678	0.0345	2.6685	0.7914	1.5824
Kazakistan	0.4695	2.9213	0.0336	2.5389	0.7713	1.5184
Cezayir	0.4537	2.5168	0.0294	2.3157	0.6757	1.3654
Romanya	0.4863	2.8869	0.0334	2.5672	0.7673	1.5265
BAE	0.4664	2.8730	0.0331	2.5090	0.7596	1.4987
Belarus	0.4764	2.7494	0.0320	2.4794	0.7338	1.4692
Lüksemburg	0.5016	2.8092	0.0328	2.5720	0.7531	1.5184
Umman	0.4789	2.7002	0.0315	2.4638	0.7231	1.4558
Portekiz	0.4860	2.7470	0.0320	2.5033	0.7354	1.4796
Yunanistan	0.4730	2.5563	0.0300	2.3835	0.6891	1.4009
Kolombiya	0.4680	2.5149	0.0296	2.3520	0.6785	1.3814
Kuveyt	0.4616	2.2208	0.0266	2.2029	0.6102	1.2760

Birinci grupta yer alan ülkelerin CoCoSo sonuçlarından elde edilen bulgular 2020 dönemi için Tablo 10'da yer almaktadır.

Tablo 10. Birinci grup ülkelerinin CoCoSo bulguları, 2020

Ülkeler	S_i	P_i	k_{ia}	k_{ib}	k_{ic}	k_i
Çin	0.5813	2.8256	0.0634	4.4371	0.8684	2.4147
Japonya	0.5891	3.3105	0.0725	4.7205	0.9940	2.6272
ABD	0.1924	1.9951	0.0407	2.0000	0.5576	1.2228
Güney Kore	0.6127	3.3052	0.0729	4.8404	0.9986	2.6769
Almanya	0.5775	3.2034	0.0703	4.6064	0.9637	2.5585
İtalya	0.5830	3.1203	0.0689	4.5936	0.9439	2.5373
Fransa	0.5424	2.9697	0.0653	4.3072	0.8952	2.3875
Kanada	0.5065	2.8337	0.0621	4.0523	0.8514	2.2537
Avusturya	0.5497	2.8691	0.0636	4.2944	0.8714	2.3628
İngiltere	0.4870	2.7549	0.0603	3.9115	0.8263	2.1792
Belçika	0.5753	2.9581	0.0657	4.4723	0.9006	2.4550
Hollanda	0.5593	2.9153	0.0646	4.3676	0.8856	2.4026
Avustralya	0.4991	2.1923	0.0501	3.6923	0.6860	1.9785
Çekya	0.5294	2.7164	0.0604	4.1124	0.8273	2.2567
İsveç	0.5446	2.7794	0.0618	4.2231	0.8473	2.3155
Finlandiya	0.5358	2.5480	0.0574	4.0616	0.7860	2.2029

İkinci grupta yer alan ülkelerin CoCoSo sonuçlarından elde edilen bulgular 2020 dönemi için Tablo 11'de yer almaktadır.

Tablo 11. İkinci grup ülkelerinin CoCoSo bulguları, 2020

Ülkeler	S_i	P_i	k_{ia}	k_{ib}	k_{ic}	k_i
Hindistan	0.5293	2.7402	0.0322	2.5650	0.7369	1.5046
Rusya	0.4164	2.4074	0.0278	2.1244	0.6365	1.2645
Türkiye	0.7564	3.6803	0.0437	3.5658	1.0000	2.0745
Brezilya	0.5750	3.4277	0.0394	2.9771	0.9022	1.7792
İran	0.4488	3.1728	0.0356	2.5342	0.8163	1.5480
Vietnam	0.5554	3.3140	0.0381	2.8771	0.8721	1.7196
Ukrayna	0.5435	3.3333	0.0382	2.8537	0.8738	1.7118
Meksika	0.4553	3.1087	0.0351	2.5244	0.8033	1.5353
Endonezya	0.5459	3.3036	0.0379	2.8475	0.8677	1.7051
İspanya	0.5318	3.2389	0.0371	2.7825	0.8499	1.6676
Mısır	0.4593	2.8562	0.0326	2.4280	0.7473	1.4591
Suudi Arabistan	0.3766	2.7733	0.0310	2.1733	0.7099	1.3344
Polonya	0.4640	3.0714	0.0348	2.5317	0.7968	1.5337
Malezya	0.5033	3.1023	0.0355	2.6491	0.8127	1.5901
Bangladeş	0.4684	2.4106	0.0283	2.2638	0.6489	1.3269
Tayland	0.4429	2.8308	0.0322	2.3737	0.7379	1.4315
Pakistan	0.4455	2.5781	0.0298	2.2738	0.6815	1.3536
Güney Afrika	0.4460	2.9378	0.0333	2.4273	0.7627	1.4695
Slovakya	0.5040	2.9486	0.0340	2.5859	0.7782	1.5416
Kazakistan	0.4688	2.9351	0.0335	2.4868	0.7672	1.4957
Cezayir	0.4498	2.5122	0.0292	2.2574	0.6676	1.3376
Romanya	0.4807	2.8644	0.0329	2.4883	0.7539	1.4870
BAE	0.4682	2.8861	0.0330	2.4644	0.7560	1.4792
Belarus	0.4713	2.7476	0.0317	2.4140	0.7255	1.4385
Lüksemburg	0.4943	2.7874	0.0323	2.4921	0.7397	1.4785
Umman	0.4794	2.7880	0.0322	2.4527	0.7364	1.4611
Portekiz	0.4830	2.7781	0.0321	2.4581	0.7350	1.4621
Yunanistan	0.4707	2.6293	0.0305	2.3625	0.6987	1.3999
Kolombiya	0.4618	2.3636	0.0278	2.2264	0.6368	1.3040
Kuveyt	0.4566	2.4102	0.0282	2.2324	0.6462	1.3129

Birinci grupta yer alan ülkelerin CoCoSo sonuçlarından elde edilen bulgular 2021 dönemi için Tablo 12'te yer almaktadır.

Tablo 12. Birinci grup ülkelerinin CoCoSo bulguları, 2021

Ülkeler	S_i	P_i	k_{ia}	k_{ib}	k_{ic}	k_i
Çin	0.5668	2.8120	0.0631	4.5346	0.8681	2.4506
Japonya	0.5744	3.2973	0.0723	4.8207	0.9947	2.6652
ABD	0.1818	1.9840	0.0405	2.0000	0.5564	1.2214
Güney Kore	0.5950	3.2723	0.0722	4.9214	0.9936	2.7027
Almanya	0.5570	3.1761	0.0697	4.6644	0.9591	2.5760
İtalya	0.5811	3.1248	0.0692	4.7711	0.9521	2.6109
Fransa	0.5453	2.9755	0.0658	4.4987	0.9046	2.4675
Kanada	0.5204	2.8799	0.0635	4.3134	0.8736	2.3711
Avusturya	0.5537	2.8577	0.0637	4.4857	0.8765	2.4391
İngiltere	0.4917	2.7199	0.0600	4.0751	0.8251	2.2399
Belçika	0.5755	2.9455	0.0658	4.6498	0.9046	2.5250
Hollanda	0.5613	2.8970	0.0646	4.5471	0.8885	2.4725
Avustralya	0.5114	2.1800	0.0503	3.9112	0.6915	2.0652
Çekya	0.5383	2.6889	0.0603	4.3159	0.8291	2.3349
İsveç	0.5497	2.7244	0.0612	4.3961	0.8412	2.3754
Finlandiya	0.5451	2.5457	0.0577	4.2811	0.7941	2.2921

İkinci grupta yer alan ülkelerin CoCoSo sonuçlarından elde edilen bulgular 2021 dönemi için Tablo 13'te yer almaktadır.

Tablo 13. İkinci grup ülkelerinin CoCoSo bulguları, 2021

Ülkeler	S_i	P_i	k_{ia}	k_{ib}	k_{ic}	k_i
Hindistan	0.5784	2.7980	0.0330	2.8523	0.7568	1.6287
Rusya	0.4675	2.4549	0.0286	2.3956	0.6551	1.3818
Türkiye	0.7693	3.6921	0.0436	3.7801	1.0000	2.1564
Brezilya	0.5856	3.4497	0.0395	3.1752	0.9045	1.8571
İran	0.4526	3.1932	0.0357	2.6993	0.8172	1.6125
Vietnam	0.5976	3.4051	0.0392	3.1863	0.8972	1.8562
Ukrayna	0.5596	3.3547	0.0383	3.0612	0.8774	1.7942
Meksika	0.4533	3.1185	0.0349	2.6665	0.8006	1.5883
Endonezya	0.6095	3.3960	0.0392	3.2140	0.8978	1.8672
İspanya	0.5468	3.2828	0.0375	2.9934	0.8584	1.7547
Mısır	0.4546	2.9130	0.0329	2.5743	0.7548	1.5207
Suudi Arabistan	0.3733	2.7897	0.0309	2.2990	0.7090	1.3824
Polonya	0.4665	3.0784	0.0347	2.6830	0.7946	1.5905
Malezya	0.4977	3.1112	0.0353	2.7821	0.8089	1.6387
Bangladeş	0.4527	2.4235	0.0281	2.3413	0.6447	1.3536
Tayland	0.4395	2.8519	0.0322	2.5054	0.7378	1.4822
Pakistan	0.4332	2.5602	0.0293	2.3526	0.6710	1.3765
Güney Afrika	0.4533	2.9769	0.0336	2.6005	0.7689	1.5407
Slovakya	0.5139	3.0283	0.0347	2.7869	0.7940	1.6300
Kazakistan	0.4652	2.9413	0.0333	2.6158	0.7635	1.5428
Cezayir	0.4438	2.6878	0.0306	2.4404	0.7019	1.4320
Romanya	0.4822	2.9054	0.0331	2.6446	0.7593	1.5509
BAE	0.4610	2.8734	0.0326	2.5731	0.7474	1.5150
Belarus	0.4607	2.7197	0.0311	2.5006	0.7129	1.4629
Lüksemburg	0.4828	2.7601	0.0317	2.5787	0.7269	1.5028
Umman	0.4686	2.7725	0.0317	2.5463	0.7265	1.4900
Portekiz	0.4744	2.7365	0.0314	2.5452	0.7197	1.4849
Yunanistan	0.4571	2.5663	0.0296	2.4195	0.6777	1.4069
Kolombiya	0.4487	2.4336	0.0282	2.3351	0.6461	1.3522
Kuveyt	0.4430	2.1476	0.0253	2.1868	0.5807	1.2490

6. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Çalışma içerisinde yer alan 46 ülke öncelikli olarak analizlerin de başlangıç dönemi olan 2018 yılı verileriyle GSYİH oranı olarak Ar-Ge harcamaları ortalamalarına göre sınıflandırılmıştır. Araştırma tasarımı demir çelik endüstrisinde başlıca çelik üreten 50 ülke olarak tasarlanmış ancak değişkenler üzerinde tam veri setine ulaşılamayan 4 ülke araştırmanın kısıtlarını oluşturmuştur. Bu nedenle Tayvan, Arantin, Sırbistan ve Şili araştırma kapsamına dahil edilememiştir. Çalışmada Ar-Ge harcamalarına göre yapılan

sınıflandırmada ortalamanın üstünde olan ülkeler birinci grup ülkeler başlığı altında GSYİH oranı olarak yüksek Ar-Ge harcamalarına sahip ülkeler; ikinci grup ülkeler başlığı altında ise GSYİH oranı olarak düşük Ar-Ge harcamalarına sahip ülkeler olarak belirlenmiştir. Bu bağlamda birinci grupta yer alan ülkelerin sanayileşme süreçlerini tamamlamış, insani ve iktisadi gelişmişlik ile yüksek teknoloji seviyesinde olan ülkeler olduğu dikkat çekmektedir.

Çalışmada kriter ağırlıklandırma yöntemi olarak CRITIC yönteminden faydalanılmıştır. Birinci grupta yer alan ülkelerin fosil yakıt tüketimi kriterinin en yüksek ağırlık skoruna sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. En düşük skorlar incelemeye alındığında ise 2018-2020 dönemleri için kümülatif karbondioksit emisyonları, 2021 yılı için demir çelik ihracatına ait olduğu bulgusu elde edilmiştir. Gelişmişlik seviyesi yüksek ülkelerde fosil yakıt tüketiminin önem ağırlığının yüksek çıkması hem literatür hem de beklentiler açısından uygun olarak değerlendirilmektedir.

İkinci grupta yer alan ülkelerde ise 2018-2020 dönemi için ham çelik üretiminin, 2021 yılı için ise demir çelik ihracatının en yüksek ağırlık skoruna ulaştığı tespit edilmiştir. En düşük değerler dikkate alındığında ise tüm yıllar için kümülatif karbondioksit emisyonlarının düşük ağırlık skoruna sahip olduğu görülmektedir. 2021 yılında yüksek ağırlık skorunun ham çelik üretiminden demir çelik ihracatına geçmesi ise pandemi sonrası dış ticarete yaşanan hareketlilik ve dünya çelik üretiminin ilgili yılda yaklaşık 70 milyon ton üretim artışı ile açıklanabilmektedir. Bu durumda GSYİH oranı olarak düşük Ar-Ge harcamalarına sahip ülkelerin demir çelik üretim ve ihracatına, sektörün çevresel etkilerinden daha fazla önem verdiği sonucuna ulaşılmaktadır.

CoCoSo yönteminden elde edilen sonuçlara göre 2018-2021 dönemi için birinci grupta yer alan ülkeler içerisinde en iyi performansın Güney Kore'ye ait olduğu ve Japonya, Almanya ve İtalya'nın diğer en iyi performansa sahip ülkeler olduğu görülmektedir. En kötü performansa sahip ABD'yi ise Avustralya ve İngiltere takip etmektedir. En iyi performansa sahip ülkelerin Ar-Ge, yüksek teknoloji ürünü, çevre koruma gibi konularda öncü ülkeler arasında yer almasının elde edilen bulgular ile uyumlu olduğu görülmektedir. İngiltere ve Avustralya'da çelik üretiminin büyük bir yüzdesinin BOF'lu tesislerde gerçekleşmesi ile ABD'nin de çelik üretim ve ihracat politikalarında özellikle ABD Çin Ticaret Savaşları ekseninde agresif tavırlarının sonuçlar üzerinde belirleyici olduğu değerlendirilmektedir.

2018-2021 dönemi için ikinci grupta yer alan ülkeler içerisinde en iyi performansın Türkiye'ye ait olduğu ve Brezilya ve Ukrayna'nın diğer en iyi performansa sahip ülkeler olduğu görülmektedir. En kötü performansa sahip Rusya'yı ise Kuveyt, Bangladeş ve Kolombiya takip etmektedir. İkinci grup ülkeler içerisinde Endonezya'nın 2018 yılında 11'inci, 2019 yılında 6'ıncı, 2020 yılında 5'inci ve 2021 yılında ikinci sıraya yükselmesi dikkat çekicidir. Dünyanın ikinci büyük çelik üreticisi konumunda bulunan Hindistan'ın ise performans sıralamasında iklim krizi tedbirlerine beklenen ölçüde cevap veremediği değerlendirilmektedir. Türkiye'nin uygulamaya aldığı karbon emisyonu hedefleri ve iklim krizi tedbirleri ile ülkede BOF'lu tesis sayısının az olmasının sonuçların verimliliğiyle uyumlu olduğu değerlendirilmektedir.

Çevresel kalitenin bozulmasında görülen artış, üretimi önceleyen ekonomi politikalarının gündemdeki ağırlıklarını kaybetmelerine yol açmıştır. Bununla birlikte sürdürülebilir iktisadî büyüme stratejileri de önem kazanmıştır (Erdoğan ve diğerleri, 2019). Aynı zamanda elde edilen sıralama sonuçların ülkelerin çevresel regülasyon algılarıyla da uyumlu olduğu görülmektedir. Az gelişmiş ülkelerin çevresel yasa ve düzenlemeleri kendi ekonomik gelişmeleri için bir tehdit olarak algılamaları bu duruma örnek olarak verilebilmektedir (Kotler ve diğerleri, 1997: 31). Çalışmada CoCoSo yönteminden elde edilen sonuçlar 2018-2021 döneminde en iyi performansın Güney Kore'ye ait olduğunu göstermektedir. Özellikle 1980 sonrası dönemde olağanüstü ekonomik gelişmesiyle dikkat çeken ülke, teknolojik kabiliyetiyle ve Ar-Ge faaliyetlerindeki sürekliliğiyle diğer ülkeler için örnek teşkil etmektedir (Tuñçsiper ve Fırat, 2016). Çalışma bulgularında Endonezya'ya ait performans değerlerinin gelişimi dikkat çekici olarak değerlendirilmektedir. Bu durum ülkenin gemi geri dönüşüm endüstrisinde öne çıkmasıyla açıklanmaktadır. Gemi geri dönüşümünden elde edilen çelik ikincil kaynak olarak çelik üretiminde değerlendirilmektedir. Endonezya'da gemi geri dönüşümü, ömrünü tamamlamış gemilerin ve ekonomik olmayan ulusal bayraklı gemilerin sayısındaki artış nedeniyle dikkat çekmekte ve olası bir ekonomik kalkınma ve istihdam fırsatı kaynağı olarak değerlendirilmektedir (Sunaryo ve diğerleri, 2021). Bununla birlikte ülkenin bu gelişimi sürdürebilmesinin küresel iklim krizi tedbirlerine uyum göstermesi ile gerçekleşebileceği değerlendirilmektedir.

Ülkeler ve vatandaşlarının geleceğini belirlemede ekolojik sorunlar ilk sırada yer almaya başlamıştır. Bu durumda ekonomik zenginliği ve sanayi gelişmişliğini temsil eden ülkelerin hızlı büyümenin çevresel etkileri konusunda daha fazla kaygı duyduğu görülmektedir. Bu ülkelerin ekonomik zenginliği veya sanayi gelişmişliği bulunmayan ülkelere kıyasla daha fazla çevre koruma yasaları çıkardıkları bilinmektedir. Endüstri açısından az gelişmiş ve ekonomik zenginliği beklenen seviyede elde edememiş ülkelerde ise öncelikli olarak yer alan yaşam standardını yükseltme çabası ve daha fazla ihracat yapabilme beklentisi

ekolojik kirlenme ve büyümenin diğer olumsuz etkilerine daha az ilgi duyulmasına neden olmaktadır. Bu bağlamda küresel iklim krizi tedbirlerine uyum süreci demir çelik sektörü özelinde değerlendirildiğinde karbon emisyonlarının ticaret çeşitlendirmesi üzerine etkisi, çelik üretim proseslerinin ülkeler veya firmalar düzeyinde verimlilikleri ve birincil çelik üretiminde karbon yakalama veya yapay kok kullanımı gibi yeni teknolojik gelişmelere ilişkin konuların gelecek çalışmalara vizyon oluşturabileceği ifade edilmektedir. Ayrıca literatürdeki değişim eğilimleri dikkate alındığında demirli atık ve çelik hurdalarına ilişkin son kullanım, ürün ömürleri, stok doygunluk oranları ile metal geri dönüşümünde ekonomik maliyet, sosyal davranış, tasarım ve teknoloji konularında temel bilgi açığının devam ettiği değerlendirilmektedir.

Yazar Katkıları / Author Contributions

Ümit Remzi Ergün: Literatür Taraması, Kavramsallaştırma, Metodoloji, Veri Derleme, Analiz, Makale Yazımı-rijinal taslak. Elif Bulut: Literatür Taraması, Metodoloji, Analiz, Makale Yazımı-rijinal taslak inceleme ve düzenleme.

Ümit Remzi Ergün: Literature Review, Methodology, Data Curation, Analysis, Writing-original draft. Elif Bulut: Literature Review, Methodology, Analysis, Writing-original draft-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

- Abacıoğlu, S. (2023). "İmalat Sektöründe Yer Alan Firmaların Performanslarının Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Değerlendirilmesi", Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Acar, E. (2022). "Comparison of the Performances of OECD Countries in the Perspective of Socio-Economic Global Indices: CRITIC-Based Cocoso Method", *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 73, 256-277. DOI: 10.51290/dpusbe.1122650
- Akgül, Y. (2021). "Borsa İstanbul'da İşlem Gören Ticari Bankaların Finansal Performansının Bütünleşik CRITIC CoCoSo Modeliyle Analizi", *Ekonomi ve Finans Araştırmaları Dergisi*, 3(2), 71-90.
- Akram, M., Ramzan, N. ve Deveci, M. (2023). "Linguistic Pythagorean Fuzzy CRITIC-EDAS Method for Multiple-Attribute Group Decision Analysis", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 119, 105777. DOI: 10.1016/j.engappai.2022.105777
- Ankara Ticaret Borsası. (2008). "Kyoto Protokolü", Ankara, Ticaret Borsası Raporları.
- Arens, M., Worrell, E., Eichhammer, W., Hasanbeigi, A. ve Zhang, Q. (2017). "Pathways to A Low-Carbon Iron and Steel Industry in the Medium-Term The Case of Germany", *Journal of Cleaner Production*, 163(1), 84-98. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.12.097
- Avinal, A., Tosun, C., Dağlı, S., Duhbaci, T.B. ve Şık, E. (2019). "Ana Demir ve Çelik Ürünleri ile Ferro Alaşımların İmalatı Kaynak Verimliliği Rehberi", T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Ankara.
- Avunduk, Z.B. ve İçen, H. (2023). "Eko-İnovasyon Performansının Ekonomik Büyümeye Etkisi: Avrupa Birliği Ülkeleri Üzerine Panel Veri Analizi," *Verimlilik Dergisi*, 57(4), 657-670. DOI: 10.51551/verimlilik.1357187
- Ayan, B. ve Abacıoğlu, S. (2022). "Bibliometric Analysis of the MCDM Methods in the Last Decade: WASPAS, MABAC, EDAS, CODAS, COCOSO, and MARCOS", *International Journal of Business & Economic Studies*, 4(2), 65-85. DOI: 10.54821/uiecd.1183443
- Ayçin, E. (2020). "Çok Kriterli Karar Verme: Bilgisayar Uygulamalı Çözümler", Nobel Yayınları, Ankara.
- Binboğa, G. ve Özdil, T. (2021). "Sürdürülebilirliğin İşletme Performansına Etkisinin Çok Kriterli Karar Verme Teknikleriyle İncelenmesi", *International Review of Economics and Management*, 9(2), 182-199. DOI: 10.18825/iremjournal.1003203
- Boudalia, M., Laourayed, M., El Moudane, M., Sekkat, Z., Campos, O.S., Bellaouchou, A., Guenbour, A., Anton, J.S. ve Amin, H.M. (2023). "Phosphate Glass Doped With Niobium and Bismuth Oxides as an Eco-Friendly Corrosion Protection Matrix of Iron Steel in HCl Medium: Experimental and Theoretical Insights," *Journal of Alloys and Compounds*, 938, 168570. DOI: 10.3390/ma16020678
- Börü, M.K. ve Çelik, D. (2019). "Türkiye'de Ar-Ge Harcamaları İnovasyon ve Ekonomik Büyüme İlişkisi", *R&S - Research Studies Anatolia Journal*, 2(5), 196-206. DOI: 10.33723/rs.537587
- BP. (2018). "BP Statistical Review of World Energy Report", BP Corp. Pub.
- Cipolla, C.M. (1980). "Dünya Nüfusunun İktisat Tarihi", (Çev. Mehmet Sırrı Gezgin), Ötüken Yayınları, İstanbul.
- Dağdemir, Ö. (2015). "Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ve Ekonomik Büyüme: İklim Değişikliği Politikasının Türkiye İmalat Sanayii Üzerindeki Olası Etkileri", *Ankara Üniversitesi SBF Dergisi*, 60(2), 49-70.
- Diakoulaki, D., Mavrotas, G. ve Papayannakis, L. (1995). "Determining Objective Weights in Multiple Criteria Problems: The CRITIC Method", *Computers & Operations Research*, 22(7), 763-770. DOI: 10.1016/0305-0548(94)00059-H
- Dwivedi, R., Prasad, K., Jha, P.K. and Singh, S. (2021). "An Integrated CRITIC-MARCOS Technique for Analysing the Performance of Steel Industry", *Data-Driven Optimization of Manufacturing Processes IGI Global*. 115-127.
- Ecer, K., Güner, O. ve Çetin, M. (2021). "Avrupa Yeşil Mutabakatı ve Türkiye Ekonomisinin Uyum Politikaları," *İşletme ve İktisat Çalışmaları Dergisi*, 9(2), 125-144.
- Energy Institute. (2023). <https://www.energyinst.org/>, (Erişim Tarihi: 02.11.2023)
- Erdoğan, S., Yıldırım, S., Yıldırım, D.Ç., ve Gedikli, A. (2019). "G20 Ülkelerinde İnnovasyon ve CO₂ Emisyonu", *International Congress of Energy Economy and Security*, 193.
- Ergün, Ü.R. ve Ener, M. (2022). "Demir Çelik Sektöründe Uluslararası İş Bölümü: Türkiye Örneği", *Journal of International Applied Economics and Administration Research*, 3(2), 61-71.
- Fresner J., Dobes, V., Bürki, T., Angerbauer, C. ve Tiefenbrunner, K. (2020). "PRE-SME Promoting Resource Efficiency in Small & Medium Sized Enterprises Industrial Training Handbook", United Nations Environment Programme, Paris.
- Gargari, L. S., Joda, F. ve Ameri, M. (2024). "A Techno-Economic Assessment for the Water Energy Carbon Nexus Based on the Development of A Mathematical Model: In the Iron and Steel Industry", *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 63, 103653. DOI: 10.1016/j.seta.2024.103653

- Global Carbon Budget. (2023). <https://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/> (Erişim Tarihi: 10.11.2023).
- Global Forum on Steel Excess Capacity (2022). "New Analytical Work: Impacts of Global Excess Capacity on the Health of GFSEC Steel Industries", <https://www.steelforum.org/> (Erişim Tarihi: 10.04.2024).
- Gronoos, C. ve Ojasalo, K. (2004). "Service Productivity: Towards a Conceptualization of the Transformation of Inputs Into Economic Results in Services", *Journal of Business Research*, 57(4), 414-423.
- Hebeda, O., Guimarães, B.S., Cretton-Souza, G., La Rovere, E.L. ve Pereira, A.O. (2023). "Pathways for Deep Decarbonization of the Brazilian Iron and Steel Industry", *Journal of Cleaner Production*, 401, 136675. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.136675
- Huang, D., Dinga, C.D., Tao, Y., Wen, Z., Wang, Y. ve Razmadze, D. (2023). "Quantitative Analysis of Net-Zero Transition Pathways and Synergies in China's Iron and Steel Industry", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 183, 113495. DOI: 10.1016/j.rser.2023.113495
- Inayat, A. (2023). "Current Progress of Process Integration for Waste Heat Recovery in Steel and Iron Industries", *Fuel*, 338, 127237. DOI: 10.1016/j.fuel.2022.127237
- İklim Değişikliği Başkanlığı. (2023). <https://iklim.gov.tr/>, (Erişim Tarihi: 16.11.2023).
- İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (2002). <https://iklim.gov.tr/bm-iklim-degisikligi-cerceve-sozlesmesi-i-33> (Erişim Tarihi: 16.11.2023).
- Kasap, S.S., Şahin, Y. ve Çınar, T. (2020). "Bulanık Tabanlı Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ile Demir Çelik Endüstrisinde En Uygun Yatırım Seçeneğinin Belirlenmesi", *Endüstri Mühendisliği*, 31(0), 59-71.
- Khan, S. ve Haleem, A. (2021). "Investigation of Circular Economy Practices in the Context of Emerging Economies: a CoCoSo Approach", *International Journal of Sustainable Engineering*, 14(3), 357-367. DOI: 10.1080/19397038.2020.1871442
- Kim, J., Sovacool, B. K., Bazilian, M., Griffiths, S., Lee, J., Yang, M. ve Lee, J. (2022). "Decarbonizing the Iron and Steel Industry: A Systematic Review of Sociotechnical Systems, Technological Innovations and Policy Options", *Energy Research & Social Science*, 89, 102565. DOI: 10.1016/j.erss.2022.102565
- Koç, B.E. ve Kaynak, S. (2023). "Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizmasının Türkiye - AB-27 Dış Ticaret İlişkisi Üzerine Olası Etkisi", *Verimlilik Dergisi*, 57(2), 273-288. DOI: 10.51551/verimlilik.1166045
- Kotler, P., Jatusripitak, S. ve Maesincee, S. (1997). "Ulusların Pazarlanması", (Çev. Ahmet Buğdaycı), Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları, İstanbul.
- Lee, K-H., Min, B. ve Yook, K-H. (2015). "The Impacts of Carbon (CO₂) Emissions and Environmental Research and Development (R&D) Investment on Firm Performance", *International Journal of Production Economics*, 167, 1-11. DOI: 10.1016/j.ijpe.2015.05.018
- Lei, T., Wang, D., Yu, X., Ma, S., Zhao, W., Cui, C., Meng, J., Tao, S. ve Guan, D. (2023). "Global Iron and Steel Plant CO₂ Emissions and Carbon-Neutrality Pathways", *Nature*, 1-7.
- Li, Y. ve 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
- Lu, M., Wang, X. ve Cang, Y. (2018). "Carbon Productivity: Findings from Industry Case Studies in Beijing", *Energies*, 11(10), 2796. DOI: 10.3390/en11102796
- Ma, S.H., Wen, Z.G., Chen, J.N. ve Wen, Z.C. (2014). "Mode of Circular Economy in China's Iron and Steel Industry: A Case Study in Wu'an City", *Journal of Cleaner Production*, 64, 505-512.
- Michaelis, P. ve Jackson, T. (2000). "Material and Energy Flow Through the UK Iron and Steel Sector. Part 1: 1954-1994", *Resources, Conservation and Recycling*, 29(1-2), 131-156. DOI: 10.1016/S0921-3449(00)00048-3
- Monajemzadeh, N., Karbassi Yazdi, A., Hanne, T., Shirbabadi, S. ve Khosravi, Z. (2022). "Identifying and Prioritizing Export-Related CSFs of Steel Products Using Hybrid Multi-Criteria Methods", *Cogent Engineering*, 9(1), 1-40. DOI: 10.1080/23311916.2022.2077162
- Morfeldt, J., Nijs, W. ve Silveria, S. (2015). "The Impact of Climate Targets on Future Steel Production - An Analysis Based on a Global Energy System Model", *Journal of Cleaner Production*, 103, 469-482. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.04.045
- OECD (2022). "Assessing Steel Decarbonisation Progress in the Context of Excess Capacity", OECD Facilitator, Fransa.
- Özcan, A. ve Ömürbek, N. (2020). "Bir Demir Çelik İşletmesinin Performansının Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri İle Değerlendirilmesi", *IBAD Sosyal Bilimler Dergisi*, 8, 77-98. DOI: 10.21733/ibad.714295
- Özcan, B.A. (2020). "Ortak Mülkiyet Çerçevesinde İklim Değişikliği Sorununun Çözümünde Kyoto Protokolü'nün Etkisi", *Akdeniz İİBF Dergisi*, 20(2), 169-184. DOI: 10.25294/auibfd.827487

- Ruth, M., Davidsdottir, B. ve Amato, A. (2004). "Climate Change Policies and Capital Vintage Effects: The Cases of US Pulp and Paper, Iron and Steel and Ethylene", *Journal of Environmental Management*, 70(3), 235-252. DOI: 10.1016/j.jenvman.2003.11.008
- Sakamoto, T. ve Managi, S. (2016). "New Evidence of Environmental Efficiency on the Export Performance", *Applied Energy*, 185(P1), 615-626. DOI: 10.1016/j.apenergy.2016.10.126
- Shatokha, V. (2016). "Environmental Sustainability of the Iron and Steel Industry: Towards Reaching the Climate Goals", *European Journal of Sustainable Development*, 5(4), 289-300. DOI: 10.14207/ejsd.2016.v5n4p289
- Sindhvani, R., Singh, P.L., Behl, A., Afridi, M.S., Sammanit, D. ve Tiwari, A.K. (2022). "Modeling the Critical Success Factors of Implementing Net Zero Emission (NZE) and Promoting Resilience and Social Value Creation", *Technological Forecasting and Social Change*, 181, 121759. DOI: 10.1016/j.techfore.2022.121759
- Singh, P., Pradhan, V.S. ve Patil, Y.B. (2024). "Modeling Drivers and Barriers of Climate Change Mitigation Strategies in Indian Iron and Steel Industry: A TISM-Based Approach", *Management of Environmental Quality*, 35(1), 38-60. DOI: 10.1108/MEQ-04-2023-0097
- Smol, M., Marcinek, P., Duda, J. ve Szoldrowska, D. (2020). "Importance of Sustainable Mineral Resource Management in Implementing the Circular Economy (CE) Model and The European Green Deal Strategy", *Resources*, 9(5), 1-21. DOI: 10.3390/resources9050055
- Sunaryo, S., Djatmiko, E., Fariya, S., Kurt, R. ve Gunbeyaz, S. (2021). "A Gap Analysis of Ship-Recycling Practices in Indonesia", *Recycling*, 6(3), 1-18. DOI: 10.3390/recycling6030048
- T.C. Dış İşleri Bakanlığı. (2023). "Kyoto Protokolü" <https://www.mfa.gov.tr/kyoto-protokolu.tr.mfa> (Erişim Tarihi: 16.11.2023).
- Tanaka, K. (2008). "Assessment of Energy Efficiency Performance Measures in Industry and Their Application for Policy", *Energy Policy*, 36(8), 2887-2902.
- Taner, A.C. (2012). "Karbon Yakalama ve Depolama (CCS) Teknolojisi Kapsamında Son Yapılan Küresel Bilimsel Araştırma ve Geliştirme (ARGE) Faaliyetleri", *Fizik Mühendisleri Odası Yayınları*, 1-6.
- Tunçsiper, B. ve Fırat, E. (2016). "Kalkınmada Ar&Ge ve İnovasyonun Önemi; Güney Kore Örneği", *Teknoloji ve Rekabet*, 3E, 847-855.
- Vernon, R. (1966). "International Investment and International Trade in the Product Cycle", *Quarterly Journal of Economics*, 80, 190-207. DOI: 10.2307/1880689
- Wang, N., Chen, X., Wu, G., Chang, Y.C. ve Yao, S. (2018). "A Short-Term Based Analysis on the Critical Low Carbon Technologies for the Main Energy Intensive Industries in China", *Journal of Cleaner Production*, 171, 98-106. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.09.261
- World Steel Association. (2023). <https://worldsteel.org/> (Erişim Tarihi: 15.11.2023).
- World Trade Organization. (2023). <https://www.wto.org/> (Erişim Tarihi: 15.11.2023).
- Xylia, M., Silveira, S., Duerinck, J. ve Meinke-Hubeny, F. (2018). "Weighing Regional Scrap Availability in Global Pathways for Steel Production Processes", *Energy Efficiency*, 11, 1135-1159. DOI: 10.1007/s12053-017-9583-7
- Yazdani, M., Zarate, P., Kazimieras Zavadskas, E. ve Turskis, Z. (2019). "A Combined Compromise Solution (CoCoSo) Method for Multi-Criteria Decision-Making Problems", *Management Decision*, 57(9), 2501-2519. DOI: 10.1108/MD-05-2017-0458
- Yıldırım, E.C. (2023). "G-20 Ülkelerinin Ekonomik İnovasyon Performanslarının CRITIC Temelli WASPAS ve Gri İlişkisel Analiz Yöntemleriyle Karşılaştırılmalı Analizi." Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Aksaray.
- Zeng, S., Lan, Y. ve Huang, J. (2009). "Mitigation Paths for Chinese Iron and Steel Industry to Tackle Global Climate Change", *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 3(6), 675-682. DOI: 10.1016/j.ijggc.2009.06.001
- Zhang, X., Jiao, K., Zhang, J. ve Guo, Z. (2021). "A Review on Low Carbon Emissions Projects of Steel Industry in the World." *Journal of Cleaner Production*, 306, 127259. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.127259

Yeşil Tahviller ve Yenilenebilir Enerji Üretimi İlişkisi: AB Örneği

Meryem Filiz Baştürk¹ 

ÖZET

Amaç: Küresel iklim değişikliğini önlemek için birçok ekonomi yeşil projelere yapılan yatırımlara yönelmiştir. Bunlar içerisinde özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımlar ağırlıklı payı oluşturmaktadır. Ancak bu projeleri hayat geçirmede en temel problem finansman sağlama noktasında ortaya çıkmaktadır. Finansman sorununu gidermek için geliştirilen yenilikçi araçlardan biri yeşil tahvillerdir. Bu bağlamda çalışmanın amacı, yeşil tahvillerin yenilenebilir enerji üretimine etkisinin araştırılmasıdır.

Yöntem: Yeşil tahvillerin yenilenebilir enerji üretimi üzerindeki etkisi sabit etkiler modeli, rassal etkiler modeli ve Driscoll-Kraay standart hataları ile araştırılmıştır.

Bulgular: 19 AB üyesi ülke için 2016-2021 döneminde yeşil tahvillerin yenilenebilir enerji üretimi üzerinde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Özgünlük: Yeşil tahvillerin yenilenebilir enerji üretimi üzerindeki etkisini inceleyen çalışmalar literatürde oldukça kısıtlıdır. Bu çalışma yeşil tahvillerin yenilenebilir enerji üretimi üzerindeki etkisini ampirik olarak ortaya koymaktadır. Aynı zamanda ilgili alandaki kısıtlı literatüre katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yeşil Tahviller, Yeşil Finansman, Yenilenebilir Enerji, AB Ekonomileri.

JEL Kodları: Q42, Q56, C23, O16, O52.

The Relationship between Green Bonds and Renewable Energy Production: The Example of the EU

ABSTRACT

Purpose: Many economies have turned to investments in green projects to prevent global climate change. Among these, investments in renewable energy sources make up the dominant share. However, the most fundamental problem in implementing these projects arises at the financing point. One of the innovative tools developed to solve the financing problem is green bonds. The study aims to reveal whether green bonds impact renewable energy production in this context.

Methodology: The impact of green bonds on renewable energy production was investigated using a fixed effects model, a random effects model, and Driscoll-Kraay standard errors.

Findings: It was concluded that green bonds had a positive and statistically significant impact on renewable energy production in the 2016-2021 period for 19 EU member countries.

Originality: Studies examining the impact of green bonds on renewable energy production are quite limited in the literature. This study aims to reveal empirically the impact of green bonds on renewable energy production. It also contributes to the limited literature in the relevant field.

Keywords: Green Bonds, Green Finance, Renewable Energy, EU Economies.

JEL Codes: Q42, Q56, C23, O16, O52.

¹ Bursa Uludağ Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, Bursa, Türkiye

Sorumlu Yazar-Corresponding Author: Meryem Filiz Baştürk, meryemfiliz@uludag.edu.tr

DOI: 10.51551/verimlilik.1443364

Araştırma Makalesi / Research Article | Geliş / Submitted: 27.02.2024 | Kabul / Accepted: 16.05.2024

Atıf/Cite: Baştürk, M.F. (2024). "Yeşil Tahviller ve Yenilenebilir Enerji Üretimi İlişkisi: AB Örneği", *Verimlilik Dergisi*, 58(3), 325-336.

EXTENDED ABSTRACT

Because of the impact of global climate change, many economies have turned into green investments. In this process, the UN 2030 Sustainable Development Goals (SDG) adopted in September 2015 and the Paris Climate Change Agreement signed in December 2015 were decisive. The European Union (EU) went beyond these steps taken on a global scale and announced the European Green Deal in 2019. According to this agreement, the EU aims to implement a new growth strategy to reduce global climate change and make Europe the first carbon-neutral continent in 2050. Financing is one of the most fundamental problems for the EU to achieve its goals. Here, green finance comes to the fore. "Green Finance" allows resources for renewable energy projects and low-carbon companies (Hou et al., 2023). In this context, the primary purpose of green finance is to provide financial resources for green investments (especially renewable energy investments) that do not harm the environment (Chang et al., 2022). Many innovative tools, such as green bonds, green loans, and green sukuk, have been developed for this purpose. Among these, green bonds, first issued by the European Investment Bank (EIB) in 2007, have attracted the attention of researchers, especially in recent years.

This study analysed the impact of green bonds on renewable energy production for 19 EU member countries. Austria, Belgium, Denmark, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Netherlands, Poland, Portugal, Spain, Sweden and the United Kingdom are the countries included in the analysis. Fixed effects, random effects, and Driscoll-Kraay standard errors were used in the study that covered the 2016-2021 period. In December 2015, the Paris Climate Change Agreement was signed, marking the beginning of the period in 2016. In the study, green bonds were considered separately in terms of the amount of issues and the number of issues, as in the study by Alamgir and Cheng (2023).

It was concluded that the amount and number of green bond issuances increase renewable energy production. A 1% increase in green bond issue amount leads to a 0.037% increase in renewable energy production, while a 1% increase in green bond issue number leads to a 0.07% increase in renewable energy production. In this context, green bonds emerge as a tool that should be considered in the EU's goal of achieving a zero-carbon economy.

This study also has some limitations. The first limitation is that not all EU member countries can be included in the analysis because of a lack of data. Second, the effect of green bonds on renewable energy production rather than on each renewable energy source (solar, wind, geothermal, hydroelectric, biomass, wave, hydrogen) was examined. In future studies, exploring the impact of green bonds on wind and solar energy production, which have shown significant increases in recent years, will enrich the limited literature and make it possible to create a more comprehensive evaluation of the effectiveness of green bonds.

1. GİRİŞ

Günümüzde birçok ekonomi küresel iklim değişikliği nedeniyle yeşil yatırımları (özellikle yenilenebilir enerjiye yapılan yatırımlar) büyüme stratejilerinin vazgeçilmez bir unsuru olarak görmektedir. Önceden ekonomilerin temel önceliği büyüme oranlarını arttırmak iken; günümüzde bu büyümeyi çevreye zarar vermeden gerçekleştirmek önem kazanmıştır. Ekonomilerin bu politika değişiklikleri yeşil yatırımların özellikle son yıllarda artmasını sağlasa da finansal kuruluşların yeşil yatırımları gündemlerine almaları 1980'lere dayanır. Bu süreçte 1970'lerdeki petrol krizi sonrasında artan enerji fiyatları ve yapılan çevresel düzenlemeler etkili olmuştur (Weber ve EIAly, 2019: 64). Sürecin ivme kazanmasında ise Eylül 2015'te kabul edilen BM 2030 sürdürülebilir kalkınma hedefleri ve Aralık 2015'te imzalanan Paris İklim Değişikliği Anlaşması belirleyicidir.

Avrupa Birliği (AB) küresel ölçekte atılan adımların ötesine geçerek 2019 yılında Avrupa Yeşil Mutabakatını açıklamıştır. Bu mutabakata göre AB, küresel iklim değişikliğini azaltmayı temel alan yeni bir büyüme stratejisi uygulamayı ve Avrupa kıtasının 2050 yılında ilk karbon-nötr kıta olmasını hedeflemektedir (European Commission, 2019). AB'nin belirlemiş olduğu bu hedeflerle, küresel iklim değişikliğini azaltma konusunda diğer ülkelere liderlik yapma gibi bir amacı da vardır. Belirlenen hedeflerin somut bir adıma dönüşebilmesinde en temel sorun finansmanın nasıl sağlanacağıdır. Çünkü yeşil projelere yatırım yapmak diğer projelerle karşılaştırıldığında yatırımcılar açısından riskli bulunmaktadır. Ayrıca geleneksel projelerle karşılaştırıldığı zaman bu projelerin getirisi belirsizdir. Bu yüzden yeşil projelerin ihtiyaç duyduğu finansman ile var olan finansman mevcudiyeti arasında ciddi bir boşluk vardır (Bhutta ve diğerleri, 2022). Bu noktada yeşil finans ön plana çıkmakta ve ülkelerin yeşil projelere yapılan yatırımlarını geliştirmesinde bir nevi köprü görevi görmektedir. Bu durum özellikle hükümetlerin yeşil yatırımlar içerisinde ağırlıklı payı oluşturan yenilenebilir enerji projelerini desteklemek için yeterli sermaye birikimine sahip olmadığında geçerlidir. Yeşil finans, bir tarafta yeşil projelerin sayısının artmasını sağlarken; diğer tarafta özel sektörün yeşil projelere daha fazla kaynak aktarmasını sağlar (Sun ve diğerleri, 2023).

Net bir tanımı olmayan yeşil finans, çoğu zaman iklim finansmanı ve sürdürülebilir finans kavramları ile karıştırılır. Temelde üç kavram da yeşil yatırımların finansmanı için kullanılır. Ancak aralarında kapsam farkı vardır. Üç kavram içerisinde en dar kapsamlı olan iklim finansmanı sadece iklim değişikliğinin etkilerine odaklanır. Yeşil finans, Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerinin (SDG) çevre ile ilgili olanlarını gerçekleştirmeyi amaçlayan finansal akımları kapsar. En geniş kapsama sahip olan sürdürülebilir finans ise finansal akımların çevresel faktörler yanında Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerinin (SDG) sosyal, ekonomik ve yönetsimsel faktörlerine de kanalize olmasını içerir (Berrou ve diğerleri, 2019: 13; UNEP, 2016: 10-11).

Yeşil finans, adından da anlaşıldığı üzere, hem "yeşil" hem de "finans" sözcüklerinin karakteristik özelliklerini taşır (Hou ve diğerleri, 2023). "Finans", geleneksel anlamda fon fazlası bulunan ekonomik birimlerden fon açığı bulunan ekonomik birimlere kaynakların aktarımını ifade eder (Mishkin, 2004: 23). "Yeşil", çevreyle ilişkili yeşil alanlara odaklanılması gerektiğini belirtir. "Yeşil finans" ise kaynakların yenilenebilir enerji projelerine ve düşük karbon emisyonlu şirketlere tahsis edilmesini sağlar (Hou ve diğerleri, 2023). Bu bağlamda yeşil finansmanın temel amacı, çevreye zarar vermeyen yeşil yatırımlara (bunlar içerisinde özellikle yenilenebilir enerji yatırımlarına) finansal kaynak sağlamaktır (Chang ve diğerleri, 2022). Bunun için yeşil tahvil, yeşil kredi, yeşil sukuk gibi birçok araç geliştirilmiştir. İlerleyen yıllarda bu araçlara yeni inovatif araçların eklenmesi de muhtemeldir. Ancak bunlar içerisinde 2007 yılında ilk olarak Avrupa Yatırım Bankası tarafından 600 milyon avro olarak ihraç edilen yeşil tahviller başı çekmektedir (IRENA, 2020: 8). Gün geçtikçe yatırımcıların ilgisinin arttığı yeşil tahvil ihracı 2016 yılında 95,1 milyar \$, 2017'de 163,1 milyar \$, 2019'da 257 milyar dolar, 2020'de 269,5 milyar \$ olarak gerçekleşmiştir (REN-21, 2017; REN-21, 2018; REN-21, 2020; REN-21, 2021). Özellikle son yıllarda yeşil tahvil ihracında kayda değer artışlar yaşanmıştır. Bu durum yeşil tahvillerin etkinliklerinin değerlendirilmesini kaçınılmaz hale getirmektedir.

Bu çalışmada yeşil tahvillerin yenilenebilir enerji üretimine etkisi 19 AB üyesi ülkede 2016-2021 dönemi için için sabit etkiler modeli, rassal etkiler modeli ve Driscoll-Kraay standart hataları ile incelenmiştir. Ele alınan dönemin 2016'dan başlamasında 2015 Aralık ayında imzalanan Paris İklim Değişikliği anlaşması belirleyici olmuştur. Bu çalışma literatüre iki alanda katkı sağlamayı amaçlamaktadır. İlk olarak, yeşil yatırımların finansman açığını kapatmak için geliştirilen yeşil tahvillerin, yeşil yatırımlar içerisinde ağırlıklı paya sahip olan yenilenebilir enerji üretimi üzerinde bir etkisinin olup olmadığını ortaya koymaktır. Literatürde yeşil tahvillerin yenilenebilir enerji üretimi üzerindeki etkisini inceleyen çalışmalar oldukça kısıtlıdır. Dolayısıyla ikinci olarak bu çalışma ilgili alandaki kısıtlı literatürü zenginleştirmeyi amaçlamaktadır.

Çalışmanın geri kalanı şu şekilde organize edilmiştir. İkinci bölümünde literatür taramasına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde veri seti ve yöntem ele alınmıştır. Dördüncü bölümde ampirik sonuçlar sunulmuştur. Sonuç bölümünde elde edilen ampirik sonuçlar yorumlanmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Literatürde yeşil finansın ya da yeşil finansı göstermek üzere kullanılan yeşil tahvillerin, yenilenebilir enerji üretimi üzerindeki etkisini inceleyen çalışmaların sayısı oldukça kısıtlıdır. Ancak bu kısıtlı literatür, özellikle son yıllarda yapılan çalışmalarla birlikte artış göstermiştir. Literatürde yapılan çalışmalarda söz konusu ilişki ya dünya çapında ülkeler ele alınarak incelenmiş, ya belirli ülke grupları (OECD gibi) için analiz yapılmış ya da tekil ülke bağlamında değerlendirilmiştir. Örneğin, Alamgir ve Cheng (2023) tarafından 2007-2021 döneminde 67 ülke için yapılan çalışmada, yeşil tahviller ile yenilenebilir enerji üretimi arasında pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunmuştur. Çalışmada ayrıca iki alt dönem (2015 öncesi ve sonrası) için analiz yapılmıştır. İki alt dönemin ayrılmasında 2015 yılında imzalanan Paris Anlaşması'nın belirleyici olduğu ifade edilmiştir. 2015 öncesinde yeşil tahvillerin yenilenebilir enerji üretimi üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi bulunmazken, 2015 sonrasında istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Hou ve diğerleri (2023) tarafından yapılan çalışmada ise dünya çapında 53 ülke seçilmiş ve 2000-2021 dönemi ele alınmıştır. Çalışmada yenilenebilir enerji gelişiminin yeşil finansın pozitif etkilendiği belirtilmiştir. Ayrıca 53 ülke kendi içerisinde üç gruba ayrılarak (gelişmiş, yükselen piyasa ekonomileri ve gelişmekte olan ülkeler) analiz gerçekleştirilmiştir. Gelişmiş ve yükselen piyasa ekonomilerinde yeşil finansın yenilenebilir enerji gelişimine pozitif katkı sağladığı bulgusu elde edilmiştir. Dünya çapında analiz yapan bir başka çalışmada (Alharbi ve diğerleri 2023), 44 ülkede 2007-2020 döneminde yeşil tahvillerin yenilenebilir enerji üretimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Yeşil tahvillerin yenilenebilir enerji üretimini hem kısa, hem uzun dönemde geliştirdiği bulunmuştur.

Tekil ülke bağlamında yapılan çalışmalarda ise Çin gibi enerji ihtiyacı fazla olan yükselen piyasa ekonomileri üzerine yapılan çalışmalar göze çarpmaktadır. Örneğin, Lee ve diğerleri (2023) tarafından Çin için yapılan çalışmada, yeşil finansın yenilenebilir enerjinin gelişimine katkı sağladığı belirtilmiştir. Ayrıca yeşil finansın, yeni yenilenebilir enerji kaynakları (rüzgâr ve güneş enerjisi gibi) ile geleneksel yenilenebilir enerji kaynakları (hidroelektrik enerji gibi) üzerindeki etkisi incelenmiş ve yeni yenilenebilir enerji kaynaklarını (rüzgâr ve güneş enerjisi gibi) geliştirmede daha etkili olduğu vurgulanmıştır. Zheng ve diğerleri (2023) tarafından Çin ile ilgili yapılan bir başka çalışmada, 2005-2018 döneminde yeşil finans ile yenilenebilir enerji gelişimi arasındaki ilişki incelenmiştir. 30 eyaleti kapsayan çalışmada, kısa dönemde yeşil finansın yenilenebilir enerji gelişimini desteklemediği, ancak uzun dönemde hem tüm örneklerde hem de doğu ile merkez eyaletlerde desteklediği sonucuna ulaşılmıştır.

Bu çalışmada AB üyesi ülkelerde yeşil tahvillerin yenilenebilir enerji üretimi üzerindeki etkisi incelenmektedir. Böylece kısıtlı olan literatüre AB üyesi ülkeler özelinde ampirik katkı sunarak bu alandaki boşluğa katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Ayrıca yenilenebilir enerji projelerini finanse etmek için geliştirilmiş yenilikçi bir araç olan yeşil tahvillerin etkinliği değerlendirilmektedir.

3. VERİ SETİ ve YÖNTEM

3.1. Veri Seti

Bu çalışmada yeşil tahvillerin yenilenebilir enerji üretimi üzerindeki etkisi 2016-2021 döneminde 19 AB üyesi ülke (Avusturya, Belçika, Danimarka, Finlandiya, Fransa, Almanya, Yunanistan, Macaristan, İrlanda, İtalya, Letonya, Litvanya, Lüksemburg, Hollanda, Polonya, Portekiz, İspanya, İsveç, Birleşik Krallık) için araştırılmıştır. Dönemin 2016'dan başlamasında 2015 Aralık ayında imzalanan Paris İklim Değişikliği Anlaşması belirleyici olmuştur.

Çalışmada kullanılan değişkenler ve elde edildikleri kaynaklar Tablo 1'de yer almaktadır. Çalışmada yer alan tüm değişkenlerin doğal logaritması kullanılmıştır.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan değişkenler

<i>Değişkenler</i>	<i>Kod</i>	<i>Kaynak</i>
Yenilenebilir Enerji Üretimi	InREN	BP (2022)
Yeşil Tahvil	InGB	Refinitiv Eikon Database (2023)
Kişi başı reel GSYİH (ABD Doları cinsinden-2015 yılı sabit fiyatlarıyla)	InGDP	World Bank (2023)
Toplam Nüfus	InPOP	World Bank (2023)

3.2. Yöntem

Ekonometrik analizlerde panel veri sıklıkla kullanılmaktadır. Bunun nedeni panel veri analizinin, zaman serisi ve yatay-kesit analizlerine göre bazı üstünlükler taşımasıdır. İlk olarak panel veri hem zaman hem yatay kesit boyutunu kapsadığı için daha büyük bir veri seti sunar. Böylece serbetslik derecesi artar ve açıklayıcı değişkenler arasındaki çoklu doğrusal bağlantı sorunu azalır. İkinci olarak, yatay-kesit veya zaman serisi verisi tarafından ele alınmayan birçok ekonomik sorunun cevap bulmasını ve daha kapsamlı modellerin oluşturulmasını ve test edilmesini sağlar (Hsiao, 2003: 3-5).

Panel veri analizinde kullanılacak ekonometrik yöntemler zaman boyutunun uzunluğu veya kısıllığına göre farklılık gösterir. Zaman boyutunun kısa olduğu durumda serilerin durağan dışılığı sorun oluşturmaz. Bu yüzden birim kök, eşbütünleşme analizi yapmaya gerek yoktur (Baltagi, 2013: 14). Zaman boyutunun kısa olduğu mikro panellerde en yaygın kullanılan tahmin yöntemleri Sabit Etkiler ve Rassal Etkiler Modelleridir.

3.2.1. Sabit Etkiler Modeli

Sabit etkiler modelinde, eğim parametreleri tüm yatay kesit birimler için aynıdır. Sabit parametre ise birim etkisi içerdiği için birimden birime farklılık gösterir. Burada birimler arasındaki farklılıklar sabit terimdeki farklılıklarla gösterildiğinden, her bir yatay kesit için sabit terim değişmektedir (Yerdelen Tatoğlu, 2018: 80). Sabit Etkiler Modeli Eşitlik 1'deki gibi gösterilebilir (Baltagi, 2013: 15).

$$Y_{it} = (a_i + \mu_i) + \beta X_{it} + v_{it} \quad i = 1 \dots n, \quad T = 1 \dots T \quad (1)$$

Burada, i , yatay kesit boyutunu; t , zaman boyutunu gösterir. Y_{it} , bağımlı değişkeni; a_i , sabit parametreyi; X_{it} , bağımsız değişkenleri; μ_i , gözlenemeyen birimlere özgü etkiyi; v_{it} , hata terimi ($v_{it} \sim \text{IID}(0, \sigma_v^2)$) ve β , eğim parametrelerini ifade eder.

3.2.2. Rassal Etkiler Modeli

Rassal etkiler modelinde, birim etkisi ile açıklayıcı değişkenler arasındaki korelasyonun sıfır olduğu varsayımı geçerlidir (Yerdelen Tatoğlu, 2018: 79). Rassal etkiler modelinin (Eşitlik 2) sabit etkiler modeline göre üstünlüğü, μ_i rassal kabul edilirse serbestlik derecesi kaybından kaçınılabilmesidir. Çünkü sabit etkiler modelinde çok fazla parametre vardır (Baltagi, 2013: 20).

$$Y_{it} = \alpha + \beta_1 X_{1it} + \beta_2 X_{2it} + \dots + \beta_k X_{kit} + v_{it} \quad (2)$$

Burada i , yatay kesit boyutunu; t , zaman boyutunu gösterir. Y_{it} , bağımlı değişkeni; α , sabit parametreyi; X_{it} , bağımsız değişkenleri; v_{it} , hata terimi ($v_{it} \sim \text{IID}(0, \sigma_v^2)$) ve β , eğim parametrelerini ifade eder. Rassal etkiler modelinde, sabit etkiler modelinden farklı olarak birim etkisi sabit değil, tesadüfidir. Bu yüzden hata payı içindedir. Bu durumda hata terimi Eşitlik 3'teki gibidir (Yerdelen Tatoğlu, 2018: 103).

$$v_{it} = \mu_i + u_{it} \quad (3)$$

Burada μ_i , zamana bağlı olmayan ve kesitten kesite farklılık gösteren, gözlenemeyen birimlere özgü etkiyi; u_{it} , zaman ve kesite göre değişebilen, stokastik hata terimini gösterir. Bu durumda rassal etkiler modelinde hata terimi iki bileşenli ($u_{it} + \mu_i$) hale gelir. Burada hem $\mu_i \sim \text{IID}(0, \sigma_v^2)$, hem $u_{it} \sim \text{IID}(0, \sigma_v^2)$ varsayımı geçerlidir (Baltagi, 2013: 20).

3.2.3. Model

Bu çalışmada Khan ve diğerleri (2022) ile Alharbi ve diğerleri (2023) takip edilerek aşağıda yer alan iki model tahmin edilmiştir (Eşitlik 4 ve 5). İki ayrı model tahmin edilmesinin nedeni, yeşil tahvillerin Alamgir ve Cheng (2023) tarafından yapılan çalışmada olduğu gibi hem ihraç tutarı hem de ihraç sayısı olarak ayrı ayrı dikkate alınmasıdır.

$$\text{Model-1: } \ln REN_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln GB_{it}(\text{ihraç tutarı}) + \beta_2 \ln GDP_{it} + \beta_3 \ln POP_{it} + u_{it} \quad (4)$$

$$\text{Model-2: } \ln REN_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln GB_{it}(\text{ihraç sayısı}) + \beta_2 \ln GDP_{it} + \beta_3 \ln POP_{it} + u_{it} \quad (5)$$

Model-1 ve Model-2'de bağımlı değişken olarak yer alan REN, yenilenebilir enerji üretimini göstermektedir. Bağımsız değişkenler ise yeşil tahviller, kişi başı reel GSYİH ve toplam nüfustur. Yeşil tahviller dışındaki bağımsız değişkenler kontrol değişkeni olarak modellere dahil edilmiştir. Çalışmanın temel motivasyonu yeşil tahvillerin yenilenebilir enerji üretimini artırıp artırmadığı sorusuna cevap bulmak olduğundan, yeşil tahviller Model-1'de ihraç tutarı (ABD Doları) olarak analizde yer alırken, Model-2'de ihraç sayısı olarak yer almaktadır.

Bağımsız değişkenlerden yeşil tahvillerin bağımlı değişken olan yenilenebilir enerji üretimini artırması beklenmektedir. Kontrol değişkeni olarak modele dahil edilen gelirin yenilenebilir enerji üretimi üzerinde pozitif ve negatif olmak üzere iki etkisi bulunmaktadır. Pozitif etkiye göre, yüksek gelir çevreye duyarlılığı ile ön plana çıkan yenilenebilir enerjiye daha fazla kaynak akmasını sağlar. Negatif etkiye göre ise, yüksek gelir ek enerji tüketimini artırarak fosil kaynaklara olan talebi canlı tutar (Marques ve diğerleri, 2011: 354). Son olarak nüfus değerlendirildiğinde ise, yükselen nüfus enerji talebini arttırdığı için, bu durum yenilenebilir enerji üretimini artırır (Alharbi ve diğerleri, 2023: 6). Bu çalışmada araştırılan hipotez ise aşağıdaki gibidir.

H₁: Yeşil tahviller yenilenebilir enerji üretimini artırır.

4. BULGULAR

Yeşil tahvillerin yenilenebilir enerji üretimi üzerindeki etkisi iki ayrı model ile incelenmiştir. İlk olarak Model-1'de yeşil tahvillerin ihraç tutarı dikkate alınarak tahmin yapılmıştır. Model-2'de ise yeşil tahvillerin ihraç sayısı göz önünde bulundurulmuştur. Her iki model de sabit etkiler ve rassal etkiler ile tahmin edilmiştir. İki modele ait tahmin sonuçları Tablo 3 ve Tablo 4'te yer almaktadır. Tablo 2'de ise değişkenlere ait tanımlayıcı istatistikler gösterilmektedir. Tanımlayıcı istatistiklere bakıldığında, analiz kapsamındaki ülkelerin yenilenebilir enerji üretiminin ortalamasının 9,693 (minimum: 5,703 - maksimum: 12,353) olduğu görülmektedir. Yeşil tahvil ihraç tutarı ve sayısını gösteren değişkenlerin ortalamaları sırasıyla 21,922 (minimum: 16,896 - maksimum: 25,027) ve 2,241 (minimum: 0 - maksimum: 5,509) değerlerini almaktadır. Kontrol değişkeni olarak analizde yer alan kişi başı reel GSYİH'nin ortalaması 10,430 (minimum: 9,467 - maksimum: 11,593), bir diğer kontrol değişkeni olan nüfusun ortalaması ise 16,311 (minimum: 13,274 - maksimum: 18,236) olarak gerçekleşmiştir. En yüksek standart sapmanın yeşil tahvil ihraç tutarında gerçekleştiği, en düşük standart sapmanın ise kişi başı reel GSYİH değişkenine ait olduğu görülmektedir.

Tablo 2. Tanımlayıcı istatistikler

<i>Değişkenler</i>	<i>Ortalama</i>	<i>Standart Sapma</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maksimum</i>
Yenilenebilir Enerji Üretimi	9,693	1,496	5,703	12,353
Yeşil Tahvil ihraç tutarı	21,922	1,730	16,896	25,027
Yeşil Tahvil ihraç sayısı	2,241	1,414	0	5,509
Kişi başı reel GSYİH	10,430	0,572	9,467	11,593
Nüfus	16,311	1,303	13,274	18,236

Tablo 3. Model -1 panel regresyon sonuçları

<i>Bağımlı Değişken:</i>	<i>Sabit Etkiler</i>	<i>Rassal Etkiler</i>	<i>Sabit Etkiler Driscoll-Ki</i>
<i>InREN</i>	<i>Modeli</i>	<i>Modeli</i>	
InGB (ihraç tutarı)	0,037** (0,017)	0,063*** (0,002)	0,037** (0,033)
InGDP	0,422 (0,233)	0,471* (0,051)	0,422 (0,371)
InPOP	10,769*** (0,000)	1,090*** (0,000)	10,769*** (0,000)
Sabit Terim	-172,405*** (0,000)	-14,337*** (0,000)	-172,405*** (0,000)
R ²	0,849	0,884	
F istatistik	36,72 (0,000)		76,54 (0,000)
Wald istatistik		100,94 (0,000)	
Dirençli Hausman Testi	23,88 (0,000)		

Not: Parantez içindeki değerler olasılık değerlerini göstermektedir. *** p < 0,01, ** p < 0,05, * p < 0,10.

Sabit etkiler ve rassal etkiler ile tahmin edilen Model-1'de ilk olarak otokorelasyon (AC) sorunu olup olmadığı kontrol edilmiştir. Bunun için Wooldridge (2002) Testi yapılmıştır. Wooldridge (2002) test sonucuna (p-değeri = 0,000) göre, otokorelasyon olmadığını belirten H_0 hipotezi (H_0 : Hata teriminde otokorelasyon yoktur) reddedilmektedir. Ardından heteroskedastisite sorunu olup olmadığına bakmak için sabit etkiler modelinde Wald testi yapılmıştır. Değiştirilmiş Wald testi (Modified Wald test) sonucuna (p-değeri = 0,000) göre, heteroskedastisite olmadığını ifade eden H_0 hipotezi (H_0 : Varyanslar birimlere göre homoskedastiktir) reddedilmektedir. Birimlere göre heteroskedastisite sorunu vardır. Rassal etkiler modelinde heteroskedastisite sorununu test etmek için Levene (1960), Brown ve Forsythe (1974), testleri yapılmıştır. Test sonucuna göre (p-değeri = 0,000) H_0 hipotezi reddedilmektedir, heteroskedastisite vardır. Sabit etkiler ve rassal etkiler ile tahmin edilen Model-1'de AC ve HC sorunu vardır. Baltagi, (2013: 1) tarafından da ifade edildiği üzere zaman boyutunun kısa (T'nin 20 altında) olduğu mikro panellerde yatay kesit bağımlılığı önemli bir sorun oluşturmaz. Ancak yine de yatay kesit bağımlılığını kontrol etmek için Pesaran CD (2015) testi yapılmıştır. Hem sabit etkiler modeline göre (p-değeri = 0,000), hem rassal etkiler modeline göre (p-değeri = 0,000) H_0 hipotezi (H_0 : zayıf yatay kesit bağımlılık vardır) reddedilmektedir. Sabit etkiler ve rassal etkiler ile tahmin edilen Model-1'de aynı zamanda yatay kesit bağımlılığı (CD) sorunu da vardır.

Çalışmada sabit etkiler modelinin mi yoksa rassal etkiler modelinin mi uygun olduğuna ise Hausman (1978) testi ile karar verilmiştir. Ancak Hausman testi AC ve HC olduğunda geçerli olmaz. Bu durumda dirençli Hausman testi yapılması gerekir. Bu nedenle çalışmada dirençli Hausman testi yapılmıştır. Dirençli

Hausman test sonucuna göre (p -değeri = 0,000) Model-1'de sabit etkilerin kullanılması uygundur. Ancak sabit etkiler modelinde AC, HC ve CD sorunu olduğu için, Model-1, Hoechle (2007) tarafından önerilen HC, AC ve CD problemlerine dirençli Driscoll-Kraay (1998) standart hataları ile tahmin edilmiştir.

Model-1'de yer alan tüm değişkenlerin doğal logaritması alınmıştır. Bu nedenle elde edilen tahmin katsayıları elastikiyet olarak yorumlanabilir (Apergis ve Payne, 2010: 658). Driscoll-Kraay standart hataları ile tahmin edilen sabit etkiler modeline göre, yeşil tahvil ihraç tutarındaki %1'lik artış, yenilenebilir enerji üretimini %0,037 arttırmaktadır. Yeşil tahvil ihraç tutarı yenilenebilir enerji üretimini %5 anlamlılık düzeyinde ($\beta_1 = 0,037$, $p = 0,033$) pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı etkilemektedir. Çalışmada kontrol değişkeni olarak yer alan kişi başı reel GSYİH'nin, yenilenebilir enerji üretimi üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi yoktur. Bir diğer kontrol değişkeni olarak yer alan nüfus ise yenilenebilir enerji üretimi üzerinde istatistiksel olarak pozitif ve anlamlı bir etkiye sahiptir.

Tablo 4. Model-2 panel regresyon sonuçları

Bağımlı Değişken:	Sabit Etkiler Modeli	Rassal Etkiler Modeli	Sabit Etkiler Driscoll-Kraay
<i>InREN</i>			
InGB (ihraç sayısı)	0,070*** (0,001)	0,126*** (0,000)	0,070*** (0,000)
InGDP	0,160 (0,646)	0,311 (0,166)	0,160 (0,682)
InPOP	9,360*** (0,000)	1,054*** (0,000)	9,360*** (0,000)
Sabit Terim	-145.815*** (0,000)	-10.973*** (0,001)	-145.815*** (0,001)
R ²	0,847	0,882	
F-istatistik	42,08 (0,000)		107,42 (0,000)
Wald istatistik		140,28 (0,000)	
Dirençli Hausman Testi	14,26 (0,002)		

Not: Parantez içindeki değerler olasılık değerlerini göstermektedir. *** $p < 0,01$, ** $p < 0,05$, * $p < 0,10$.

Yeşil tahvil ihraç sayısının bağımsız değişken olarak yer aldığı Model-2'nin tahmin sonuçları Tablo 4'te yer almaktadır. Model-2 sabit etkiler ve rassal etkiler ile tahmin edilmiştir. Burada da Model-1'de takip edilen adımlar sırasıyla izlenmiştir. İlk olarak Wooldridge (2002) otokorelasyon (AC) testi yapılmıştır. Wooldridge (2002) test sonucuna (p -değeri = 0,000) göre, otokorelasyon olmadığını belirten H_0 hipotezi reddedilmektedir. Ardından heteroskedastisite sorunu olup olmadığına bakmak için sabit etkiler modelinde Wald test yapılmıştır. Değiştirilmiş Wald testi (Modified Wald test) sonucuna (p -değeri = 0,000) göre, heteroskedastisite olmadığını ifade eden H_0 hipotezi reddedilmiştir. Rassal etkiler modelinde heteroskedastisite sorunu Levene (1960), Brown ve Forsythe (1974), testleri ile kontrol edilmiştir. Test sonucuna göre (p -değeri = 0,001) H_0 hipotezi reddedilmiştir. Hem sabit etkiler hem rassal etkiler ile tahmin edilen Model-2'de yatay kesit bağımlılığının test edimesinde Pesaran (2015) CD testi kullanılmıştır. Sabit etkiler modeline göre (p -değeri = 0,001) H_0 hipotezi reddedilmiştir. Rassal etkiler modeline göre (p -değeri = 0,145) H_0 hipotezi reddedilmemiştir. Sabit etkiler modelinde yatay kesit bağımlılığı (CD) sorunu vardır.

Model-2'de hem AC hem HC sorunu olduğu için sabit etkiler modelinin mi / rassal etkiler modelinin mi uygun olduğuna dirençli Hausman testi ile karar verilmiştir. Dirençli Hausman test sonucuna göre (p -değeri = 0,002) model-2'de sabit etkilerin kullanılması uygundur. Ancak sabit etkiler modelinde AC, HC ve CD sorunları var olduğu için Model-2, Hoechle (2007) tarafından önerilen AC, HC ve CD problemlerine dirençli Driscoll-Kraay (1998) standart hataları tahmin edilmiştir.

Driscoll-Kraay standart hataları ile tahmin edilen sabit etkiler modeline göre, yeşil tahvil ihraç sayısı yenilenebilir enerji üretimini %1 anlamlılık düzeyinde ($\beta_1 = 0,070$, $p = 0,000$) pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı etkilemektedir. Model-2'de yeşil tahvil ihraç sayısındaki %1'lik artışın yenilenebilir enerji üretimini %0,07 arttırdığı görülmektedir. Kişi başı reel GSYİH Model-1'de olduğu gibi yenilenebilir enerji üretimi üzerinde herhangi bir etkiye sahip değildir. Model-2'de bir diğer kontrol değişkeni olarak yer alan nüfus ise yenilenebilir enerji üretimini arttırmaktadır.

Hem Model-1'de, hem Model-2'de yeşil tahviller yenilenebilir enerji üretimini arttırmaktadır. Yeşil tahvil ihraç tutarının dikkate alındığı Model-1'de bu etki %0,03; yeşil tahvil ihraç sayısının dikkate alındığı Model-2'de ise etki %0,07'dir. Literatürde söz konusu ilişkiyi dünya çapında ele alan Alamgir ve Cheng (2023); Hou ve diğerleri (2023); Alharbi ve diğerleri (2023), tarafından yapılan çalışmalarda da benzer sonuçlar bulunmuş

ve yeşil finansın ya da yeşil finansı temsil etmek üzere kullanılan yeşil tahvillerin yenilenebilir enerji üretimini desteklediği belirtilmiştir.

Bu çalışmada tahmin edilen her iki modelde yeşil tahvillerin yenilenebilir enerji üretimi üzerindeki pozitif etkisinin çok yüksek bulunmamasında bazı faktörlerin etkili olduğu düşünülmektedir. İlk olarak, “yeşil yıkama”² olarak adlandırılan durumun ortaya çıkma ihtimali vardır. Böylece kaynaklar yeşil olmayan projelere aktarılmış olur (Alamgir ve Cheng, 2023). Bu konudaki yasal düzenleme eksiklikleri sorunun temel kaynağı gibi görülmektedir (Fatica ve Panzica, 2021). Her ne kadar yeşil tahviller ihraç edilirken Yeşil Tahvil İlkeleri, iklim tahvilleri standardı, Yeşil Tahvil Standartları gibi belirli uluslararası standartlar dikkate alınsa da (Azhgaliyeva, 2021: 1) “yeşil yıkama” problemi tam olarak çözülebilmemiş değildir. Şeffaflığın ve hesap verilebilirliğin artması “yeşil yıkama” problemini azaltır. Ayrıca yeşil tahvil piyasasının büyümesine de katkı sağlar (Bhutta ve diğerleri, 2022). İkinci olarak, yeşil tahviller göstermiş oldukları potansiyele ve özellikle son yıllarda ihraç miktarlarındaki kayda değer artışa rağmen, geleneksel tahvil piyasasıyla karşılaştırıldığında halen “niş” bir piyasa olarak kalmaktadır (Griffith-Jones ve diğerleri, 2012: 29; Alamgir ve Cheng, 2023).

5. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Küresel iklim değişikliği birçok ekonominin büyüme stratejisinde yeşil projelere yapılan yatırımlara bunlar içerisinde özellikle yenilenebilir enerji yatırımlarına öncelik vermesine yol açmıştır. Bu konuda AB'nin diğer ülkelere liderlik yapma gibi bir amaç taşıdığı da belirtilebilir. Zira AB, Avrupa Yeşil Mutabakatında belirlemiş olduğu yeni büyüme stratejisi ile Avrupa kıtasının 2050 yılında ilk karbon-nötr kıta olmasını hedeflemektedir. Ancak hedeflere ulaşma konusunda en temel problemi finansman oluşturmaktadır. Burada yeşil tahviller yenilenebilir enerji projelerini finanse etmek için geliştirilmiş yenilikçi bir araç olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu çalışmada yeşil tahvil ihraç tutarı ile yeşil tahvil ihraç sayısının yenilenebilir enerji üretimi üzerindeki etkisi 19 AB üyesi ülkede 2016-2021 dönemi için sabit etkiler modeli, rassal etkiler modeli ve Driscoll-Kraay standart hataları ile incelenmiştir. Hem yeşil tahvil ihraç tutarının hem yeşil tahvil ihraç sayısının yenilenebilir enerji üretimini arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Yeşil tahvil ihraç tutarındaki %1'lik artış, yenilenebilir enerji üretimini %0,03; yeşil tahvil ihraç sayısındaki %1'lik artış yenilenebilir enerji üretimini %0,07 arttırmaktadır. Her iki modelde de kontrol değişkeni olarak dahil edilen kişi başı reel GSYİH yenilenebilir enerji üretimi üzerinde herhangi bir etkiye sahip değildir. Her iki modelde bir diğer kontrol değişkeni olarak yer alan nüfus ise yenilenebilir enerji üretimini istatistiksel olarak pozitif ve anlamlı etkilemektedir. Yani nüfusta gerçekleşen artışlar yenilenebilir enerji üretimine katkı sağlar.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar literatürde yapılan kısıtlı çalışmaları da destekleyici kanıtlar sunmaktadır. Mesela Hou ve diğerleri (2023) tarafından yapılan çalışmada, yeşil finanstaki %1 artışın yenilenebilir enerji üretimini %0,533 arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Alamgir ve Cheng (2023) tarafından yapılan çalışmada, yeşil tahviller ile yenilenebilir enerji üretimi arasında pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunmuştur. Alharbi ve diğerleri (2023), yeşil tahvillerin yenilenebilir enerji üretimini hem kısa hem uzun dönemde geliştirdiğini belirtmiştir.

Yenilenebilir enerji kaynakları iklim değişikliği ile savaşta büyük rol oynadığı için bu kaynakların temel yatırım alanlarından biri haline gelmesi kaçınılmazdır. Ancak burada finansman sorunu önemli problemlerden biri olarak ortaya çıkmaktadır. Yeşil tahviller bu finansman sorununu gidermek için geliştirilen araçlardan biridir. AB üyesi ülkeler özelinde yapılan bu çalışmada, yeşil tahvillerin yenilenebilir enerji üretimi üzerinde pozitif bir etki yarattığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu bağlamda yeşil tahvil piyasasının gelişmesi için gerekli düzenlemelerin yapılması piyasasının derinleşmesine katkı sağlarken, aynı zamanda yeşil tahvil piyasasının önünde büyük engel oluşturan “yeşil yıkama” problemine çözüm oluşturabilir. Zira yeşil tahviller AB'nin sıfır karbon ekonomisine ulaşma hedefinde dikkate alınması gereken bir araç olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu çalışma bazı kısıtları da içerisinde barındırmaktadır. Kısıtlardan ilki tüm AB üyesi ülkelerin veri eksikliğinden dolayı analize dahil edilememesidir. İkincisi ise yeşil tahvillerin her bir yenilenebilir enerji kaynağı (güneş, rüzgâr, jeotermal, hidroelektrik, biyokütle, dalga, hidrojen) üzerindeki etkisinden ziyade genel olarak yenilenebilir enerji üretimi üzerindeki etkisine bakılmıştır. İleriki çalışmalarda yeşil tahvillerin özellikle son yıllarda kayda değer artışlar gösteren rüzgâr ve güneş enerjisi üretimi üzerindeki etkisinin incelenmesi hem kısıtlı literatürü zenginleştirecek hem de yeşil tahvillerin etkinliğine dair daha kapsamlı değerlendirme yapmayı mümkün hale getirecektir.

² Yeşil Yıkama: Şirketlerin çevre dostu ürünlere olan ilgiden yararlanmak için, yürütmüş oldukları çevresel faaliyetleri ile ilgili yanlış bilgilendirme yaparak, kendilerini çevre dostu tanıtımları şeklinde ifade edilebilir (Xing ve diğerleri, 2021; Ruiz-Blanco ve diğerleri, 2022; De Silva Lokuwaduge ve De Silva, 2022).

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

- Alamgir, M. ve Cheng, M.C. (2023). "Do Green Bonds Play a Role in Achieving Sustainability?", *Sustainability*, 15(10177), 1-27.
- Alharbi, S.S., Mamun, M.A., Boubaker, S. ve Rizvi, S.K.A (2023). "Green Finance and Renewable Energy: A Worldwide Evidence. *Energy Economics*, 118, 1-19.
- Apergis, N. ve Payne, J.E. (2010). "Renewable Energy Consumption and Economic Growth: Evidence from a Panel of OECD Countries", *Energy Policy*, 38(1), 656–60.
- Azhgaliyeva, D. (2021). "Green Islamic Bonds", Asian Development Outlook 2021 Background Note, <https://www.adb.org/documents/asian-development-outlook-2021-background-papers>, (Erişim Tarihi: 29.09.2022).
- Baltagi, B. H. (2013). "Econometric Analysis of Panel Data", Fifth Edition, England: John Wiley& Sons, Ltd.
- Berrou, R., Ciampoli, N., ve Marini, V. (2019). "Defining Green Finance: Existing Standards and Main Challenges", *The Rise of Green Finance in Europe Opportunities and Challenges for Issuers, Investors and Marketplaces* (Editör: Migliorelli, M. ve Dessertine, P.), Switzerland: Palgrave Macmillian, 31-51.
- Bhutta, U.S., Tariq, A., Farrukh, M., Raza, A. ve Iqbal, M.K. (2022). "Green Bonds for Sustainable Development: Review of Literature on Development and Impact of Green Bonds", *Technological Forecasting & Social Change*, 175, 1-16.
- BP (2022). "Statistical Review of World Energy All-Data", <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/power-by-fuel.html> (Erişim Tarihi: 02.12.2022).
- Brown, M.B. ve Forsythe, A.B. (1974). "Robust Tests for the Equality of Variances", *Journal of the American Statistical Association*, 69(346), 364-367.
- Chang, L., Taghizadeh – Hesary, F., Chen, H. ve Mohsin, M. (2022). "Do Green Bonds have Environmental Benefits?", *Energy Economics*, 115, 1-12.
- De Silva Lokuwaduge, C.S. ve De Silva, K.M. (2022). "ESG Risk Disclosure and the Risk of Green Washing", *Australasian Accounting, Business and Finance Journal*, 16(1), 146-159.
- Driscoll, J. C. ve Kraay, A.C. (1998). "Consistent Covariance Matrix Estimation with Spatially Dependent Panel Data", *Review of Economics and Statistics*, 80(4), 549–59.
- European Commission (2019). "The European Green Deal", *Communication from the Commission COM(2019) 640 Final*, 11.12.2019, Brussels, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1596443911913&uri=CELEX:52019DC0640#document2> (Erişim Tarihi: 25 Haziran 2020).
- Fatica, S. ve Panzica, R. (2021). "Green Bonds as a Tool Against Climate Change?", *Business Strategy and the Environment*, 30, 2688-2701.
- Griffith-Jones, S., Ocampo, J.A. ve Spratt, S. (2012). "Financing Renewable Energy in Developing Countries: Mechanisms and Responsibilities", European Report on Development, http://policydialogue.org/files/publications/Financing_Renewable_Energy_in_Developing_Countries.pdf (Erişim Tarihi: 5 Mart 2018).
- Hausman, J.A. (1978). "Specification Tests in Econometrics", *Econometrica*, 46(6), 1251–71.
- Hoechle, D. (2007). "Robust Standard Errors for Panel Regressions with Cross-Sectional Dependence", *Stata Journal*, 7(3), 281–312.
- Hou, H., Wang, Y. ve Zhang, M. (2023). "Green Finance Drives Renewable Energy Development: Empirical Evidence from 53 Countries Worldwide", *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 80573-80590.
- Hsiao, C. (2003). "Analysis of Panel Data", Second Edition, Cambridge University Press.
- IRENA (2020). Renewable Energy Finance: Green Bonds, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, <https://www.irena.org/publications/2020/Jan/RE-finance-Green-bonds> (Erişim Tarihi: 02.03.2021).
- Khan, M.A., Riaz, H., Ahmed, M. ve Saeed, A. (2022). "Does Green Finance Really Deliver What is Expected? An Empirical Perspective", *Borsa İstanbul Review*, 22-3, 586-593.
- Lee, C.C., Wang, F. ve Chang, Y.F. (2023). "Does Green Finance Promote Renewable Energy? Evidence from China", *Resources Policy*, 82, 1-13.
- Levene, H. (1960). "Robust Tests for Equality of Variances", Contributions to Probability and Statistics, Editörler Olkin, I., Ghurye, S.G., Hoefding, W., Madow, W.G. ve Mann, H.B., Stanford University Press, California, USA, 278-292.
- Marques, A.C., Fuinhas, J.A. ve Manso, J.P. (2011). "A Quantile Approach to Identify Factors Promoting Renewable Energy in European Countries", *Environ Resource Econ*, 49, 351-366.
- Mishkin Frederic S. (2004). "The Economics of Money Banking and Financial Markets", Seventh Edition, Addison Wesley.

- Pesaran, M.H. (2015). "Testing weak cross-sectional dependence in large panels", *Econometric Reviews*, 34(6-10), 1089-1117.
- Refinitiv Eikon Database (2023). "Green bonds", <https://emea1-apps.platform.refinitiv.com/web/Apps/Green-bonds?appType=GRN> (Erişim Tarihi: 01.12.2023).
- REN-21 (2017). "Renewables – Global Status Report: 2017", http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/06/17-8399_GSR_2017_Full_Report_0621_Opt.pdf (Erişim Tarihi: 28 Nisan 2018).
- REN-21 (2018). "Renewables – Global Status Report: 2018", http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2018/06/17-8652_GSR2018_FullReport_web_final_.pdf (Erişim Tarihi: 28 Eylül 2019).
- REN-21 (2020). "Renewables – Global Status Report: 2020", https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2020_full_report_en.pdf (Erişim Tarihi: 15 Mart 2022).
- REN-21 (2021). "Renewables – Global Status Report: 2021", https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2021_Full_Report.pdf (Erişim Tarihi: 8 Nisan 2023).
- Ruiz-Blanco, S., Romero, S. ve Fernandez-Feijoo, B. (2022). "Green, Blue or Black, but Washing-What Company Characteristics Determine Greenwashing?", *Environment, Development and Sustainability*, 24: 4024-4045.
- Sun, Y., Bao, Q. ve Taghizadeh-Hesary, F. (2023). "Green Finance, Renewable Energy Development, and Climate Change: Evidence from Regions of China. *Humanities & Social Sciences Communications*, 10(107), 1-8.
- UNEP (2016). "Definitions and concepts", Background note. Inquiry working paper 16/13. Geneva. <https://www.unep.org/resources/report/definitions-and-concepts-background-note-inquiry-working-paper-1613> (Erişim Tarihi: 18.04.2021).
- Weber, O. ve ElAlfy, A. (2019). "The Development of Green Finance by Sector", *The Rise of Green Finance in Europe Opportunities and Challenges for Issuers, Investors and Marketplaces* (Editor: Migliorelli, M. ve Dessertine, P.), Switzerland: Palgrave Macmillian, 53-79.
- Wooldridge, J.M. (2002). "Econometric Analysis of Cross-Section and Panel Data", Cambridge, MA: MIT Press.
- World Bank (2023). "World Development Indicators", <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators> (Erişim Tarihi: 02.12.2023).
- Xing, C., Zhang, Y. ve Tripe, D. (2021). "Green Credit Policy and Corporate Access to Bank Loans in China: The Role of Environmental Disclosure and Green Innovation", *International Review of Financial Analysis*, 77, 1-16
- Yerdelen Tatoğlu, F. (2018). "Panel Veri Ekonometrisi: Stata Uygulamalı", Dördüncü Baskı, İstanbul: Beta Yayınları.
- Zheng, M., Du, Q. ve Wang, Q.J. (2023). "Nexus between Green Finance and Renewable Energy Development in China", *Emerging Markets Finance and Trade*, 59(4), 1205-1218.

An Analysis of the Circular Economy in Europe through Comparative Research Employing The CRITIC-Based MAUT and COPRAS Methods

Gökhan Özkaya¹ 

ABSTRACT

Purpose: The circular economy is an approach to sustainability that takes into account both the economic and environmental benefits of repurposing waste or underutilized inert assets into new, useable products or services. The research aims to present a comparative analysis of EU countries with multi-criteria decision-making methods using various indicators covering many topics, including emphasis on recycling, use of circular materials, material efficiency and collective management of waste.

Methodology: The research aims to determine the weights through the application of the CRITIC method. It is gathered in 22 sub-indicators under three main categories, including sustainable resource management, social behaviour, and business operations, so as to assess effectiveness with regard to this notion while comparing nations. Additionally, every nation in the EU that has indicator data is assessed employing cluster analysis, a method of data mining, in addition to multi-criteria decision-making techniques like MAUT and COPRAS.

Findings: Based on the assessments of nations, Denmark, Luxembourg, Finland, Austria, Sweden, the United Kingdom, and Germany exhibit a favourable and noteworthy distinction from other nations.

Originality: This study offers the opportunity to make comparisons with a multi-criteria decision-making approach when it comes to environmental and circular economy goals.

Keywords: Circular Economy, Sustainable Environment, European Green Deal, MCDM, CRITIC, MAUT, COPRAS, Cluster Analysis.

JEL Codes: D81, Q53, Q56, Q58.

CRITIC Tabanlı MAUT ve COPRAS Yöntemlerini Kullanan Karşılaştırmalı Araştırma ile Avrupa'da Döngüsel Ekonominin Analizi

ÖZET

Amaç: Döngüsel ekonomi, atıkların veya yeterince kullanılmayan atıl varlıkların yeni, kullanılabilir ürün veya hizmetlere dönüştürülmesinin hem ekonomik hem de çevresel faydalarını dikkate alan bir sürdürülebilirlik yaklaşımıdır. Araştırmada, geri dönüşüm vurgusu, döngüsel malzeme kullanımı, malzeme verimliliği ve atıkların kolektif yönetimi dâhil olmak üzere birçok konuyu içeren çeşitli göstergeler kullanarak çok kriterli karar verme yöntemleriyle AB ülkelerinin karşılaştırmalı analizinin sunulması hedeflenmektedir.

Yöntem: Araştırma, CRITIC yönteminin uygulanmasıyla ağırlıkların belirlenmesini amaçlamaktadır. Ülkeleri karşılaştırırken bu kavrama ilişkin etkinliği değerlendirmek amacıyla sürdürülebilir kaynak yönetimi, sosyal davranış ve iş operasyonları olmak üzere üç ana kategori altında 22 alt göstergede toplanmıştır. Ayrıca AB'de gösterge verisi olan her ülke, MAUT ve COPRAS gibi çok kriterli karar verme tekniklerinin yanı sıra veri madenciliği yöntemi olan kümeleme analizi kullanılarak değerlendirilmektedir.

Bulgular: Ülkelerin değerlendirmelerine göre Danimarka, Lüksemburg, Finlandiya, Avusturya, İsveç, Birleşik Krallık ve Almanya diğer ülkelerden olumlu ve dikkate değer bir farklılık sergilemektedir.

Özgünlük: Bu çalışma, çevresel ve döngüsel ekonomi hedefleri söz konusu olduğunda çok kriterli karar verme yaklaşımı ile karşılaştırma yapabileme imkânı sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Döngüsel Ekonomi, Sürdürülebilir çevre, Avrupa Yeşil Anlaşması, ÇKKV, CRITIC, MAUT, COPRAS, Kümeleme Analizi.

JEL Kodları: D81, Q53, Q56, Q58.

¹ Yıldız Technical University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Department of Business Administration, Istanbul, Türkiye

Corresponding Author: Gökhan Özkaya, gozkaya@yildiz.edu.tr

DOI: 10.51551/verimlilik.1462098

Research Article | Submitted: 31.03.2024 | Accepted: 20.05.2024

Cite: Özkaya, G. (2024). "An Analysis of the Circular Economy in Europe through Comparative Research Employing The CRITIC-Based MAUT and COPRAS Methods", *Verimlilik Dergisi*, 58(3), 337-358.

1. INTRODUCTION

The idea of a circular economy is based on the principle that resources should be maintained within the economic system for as long as is practically possible. In this type of economy, materials that have been through their entire lifecycle, from the stage of production to the stage of disposal, are brought back into the economic system as inputs. The existing production and consumption system clearly puts a heavy burden on our planet. Experts estimate that in order to maintain our current level of life, three Earths would be required if the current pace of population increase continues and the world's population hits 9.6 billion in 2050 (Saad et al., 2021). Approximately 1,3 billion tonnes of food costing one trillion dollars are lost every year as a result of households or enterprises harvesting, storing, or transporting food improperly. Over one billion people still do not have opportunity to reach safe freshwater in spite of this (Liu et al., 2022). About 2.5% of the world's clean water is stored in the Antarctic, the Arctic, and glaciers. Only 0.5 percent of Earth's surface supplies all of humanity's ecological and freshwater needs (Kilemo, 2022). As a result, despite technological advancements that have increased efficiency, energy consumption has been on the rise. The global industrialized economy, which is based on nonrenewable crude oil resources, may have achieved its maximum output. Despite rising worry over climate change's effects, a workable fossil fuel substitute has not yet been created (Tetteh et al., 2021; Yuan et al., 2022). Reduced resource usage, deterioration, and pollution, along with improved quality of life for all community members, are all goals of sustainable consumption and production. Increasing our economic production is important, but we also need to find ways to cut down on waste. Degradation of the natural world also slows down development and growth (Aguñaga and Leal, 2021: 88; Khaw-ngern et al., 2021).

In the framework of the existing economic system, an attempt is made to assess the increase in the overall welfare based on how much people consume. More consumption is defined as more welfare and development. In addition, many people believe that improving the present productive capacities of economies will lead to an increase in the general well-being of both individuals and countries (Borowski and Patuk, 2021; Mies and Gold, 2021). Many issues, such as endangering natural life, social life, and future generations, are caused by the reckless use of finite resources, the presence of a system built on unending consumption, and the careless waste management during and after production. Global warming, ozone depletion, water and air pollution, loss of biodiversity, and deforestation are only some of the problems caused by these variables that threaten human and environmental well-being. When a product's whole life cycle—from manufacture to consumption—is taken into account, several unfavourable outcomes are evident, including air and water pollution, the loss of arable land, and greenhouse gas emissions (Gautam and Agrawal, 2021; Rather et al., 2022). The aforementioned negative consequences may be mitigated with the help of planned improvements in the manufacturing, supplying, and consuming triad. The "Responsible Consumption and Production Targets" under the "2030 Sustainable Development Goals" agenda are the consequence of a wide range of national and international efforts. In this respect, the OECD offers the following definition of sustainable consumption, but there are many more. The usage of goods and services that raise people's level of living and enable them to satisfy their most basic requirements without endangering the capacity of future generations to do the same is known as sustainable consumption. It is achieved by lowering the quantity of waste and pollution generated, as well as the amount of energy, water, and other resources used at each step of the product's life cycle (Pineiro-Villaverde and García-Álvarez, 2020; Yagi and Kokubu, 2020).

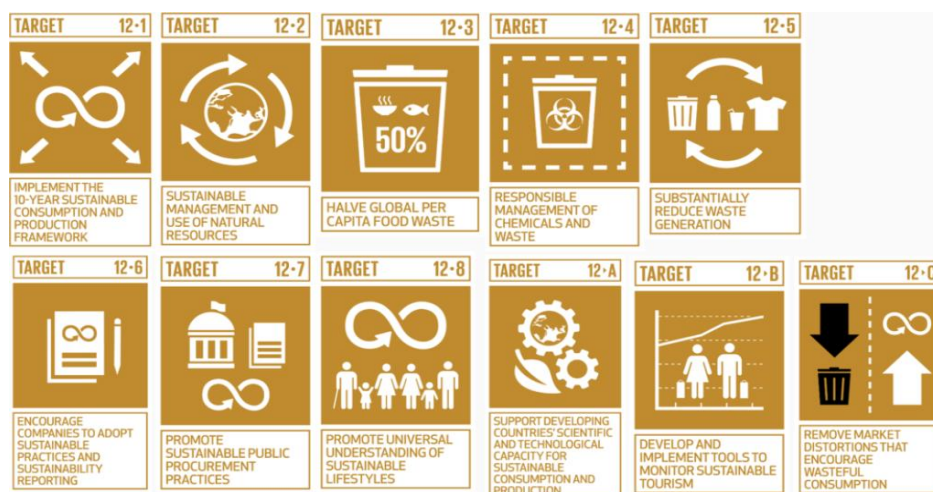


Figure 1. Goal 12: Encourage the use of environmentally friendly manufacturing and use strategies (Majeed, 2021)

Sub-goals include lowering overall consumption, increasing public understanding of the costs of wasteful consumption, and fostering greener methods of manufacturing. Summary of these aims is shown in Figure 1 (Majeed, 2021). Sustainable consumption goals aim to raise living standards of individuals without causing the carrying capacity of earth to be exceeded, and they also aim to build an infrastructure that will allow coming generations to have similar benefits (Bengtsson et al., 2018).

Improved resource productivity, cleaner production, and pollution management have been important goals of contemporary environmental strategies. After the turn of the century, this problem grew to include a wider range of concerns, such as how to deal with items at the end of their useful lives and how to ensure that producers properly collected consumer garbage. Some progress has been made in lowering the need for raw materials. Also, total consumption have risen with population and prosperity, thus it has damped the product-based productivity enhancements. It has been understood that if the consumption rate and consumption behavior aren't addressed, it would be very hard to realize the goal of sustainable development (Bengtsson et al., 2018; Mont and Plepys, 2008).

The concept of a circular economy has developed and gained popularity in this circumstances. The concept of a "circular economy" is becoming more commonplace. Present visions for a sustainable and durable development also include basic principles of circular economy model. The goal of this design philosophy is to maximize the number of times a product or material is reused, recycled, remanufactured, or recovered. As a result, items and the sources they were made from last longer, and fewer harmful byproducts and less greenhouse gas emissions are produced (Sharma et al., 2021).

The transition to a circular economy is high on the policy agenda of many organizations and institutions:

- The Climate Agreement of Paris
- United Nations Sustainable Development Objectives (SDG 12, 11, 9 and 13)
- Action Plan for a Circular Economy and the European Green Deal
- Durban Recommendations for Africa in 2019
- Plan for China's Circular Economy during the Next 5 Years
- Strategy for a circular economy in Latin American nations

Sustainable development that benefits present and future generations in terms of the environment, economy and social justice is further facilitated by the circular economy at all scales, from individual products and companies to the regional economy and global community. These advancements have made feasible by progressive company concepts and conscientious customers (Kirchherr, et al., 2017). The circular economy model (bottom) and linear economy model (top) are shown in Figure 2.



Figure 2. Phases of linear and circular systems (European Commission, 2014: 5)

Significantly, circular strategies, technologies, and transition enterprises aim beyond conventional economic paradigms. Sustainability-aligned circular economy concepts give the following advantages: Reducing greenhouse gas emissions: If circular economy ideas are implemented throughout the steel, aluminum, cement, food, and plastic industries, 9.3 billion tonnes of CO₂ might be avoided by 2050. Preserving long-term biodiversity: a 50% reduction in detrimental impacts on farm-level biodiversity via the use of circular techniques. Improving ocean health and water quality: a worldwide 80% decrease in plastics entering the ocean via reclamation, recycling, and other initiatives. Economic development and employment creation: a \$4.5 trillion worldwide economic potential by 2030 created by fostering waste reduction innovation (Sharma et al., 2021).

The global demand for basic resources for items such as food, electronics, and clothing is rising quickly. A more environmentally friendly and competitive Europe is paved with the help of the European Union's new circular action plan. In March of 2020, the European Commission announced a new circular economy action plan (CEAP). It is one of the key pillars of the European Green Deal, Europe's new sustainable growth goal. The transformation of the EU to a circular economy would minimize reliance on natural resources and provide sustainable economic development and employment. It is also essential for achieving the EU's 2050 climate neutrality goal and halting biodiversity loss. The new action plan outlines efforts across the full product life cycle. It focuses on how goods are created, supports circular economy practices, supports sustainable consumption, and strives to reduce waste and keep as many resources as possible inside the EU economy (Eco-index, 2022).

It contains legislative and non-legislative actions aimed at areas where action at the EU level may provide a genuine added benefit. The efforts to be implemented under the revised action plan seek to (Giurco, 2020: 121)

- Implement sustainable goods the standard across the European Union
- Give buyers and the public more control
- Concentrate on industries with a strong potential for circularity, such as electronics, information and communications technology, batteries and vehicles, storage, plastic materials, textiles, infrastructure and constructions, food, clean water, and nutrients;
- Guarantee reduced waste
- Create circularity employment for individuals, regions, and urban areas
- Spearhead worldwide circular economy initiatives

Multi-criteria decision-making approaches are commonly employed in the assessment of circular economy and sustainable development objectives. In this research, the performance of 28 European Union member nations is evaluated through cluster analysis, and CRITIC-based MAUT and COPRAS methodologies, focusing on the circular economy. Considering the UN Sustainable Development Goals, this issue is particularly relevant to headings 9, 11, 12 and 13 in terms of content. In addition, the aim of this research is to draw attention to the topic of circular economy and hence these SDGs, as well as to contribute to the current literature on the subject. Furthermore, the research aims to compare the condition of the relevant nations to that of other countries in the study, as well as to inform academics and policymakers about the present circular economy performances of the relevant countries.

The rest of the research is organized as follows: The second part is a review of the literature on similar research. The methodologies utilized in the study are described in section 3. The findings are shown in section 4. Section 5 includes the discussion, while Section 6 presents the conclusion and recommendations.

2. LITERATURE REVIEW

The circular economy benefits the planet since it conserves and efficiently utilizes renewable materials. This is achieved by efficient use of resources and little waste production, particularly in industrial settings, and through minimal waste disposal at the end of the useful life of materials (Lieder and Rashid, 2016). In Figure 3, we see the most common topics covered in the literature and the top 10 nations for SDG12 and circular economy study.

When compared to the average annual growth rate of 3,5% for research on the other sustainable development goals, the yearly growth rate for research on SDG12 is 11.6%. The United States, the United Kingdom, India, and Italy all rank behind China as the countries where the most of these studies are conducted. China and Brazil have upper-middle income levels, while India has lower-middle income levels. Of the ten most productive nations, seven have high incomes (equal to over 37,400 publications). Not a single low-income nation is in the top 50 on this list. The top five nations where the largest percentage of research portfolios is devoted to SDG12 research are Malaysia, Ghana, Nigeria, Sri Lanka, and Latvia. International partnerships provide financing for 24 percent of SDG 12 research. The domain-weighted

citation effect (FWCI), which measures academic influence, had a constant high of 1.36 on an annual average for SDG12 research across the time (RELX, 2022).

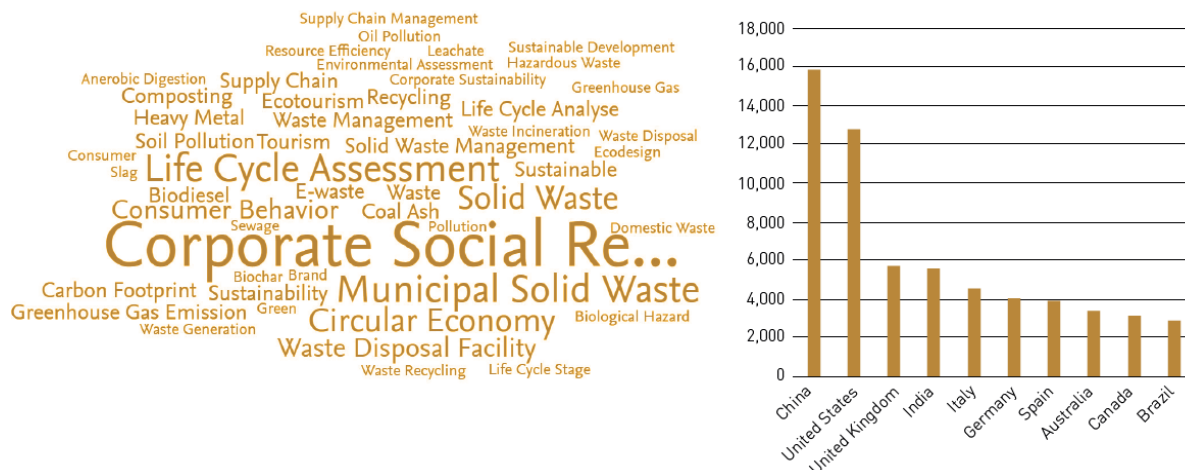


Figure 3. Statistics on the most-used keywords in articles on SDG12 and the circular economy, and the top 10 publishing countries (RELX, 2022)

A short literature overview of other research that have been discussed the circular economy and using comparable methods is shown below as follows:

The purpose of the study by Marino and Pariso (2020) was to evaluate the progress towards "Reduction, Reuse, Recycling" goals in the context of the circular economy by comparing the performance of the 28 EU Member States between 2006 and 2016. Growth Domestic Products in Purchasing Power Standards data were correlated with quantitative indicators in order to assess the efficacy of these measures.

Škrinjarić (2020) examined the performance of several European countries between 2010 and 2016 using the Grey Relational Analysis. There are clear indicators of regional disparities between European countries, as shown by the study. Countries in the European Union with the highest scores were Germany, the Netherlands, Denmark, France, and Italy, while the lowest scores were given to Romania, Greece, Cyprus, Slovakia, and Bulgaria. Increases in infrastructure, educational opportunities, and research and development (R&D) investment, as well as increases in GDP per cent, were all correlated with better economic success (research and development). Some of the lowest-ranked countries have inferior education PISA rankings, greater corruption indices, and lower government efficiency indices.

Smol (2021) gave a list of the performance indicators that were mentioned in the chosen CE national strategies. They pointed out that there is not one universal indicator that measures the level of CE transformation at the national level. This is because the issue is complicated and the key sectors and economic actors in each country are different.

The purpose of Lacko et al. (2021) study was to evaluate the effectiveness of the Visegrád Group in relation to the average efficiency of the 28 member states of European Union. Slack-based models in data envelopment analysis were used to assess the productivity of respondents. Additionally, the effect of certain indicators on overall circular efficiency was evaluated using truncated regression. This research demonstrates that the countries of the Visegrád Group are not in the forefront of recycling and circular economy adoption globally. This study demonstrated that greater GDP level does not always imply a higher degree of circular economy efficiency.

A thorough analysis and review of the circular economy concept as it applies to poor countries was presented by Ngan et al. (2019). In addition, a new model was suggested using Fuzzy Analytic Network Process (FANP) to measure the priority weights of the sustainability metrics in order to provide guidance for the key stakeholders throughout the various stages of the industry cycle as they make the shift toward a circular economy. According to the findings, better economic performance and widespread support are the primary motivators for stakeholders to support sustainable development.

The purpose of Mazur-Wierzbicka (2021)'s study was to compare the EU member states in terms of their level of circular economy implementation across multiple dimensions. The European Commission's suggested CE indicators were used as the foundation. In order to make comparisons, statistical approaches were used. The assessments led to the conclusion that the CE levels of the countries comprising the former EU are the highest of any in the EU.

Using an approach that relies on the Multidirectional Efficiency Analysis, Robaina et al. (2020) attempted to assess the efficiency of 26 European countries within the context of Circular Economy, for the timespan 2006-2016, taking into account the generation of waste, recovery, and recycling of plastic. Since most countries made similar use of the other inputs, an examination of inputs revealed that rising capital appears to be a primary driver towards efficiency. According to the results, the efficiency gap between nations does not lie in their ability to recycle more or produce less waste overall, but rather in their ability to grow their economies in a more circular fashion, which means increasing both their gross domestic product and their rate of recovery and recycling.

A Circular Economy Composite index was proposed by Garcia-Bernabeu et al. (2020) as a way to evaluate the performance of individual EU member states. They developed a composite index for the circular economy using TOPSIS (Technique for Ordering Preferences by Similarity to Ideal Solutions), a multi-criteria analysis technique. They used the approach to rank the EU Member States in terms of their Circular Economy performance in 2016. While the top countries were Germany, the UK, France, Italy, and the Netherlands, countries like Bulgaria, Romania, Greece, Malta, and Estonia were placed at the bottom of the list.

The goal of Üsas et al. (2021) was to evaluate the state of the circular economy in each country in the EU. Together, these researchers created a quantitative framework that included tools like CRITIC-based TOPSIS, PROMETHEE II, and ELECTRE I. This study used the Eurostat statistics to collect the data needed to describe the growth of the circular economy on a national scale. It seemed like the most developed countries in terms of the circular economy were Germany, Sweden, and the Netherlands. According to the findings of analysis, Germany, the Netherlands, Denmark, France, and Italy scored the best, while Romania, Greece, Cyprus, Slovakia, and Bulgaria performed the worst.

Kaya et al. (2022) employed the cluster analysis and MCDM to assess the CE paradigm's impact on the societal development of EU member states. To classify the 27 EU members into clusters with comparable degrees of social effect from CE initiatives, a K-means cluster approach was performed. To achieve a fair balance between the two approaches, the weights of social indicators were calculated using the CRITIC and MEREC (Method based on the Removal Effects of Criteria) methodologies. Power averaging and the Heronian operator were employed along with the MARCOS (Measurement of Alternatives and Ranking according to Compromise Solution) technique to determine which nation performed best within each cluster. The top three nations were the Netherlands, Croatia, and Latvia.

3. METHODS and DATA

3.1. Dimensions and Indicators

The European Green Deal, developed by the European Commission, is at the forefront of global efforts to achieve SDG 12 and the circular economy. The Deal is more than just a new growth strategy in response to the threat of global warming and other environmental degradation; it is also a total transformation initiative. The issue of a circular economy is the primary focus on the list of priorities.

Data is gathered in 22 sub-indicators under three categories, including sustainable resource management (7), social behavior (6), and business operations (9) within the context of the European Union Environmental Consensus and Eco-Innovation Action Plan, with the purpose of assessing achievements in regard to this concept and comparing nations (Eco-index, 2022).

As a result, assessing the circular economy involves several factors and dimensions. The research aims to establish the weights of the indicators that use the CRITIC method to evaluate a variety of topics, including waste management, cyclical material use, recycling emphasis, and material efficiency. Additionally, all EU countries with data on relevant indicators will be evaluated using cluster analysis, a data mining technique, as well as MAUT and COPRAS methods, which are multi-criteria decision-making techniques.

When evaluating the performance of the circular economy, it is impossible to utilize a single statistic. However, there are currently a variety of indicators that may be used to track development in various sectors that contribute either directly or indirectly to the expansion of the Circular Economy. They may be classified as following (Eco-index, 2022):

Sustainable Resource Management: By reducing resource needs, boosting resource security, and reducing environmental pressures at home and abroad, the progress of EU Member States toward circularity is measured by this collection of indicators.

Societal Behaviour: These metrics represent the degree to which the general public is informed, interested, and active in the circular economy. The success of a transition to a circular economy relies heavily on citizen participation, behavioral shifts, and new social norms. What this means is that people are engaging in novel patterns of consumption (e.g., sharing, product-service systems, being willing to pay more for

durability), re-use (demanding altered perspectives on rebuild and refurbishment), and disposal (trying to separate disposal streams and helping to bring "disposal" to remanufacturing/recycling/sorting regions).

Business Operations: This collection of metrics represents eco-innovation efforts aimed at modifying and adjusting business models to adhere to the tenets of a circular economy. Businesses are the driving force behind the move to a circular economy. They encourage circularity at all stages of the material life cycle, starting with the selection of raw materials (quality, environmental and health standards). Increased longevity and the capacity to reuse, remanufacture, and recycle products are essential to keeping resources in circulation for longer, and this process begins in the design phase. Remanufacturing and recycling are essential corporate processes for expanding the circular economy.

Table 1 presents the indicators and their dimensions (Eco-index, 2022).

Table 1. Dimensions, codes and indicators used in the analysis

<i>Dimensions</i>	<i>Codes</i>	<i>Indicators</i>
Sustainable Resource Management	C1	Material footprint: Domestic material consumption, tonnes per capita
	C2	Number of enterprises involved in the repair of computers and personal and household goods
	C3	Number of extended producer responsibility (EPR) schemes per member state
	C4	Municipal solid waste recycling rate (% of MSW recycled)
	C5	Recycling of packaging waste (in tonnes)
	C6	Recycling of bio-waste (in kg per capita)
Societal Behaviours	C7	Recycling of construction and demolition waste (%)
	C8	Purchasing refurbished products with a guarantee.
	C9	Leased or rented a product instead of buying it (e.g. a washing machine, furniture)
	C10	Used sharing schemes. These can be organized, like car or bike sharing schemes, or informal, like neighbours sharing lawn mowers.
	C11	Coverage of the circular economy topic in electronic mass media in 2016, number of published articles
	C12	Number of enterprises in repair of computers and personal and household goods across European countries
Business Operations	C13	Number of enterprises in repair of computers and personal and household goods across European countries, Employment
	C14	Lack of human resources
	C15	Lack of expertise to implement these activities
	C16	Complex administrative or legal procedures
	C17	Cost of meeting regulations or standards
	C18	Difficulties in accessing finance
	C19	Standard bank loan
	C20	It was self-financed
	C21	Availability of information that can help to access finance for circular economy related activities, as reported by SMEs
	C22	Number of eco labelled products and services

3.2. Methods

3.2.1. CRITIC (CRiteria Importance Through Inter- criteria Correlation) Method

The CRITIC technique is a weighing techniques used to estimate the objective weights of the criteria proposed by Diakoulaki et al. (1995). In this technique, the standard deviation of the criterion and the correlation between the criteria are taken into account while weighing them. This method's application approach consists of five phases, as indicated below (Diakoulaki et al., 1995).

Step 1: The performance of alternatives made up of various criteria and possibilities is displayed in the X matrix that is constructed. In Equation 1, a sample matrix X is displayed.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}; i = 1, \dots, m \text{ ve } j = 1, \dots, n \quad (1)$$

Step 2: Depending on whether it is cost- or benefit-focused, the decision matrix is normalized. The decision matrix is normalized according to benefits using Equation 2. The matrix is normalized according to costs using Equation 3.

$$r_{ij} = \frac{X_{ij} - \min X_{ij}}{\max X_{ij} - \min X_{ij}} \quad (2)$$

$$r_{ij} = \frac{\max X_{ij} - X_{ij}}{\max X_{ij} - \min X_{ij}} \quad (3)$$

Step 3: At this stage, the correlation coefficients are calculated employing Equation 4 using the data gathered from the previous step.

$$p_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - r_j) * (r_{ik} - r_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 * \sum_{i=1}^m (x_{ik} - \bar{x}_k)^2}}; j, k = 1, \dots, n \quad (4)$$

Step 4: The correlation coefficients are subtracted from one to get $1 - p_{jk}$ values. The value C_j is obtained by multiplying the cumulative sum of this acquired value by the standard deviation values σ_j . To calculate C_j , use Equation 5, and to calculate σ_j , use Equation 6.

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

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}; i = 1, \dots, m \quad (6)$$

Step 5: The W_j values, for which the weights of the criteria are established, are obtained by dividing the derived C_j values by the total C_j values. Equation 7 is used to determine the w_j values.

$$w_j = \frac{c_j}{\sum_{i=1}^n c_j}; j = 1, \dots, n \quad (7)$$

3.2.2. MAUT (Multi-attribute Utility Theory) Method

One of the MCDM techniques that enables the qualitative and quantitative criteria to be assessed jointly and identify the optimal option in terms of criteria is the Multi-Attributed Utility Theory (MAUT) approach (Fishburn and Keeney, 1974; Løken, 2007). According to Løken (2007), there are two stages to the method. The first stage involves normalizing the components of the decision matrix.

Step 1. The values of each criterion are first transformed during the normalization procedure so that the best value is one (1) and the worst value is zero (0). As a result, every number needs to fall between 0 and 1. Equation 8 is used to do this transition (Konuskan et al., 2014):

$$u_i(x_i) = \frac{x - x_i^-}{x_i^+ - x_i^-} \quad (8)$$

where x_i^+ is the highest value pertaining to the pertinent criteria, x_i^- is the pertinent criterion's lowest value and x is the cell's current value at the time of computation.

Step 2. Following the normalization procedure, each alternative's utility values are determined in the second phase. Equation 9 was used to calculate these benefit values, along with definitions of the variables utilized (Konuskan et al., 2014):

$$U(x) = \sum_{i=1}^m u_i(x_i) * w_i \quad (9)$$

where $U(x)$ is the corresponding alternative's benefit value, $u_i(x_i)$ is the alternative's utility value according to the pertinent criteria and w_i is the corresponding criterion's weight value.

3.2.3. COPRAS (Complex Proportional Assessment) method

In the MCDM approach of COPRAS (Complex Proportional Assessment), the options are evaluated and ranked. Here are a few of the phases in the assessment of the method (Chatterjee et al., 2011; Das et al., 2012; Kaklauskas et al., 2010):

In the COPRAS technique, A_i is i^{th} alternative $i = 1, 2, \dots, m$; C_j is j^{th} criterion $j = 1, 2, \dots, n$; w_j is significance weight of the j^{th} criterion $j = 1, 2, \dots, n$; x_{ij} is j^{th} level of evaluation criterion $j = 1, 2, \dots, n$.

Step 1. The x_{ij} values are used to create a decision matrix (Equation 10).

$$D = \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & \cdot & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & \cdot & x_{2n} \\ x_{31} & x_{32} & x_{33} & \cdot & x_{3n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ x_{m1} & x_{m2} & x_{m3} & \cdot & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (10)$$

Step 2. By dividing each value in the decision matrix by the sum of the corresponding column, each value is normalized (Equation 11).

$$X_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}, \forall j = 1, 2, \dots, n \quad (11)$$

Step 3. The weight value (w_j) of each evaluation metric is multiplied by the normalized decision matrix elements to create the dij components of the weighted normalized decision matrix D' (Equation 12).

$$D' = d_{ij} = x_{ij}^* \times w_j \quad (12)$$

Step 4. The computation of the weighted normalized decision matrix values for the benefit and cost criterion is done. S_i represents the complete value of the cost criteria, whereas S_{i+} represents the sum of the values in the i weighted normalized decision matrix for the benefit criteria. These values (Equation 12) can be computed using the formulas shown in equations Equation 13 and Equation 14.

$$S_{i+} = \sum_{j=1}^k d_{ij}, j = 1, 2, \dots, k \quad (13)$$

$$S_{i-} = \sum_{j=k+1}^n d_{ij}, j = k + 1, k + 2, \dots, n \quad (14)$$

Step 5. In this step, the relative significance value (Q_i) of each option is calculated (Equation 15).

$$Q_i = S_{i+} + \frac{\sum_{i=1}^m S_{i-}}{S_{i-} \times \sum_{i=1}^m \frac{1}{S_{i-}}} \quad (15)$$

Step 6. The highest priority is determined by a ranking system (Equation 16).

$$Q_{max} = \max\{Q_i\}, \forall_i = 1, 2, \dots, n \quad (16)$$

Step 7. For every option, the performance index (P_i) scores are determined.

$$P_i = \frac{Q_i}{Q_{max}} \times \%100 \quad (17)$$

Performance index (P_i) of 100 is considered the greatest choice based on several assessment factors. The COPRAS assessment list is created by descendingly rating the performance index score of each option.

3.2.4. K-means Clustering Algorithm

A clustering method based on K-means has been published by MacQueen (1967), which seeks to define the cluster centers, (c_1, \dots, c_k), in order to minimize the squared distances (Distortion, D) of each input point (x_i) to its nearest cluster centre (c_k), where d is a distance function. Euclidean distance is usually used as the d in most cases. Listed below are the steps involved (Azadnia et al., 2011):

- (1) Identify the K center locations (c_1, \dots, c_k).
- (2) Distribute x_i to the cluster center c_k that is the closest.
- (3) It is adjusted such that all cluster centers are based on an average of all x_i 's closest to it.
- (4) Do the following calculation $D = \sum_{i=1}^n [\min_{k=(1..k)} d(x_i, c_k)]^2$
- (5) If D 's quantity converges, (c_1, \dots, c_k) is returned; else, go to Step 2.

4. RESULTS

The decision matrix consisting of raw data used in the CRITIC, MAUT and COPRAS methods is presented in Table 2. The CRITIC method is an objective approach in which indicator weights are determined using raw data without subjective evaluations. The data used are 2021 data from the European Commission Environment Eco-innovation Action Plan database. In the first part of this section, calculation steps are given to show the stages of the CRITIC method.

Table 2. CRITIC method decision matrix consisting raw data of indicators

<i>Countries</i>	<i>MIN</i> <i>C1</i>	<i>MAX</i> <i>C2</i>	<i>MAX</i> <i>C3</i>	<i>MAX</i> <i>C4</i>	<i>MAX</i> <i>C5</i>	<i>MAX</i> <i>C6</i>	<i>MAX</i> <i>C7</i>	<i>MAX</i> <i>C8</i>	<i>MAX</i> <i>C9</i>	<i>MAX</i> <i>C10</i>	<i>MAX</i> <i>C11</i>
Austria	21,9	1.412	14	58	903.702	187	90	34	25	28	733
Belgium	12,9	3.236	11	55	1.491.974	82	97	35	37	36	1.570
Bulgaria	21,4	3.425	9	31	297.212	7	24	27	11	18	271
Croatia	9,7	1.375	5	25	140.538	12	78	16	9	3	414
Cyprus	13,7	456	3	16	51173	30	64	24	13	24	118
Czechia	15,7	7.976	4	34	880.893	26	92	35	26	23	275
Denmark	19,8	1.488	7	50	694.661	143	97	23	19	25	965
Estonia	27,0	424	8	28	123.682	15	95	26	31	23	37
EU-28	13,2	198.126	346	47	59.642.550	83	90	35	21	27	
Finland	30,5	1.457	16	42	484.505	72	74	33	25	59	2.611
France	11,3	33.686	20	45	8.803.425	100	73	35	25	35	6.639
Germany	16,1	13.689	13	67	13.085.174	110	93	48	3	31	8.235
Greece	12,7	6.507	8	20	539.900	21	97	25	14	3	1.060
Hungary	12,3	7.015	9	38	626.821	32	99	36	19	23	86
Ireland	20,7	1.635	5	38	681.164	40	100	33	25	25	231
Italy	6,9	25.108	40	50	8.829.486	105	98	22	14	19	6.282
Latvia	22,1	1.115	10	25	139.266	25	97	31	23	39	55
Lithuania	15,0	2.529	4	53	223.323	131	99	33	32	45	141
Luxembourg	21,9	114	4	49	92.417	136	98	29	27	34	270
Malta	13,4	357	2	10	24476	0	100	12	7	15	35
Netherlands	11,1	10.023	14	56	2.452.000	147	100	35	26	29	4.975
Poland	16,9	19.748	12	34	3.316.229	27	84	37	14	22	536
Portugal	15,8	4.841	12	29	945.236	85	93	29	15	3	368
Romania	23,3	3.964	9	11	850.620	9	74	25	9	13	458
Slovakia	12,7	3.196	16	36	339.904	39	51	29	27	27	87
Slovenia	13,3	1.220	9	59	164.069	79	98	29	2	26	379
Spain	8,3	28.657	13	35	5.162.577	84	75	37	19	32	8.765
Sweden	22,5	4.128	11	46	942.950	69	90	23	27	26	1.339
UK	8,8	9.345	58	44	7.356.629	78	98	45	23	22	4.324
Max	30,5	198.126,0	346,0	67,2	59.642.550,0	187,0	100,0	48,0	37,0	59,0	8.765
Min	6,9	114,0	2,0	10,0	24.476,0	0,0	24,0	12,0	2,0	3,0	35,0
<i>Countries</i>	<i>MIN</i> <i>C12</i>	<i>MAX</i> <i>C13</i>	<i>MAX</i> <i>C14</i>	<i>MAX</i> <i>C15</i>	<i>MAX</i> <i>C16</i>	<i>MAX</i> <i>C17</i>	<i>MAX</i> <i>C18</i>	<i>MAX</i> <i>C19</i>	<i>MAX</i> <i>C20</i>	<i>MAX</i> <i>C21</i>	<i>MAX</i> <i>C22</i>
Austria	1.437	2.743	13	16	22	28	16	16	7	16	494
Belgium	3.015	1.814	24	24	38	39	15	23	65	12	2.065
Bulgaria	3.516	2.817	3	18	35	22	35	18	65	5	100
Croatia	1.575	3.150	14	15	3	15	2	5	67	8	100
Cyprus	388	182	12	17	28	15	25	2	79	3	100
Czechia	7.856	8.851	28	21	46	35	24	7	81	9	128
Denmark	1.544	3.426	8	8	14	13	8	5	78	7	1.929
Estonia	417	953	17	13	13	14	19	6	82	6	781
EU-28	209.739	229.749,0	21	22	34	32	27	13	7	7	70.692
Finland	1.672	2.631	16	26	33	32	13	5	84	7	618
France	53.918	38.832	36	35	59	53	37	14	68	5	7.226
Germany	12.026	28.859	16	13	21	21	14	1	6	11	6.053
Greece	6.923	3.030	13	19	36	18	45	7	74	8	3.523
Hungary	5.888	6.339	32	21	43	29	38	9	75	15	100
Ireland	1.538	1.574	21	25	22	31	27	13	71	6	100
Italy	25.018	15.908	14	15	38	3	33	19	64	4	5.751
Latvia	1.106	1.803	31	36	32	37	3	5	77	8	100
Lithuania	2.657	1.549	23	17	24	16	26	1	74	11	458
Luxembourg	118	209	15	19	23	27	14	1	67	16	100
Malta	258	65	24	2	2	17	1	9	65	27	100
Netherlands	9.269	4.855	19	21	21	36	2	6	78	9	1.469
Poland	20.697	12.229	27	35	5	45	41	12	72	8	2.727
Portugal	4.840	4.389	17	17	27	22	24	12	78	7	3.023
Romania	3.562	9.570	39	38	32	33	31	11	72	9	100
Slovakia	2.892	1.023	21	18	45	31	33	7	71	6	100
Slovenia	1.127	734	15	18	36	21	25	11	69	11	100
Spain	24.583	28.472	18	3	31	31	3	18	65	4	27.018
Sweden	4.423	4.348	2	18	2	21	19	6	78	4	4.597
UK	7.476	39.394	17	17	12	22	14	6	76	1	2.362
Max	209.739,0	229.749,0	39,0	38,0	59,0	53,0	45,0	23,0	84,0	27,0	70.692,0
Min	1.437	2.743	13	16	22	28	16	16	7	16	494

After the cost (min) indicators in the decision matrix are converted to benefit (max) indicators with $1/x$ conversion, $X' = (X - X_{min}) / (X_{max} - X_{min})$ normalization process is applied to all indicators in the new decision matrix so that the analysis is not affected by extreme values and it is possible to evaluate indicators with different units together. The indicator values were converted to be in the 0-1 value range. The resulting normalized decision matrix is shown in Table 3.

Table 3. CRITIC method normalized decision matrix

<i>Countries</i>	<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>C3</i>	<i>C4</i>	<i>C5</i>	<i>C6</i>	<i>C7</i>	<i>C8</i>	<i>C9</i>	<i>C10</i>	<i>C11</i>
Austria	0.368	0.007	0.035	0.834	0.015	1.000	0.868	0.611	0.657	0.446	0.080
Belgium	0.747	0.016	0.026	0.779	0.025	0.439	0.961	0.639	1.000	0.589	0.176
Bulgaria	0.388	0.017	0.020	0.376	0.005	0.037	0.000	0.417	0.257	0.268	0.027
Croatia	0.882	0.006	0.009	0.267	0.002	0.064	0.711	0.111	0.200	0.000	0.043
Cyprus	0.713	0.002	0.003	0.109	0.000	0.160	0.526	0.333	0.314	0.375	0.010
Czech Republic	0.629	0.040	0.006	0.429	0.014	0.139	0.895	0.639	0.686	0.357	0.027
Denmark	0.455	0.007	0.015	0.698	0.011	0.765	0.961	0.306	0.486	0.393	0.107
Estonia	0.149	0.002	0.017	0.314	0.002	0.080	0.934	0.389	0.829	0.357	0.000
EU-28	0.735	1.000	1.000	0.646	1.000	0.444	0.868	0.639	0.543	0.429	-0.004
Finland	0.000	0.007	0.041	0.565	0.008	0.385	0.658	0.583	0.657	1.000	0.295
France	0.817	0.170	0.052	0.612	0.147	0.535	0.645	0.639	0.657	0.571	0.756
Germany	0.612	0.069	0.032	1.000	0.219	0.588	0.908	1.000	0.029	0.500	0.939
Greece	0.756	0.032	0.017	0.176	0.009	0.112	0.961	0.361	0.343	0.000	0.117
Hungary	0.774	0.035	0.020	0.482	0.010	0.171	0.987	0.667	0.486	0.357	0.006
Ireland	0.418	0.008	0.009	0.484	0.011	0.214	1.000	0.583	0.657	0.393	0.022
Italy	1.000	0.126	0.110	0.698	0.148	0.561	0.974	0.278	0.343	0.286	0.716
Latvia	0.359	0.005	0.023	0.268	0.002	0.134	0.961	0.528	0.600	0.643	0.002
Lithuania	0.660	0.012	0.006	0.745	0.003	0.701	0.987	0.583	0.857	0.750	0.012
Luxembourg	0.366	0.000	0.006	0.682	0.001	0.727	0.974	0.472	0.714	0.554	0.027
Malta	0.727	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.143	0.214	0.000
Netherlands	0.826	0.050	0.035	0.804	0.041	0.786	1.000	0.639	0.686	0.464	0.566
Poland	0.577	0.099	0.029	0.414	0.055	0.144	0.789	0.694	0.343	0.339	0.057
Portugal	0.626	0.024	0.029	0.336	0.015	0.455	0.908	0.472	0.371	0.000	0.038
Romania	0.305	0.019	0.020	0.019	0.014	0.048	0.658	0.361	0.200	0.179	0.048
Slovakia	0.758	0.016	0.041	0.459	0.005	0.209	0.355	0.472	0.714	0.429	0.006
Slovenia	0.732	0.006	0.020	0.855	0.002	0.422	0.974	0.472	0.000	0.411	0.039
Spain	0.942	0.144	0.032	0.437	0.086	0.449	0.671	0.694	0.486	0.518	1.000
Sweden	0.338	0.020	0.026	0.628	0.015	0.369	0.868	0.306	0.714	0.411	0.149
United Kingdom	0.919	0.047	0.163	0.596	0.123	0.417	0.974	0.917	0.600	0.339	0.491
<i>Countries</i>	<i>C12</i>	<i>C13</i>	<i>C14</i>	<i>C15</i>	<i>C16</i>	<i>C17</i>	<i>C18</i>	<i>C19</i>	<i>C20</i>	<i>C21</i>	<i>C22</i>
Austria	0.006	0.012	0.703	0.611	0.649	0.500	0.659	0.318	0.013	0.577	0.006
Belgium	0.014	0.008	0.405	0.389	0.368	0.280	0.682	0.000	0.756	0.423	0.028
Bulgaria	0.016	0.012	0.973	0.556	0.421	0.620	0.227	0.227	0.756	0.154	0.000
Croatia	0.007	0.013	0.676	0.639	0.982	0.760	0.977	0.818	0.782	0.269	0.000
Cyprus	0.001	0.001	0.730	0.583	0.544	0.760	0.455	0.955	0.936	0.077	0.000
Czech Republic	0.037	0.038	0.297	0.472	0.228	0.360	0.477	0.727	0.962	0.308	0.000
Denmark	0.007	0.015	0.838	0.833	0.789	0.800	0.841	0.818	0.923	0.231	0.026
Estonia	0.001	0.004	0.595	0.694	0.807	0.780	0.591	0.773	0.974	0.192	0.010
EU-28	1.000	1.000	0.486	0.444	0.439	0.420	0.409	0.455	0.013	0.231	1.000
Finland	0.007	0.011	0.622	0.333	0.456	0.420	0.727	0.818	1.000	0.231	0.007
France	0.257	0.169	0.081	0.083	0.000	0.000	0.182	0.409	0.795	0.154	0.101
Germany	0.057	0.125	0.622	0.694	0.667	0.640	0.705	1.000	0.000	0.385	0.084
Greece	0.032	0.013	0.703	0.528	0.404	0.700	0.000	0.727	0.872	0.269	0.048
Hungary	0.028	0.027	0.189	0.472	0.281	0.480	0.159	0.636	0.885	0.538	0.000
Ireland	0.007	0.007	0.486	0.361	0.649	0.440	0.409	0.455	0.833	0.192	0.000
Italy	0.119	0.069	0.676	0.639	0.368	1.000	0.273	0.182	0.744	0.115	0.080
Latvia	0.005	0.008	0.216	0.056	0.474	0.320	0.955	0.818	0.910	0.269	0.000
Lithuania	0.012	0.006	0.432	0.583	0.614	0.740	0.432	1.000	0.872	0.385	0.005
Luxembourg	0.000	0.001	0.649	0.528	0.632	0.520	0.705	1.000	0.782	0.577	0.000
Malta	0.001	0.000	0.405	1.000	1.000	0.720	1.000	0.636	0.756	1.000	0.000
Netherlands	0.044	0.021	0.541	0.472	0.667	0.340	0.977	0.773	0.923	0.308	0.019
Poland	0.098	0.053	0.324	0.083	0.947	0.160	0.091	0.500	0.846	0.269	0.037
Portugal	0.023	0.019	0.595	0.583	0.561	0.620	0.477	0.500	0.923	0.231	0.041
Romania	0.016	0.041	0.000	0.000	0.474	0.400	0.318	0.545	0.846	0.308	0.000
Slovakia	0.013	0.004	0.486	0.556	0.246	0.440	0.273	0.727	0.833	0.192	0.000
Slovenia	0.005	0.003	0.649	0.556	0.404	0.640	0.455	0.545	0.808	0.385	0.000
Spain	0.117	0.124	0.568	0.972	0.491	0.440	0.955	0.227	0.756	0.115	0.381
Sweden	0.021	0.019	1.000	0.556	1.000	0.640	0.591	0.773	0.923	0.115	0.064
United Kingdom	0.035	0.171	0.595	0.583	0.825	0.620	0.705	0.773	0.897	0.000	0.032

After this stage, correlation coefficients are calculated by using the normalized decision matrix data. The correlation coefficient findings of circular economy indicators are presented in Table 4.

Table 4. CRITIC method correlation coefficient results

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
C1	0.219	1	0.973	0.146	0.981	0.098	0.018	0.199	0.013	0.038	0.0661
C2	0.161	0.973	1	0.151	0.972	0.097	0.046	0.18	0.042	0.031	-0.036
C3	0.09	0.146	0.151	1	0.226	0.805	0.286	0.557	0.261	0.495	0.4023
C4	0.216	0.981	0.972	0.226	1	0.146	0.057	0.268	-0.03	0.053	0.133
C5	0.069	0.098	0.097	0.805	0.146	1	0.333	0.357	0.299	0.407	0.3848
C6	0.115	0.018	0.046	0.286	0.057	0.333	1	0.112	0.168	0.029	0.0259
C7	0.084	0.199	0.18	0.557	0.268	0.357	0.112	1	0.246	0.442	0.4497
C8	-0.21	0.013	0.042	0.261	-0.03	0.299	0.168	0.246	1	0.516	-0.094
C9	-0.33	0.038	0.031	0.495	0.053	0.407	0.029	0.442	0.516	1	0.2197
C10	0.399	0.066	-0.036	0.402	0.133	0.385	0.026	0.45	-0.094	0.22	1
C11	0.217	0.996	0.961	0.147	0.974	0.103	0.004	0.193	0.026	0.049	0.073
C12	0.208	0.986	0.98	0.161	0.989	0.103	0.03	0.262	0.003	0.043	0.0855
C13	-0.11	-0.103	-0.032	0.237	-0.064	0.229	-0.174	-0.243	-0.107	-0.125	0.008
C14	0.273	-0.078	-0.059	0.088	-0.045	0.182	0.097	-0.255	-0.165	-0.197	0.1686
C15	-0.19	-0.173	-0.107	-0.103	-0.132	-0.021	0.267	-0.273	-0.146	-0.227	-0.159
C16	0.073	-0.181	-0.092	-0.07	-0.121	0.002	0.125	-0.496	-0.327	-0.359	-0.097
C17	-0.06	-0.142	-0.097	0.104	-0.097	0.247	0.265	-0.092	0.079	0.228	0.1871
C18	-0.23	-0.217	-0.159	-0.061	-0.158	-0.003	0.188	-0.032	-0.026	0.134	-0.178
C19	-0.08	-0.542	-0.531	-0.43	-0.625	-0.39	-0.032	-0.33	0.199	-0.041	-0.216
C20	-0.06	-0.137	-0.138	-0.026	-0.134	0.061	0.348	-0.222	-0.135	-0.002	-0.281
C21	0.227	0.963	0.924	0.132	0.938	0.12	0.008	0.202	0.013	0.056	0.1554
C22	0.219	1	0.973	0.146	0.981	0.098	0.018	0.199	0.013	0.038	0.0661
	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22
C1	0.217	0.208	-0.112	0.273	-0.185	0.073	-0.061	-0.231	-0.078	-0.064	0.227
C2	0.996	0.986	-0.103	-0.078	-0.173	-0.181	-0.142	-0.217	-0.542	-0.137	0.963
C3	0.961	0.98	-0.032	-0.059	-0.107	-0.092	-0.097	-0.159	-0.531	-0.138	0.924
C4	0.147	0.161	0.237	0.088	-0.103	-0.07	0.104	-0.061	-0.43	-0.026	0.132
C5	0.974	0.989	-0.064	-0.045	-0.132	-0.121	-0.097	-0.158	-0.625	-0.134	0.938
C6	0.103	0.103	0.229	0.182	-0.021	0.002	0.247	-0.003	-0.39	0.061	0.12
C7	0.004	0.03	-0.174	0.097	0.267	0.125	0.265	0.188	-0.032	0.348	0.008
C8	0.193	0.262	-0.243	-0.255	-0.273	-0.496	-0.092	-0.032	-0.33	-0.222	0.202
C9	0.026	0.003	-0.107	-0.165	-0.146	-0.327	0.079	-0.026	0.199	-0.135	0.013
C10	0.049	0.043	-0.125	-0.197	-0.227	-0.359	0.228	0.134	-0.041	-0.002	0.056
C11	0.073	0.085	0.008	0.169	-0.159	-0.097	0.187	-0.178	-0.216	-0.281	0.155
C12	1	0.981	-0.132	-0.118	-0.207	-0.22	-0.168	-0.222	-0.53	-0.141	0.948
C13	0.981	1	-0.099	-0.066	-0.138	-0.169	-0.097	-0.159	-0.566	-0.154	0.951
C14	-0.13	-0.099	1	0.588	0.397	0.626	0.173	0.091	-0.086	-0.234	-0.02
C15	-0.12	-0.066	0.588	1	0.352	0.682	0.412	0.077	-0.139	0.21	0.068
C16	-0.21	-0.138	0.397	0.352	1	0.386	0.48	0.329	9E-05	0.171	-0.128
C17	-0.22	-0.169	0.626	0.682	0.386	1	0.124	0.253	0.026	-0.003	-0.135
C18	-0.17	-0.097	0.173	0.412	0.48	0.124	1	0.232	-0.043	0.24	-0.022
C19	-0.22	-0.159	0.091	0.077	0.329	0.253	0.232	1	0.19	0.058	-0.242
C20	-0.53	-0.566	-0.086	-0.139	9E-05	0.026	-0.043	0.19	1	-0.246	-0.536
C21	-0.14	-0.154	-0.234	0.21	0.171	-0.003	0.24	0.058	-0.246	1	-0.163
C22	0.948	0.951	-0.02	0.068	-0.128	-0.135	-0.022	-0.242	-0.536	-0.163	1

After the correlation coefficients are calculated, they are subtracted from 1 and $1 - P_{jk}$ values are obtained. The cumulative sums of this obtained value are multiplied by the standard deviation values σ_j to obtain the C_j value. The obtained P_{jk} , σ_j and C_j results are presented in Table 5.

Table 5. 1 – P_{jk} , σ_j and C_j Values

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
C1	0	0.781	0.839	0.91	0.784	0.931	0.885	0.916	1.209	1.329	0.601
C2	0.781	0	0.027	0.854	0.019	0.902	0.982	0.801	0.987	0.962	0.933
C3	0.839	0.027	0	0.849	0.028	0.903	0.954	0.82	0.958	0.969	1.036
C4	0.91	0.854	0.849	0	0.774	0.195	0.714	0.443	0.739	0.505	0.597
C5	0.784	0.019	0.028	0.774	0	0.854	0.943	0.732	1.03	0.947	0.867
C6	0.931	0.902	0.903	0.195	0.854	0	0.667	0.643	0.701	0.593	0.615
C7	0.885	0.982	0.954	0.714	0.943	0.667	0	0.888	0.832	0.971	0.974
C8	0.916	0.801	0.82	0.443	0.732	0.643	0.888	0	0.754	0.558	0.550
C9	1.209	0.987	0.958	0.739	1.03	0.701	0.832	0.754	0	0.484	1.094
C10	1.329	0.962	0.969	0.505	0.947	0.593	0.971	0.558	0.484	0	0.780
C11	0.601	0.934	1.036	0.598	0.867	0.615	0.974	0.55	1.094	0.78	0
C12	0.783	0.004	0.039	0.853	0.026	0.897	0.996	0.807	0.974	0.951	0.927
C13	0.792	0.014	0.02	0.839	0.011	0.897	0.97	0.738	0.997	0.957	0.914
C14	1.112	1.103	1.032	0.763	1.064	0.771	1.174	1.243	1.107	1.125	0.992
C15	0.727	1.078	1.059	0.912	1.045	0.818	0.903	1.255	1.165	1.197	0.831
C16	1.185	1.173	1.107	1.103	1.132	1.021	0.733	1.273	1.146	1.227	1.158
C17	0.927	1.181	1.092	1.07	1.121	0.998	0.875	1.496	1.327	1.359	1.097
C18	1.061	1.142	1.097	0.896	1.097	0.753	0.735	1.092	0.921	0.772	0.813
C19	1.231	1.217	1.159	1.061	1.158	1.003	0.812	1.032	1.026	0.866	1.178
C20	1.078	1.542	1.531	1.43	1.625	1.39	1.032	1.33	0.801	1.041	1.216
C21	1.064	1.137	1.138	1.026	1.134	0.939	0.652	1.222	1.135	1.002	1.281
C22	0.773	0.037	0.076	0.868	0.062	0.88	0.992	0.798	0.987	0.944	0.8446
	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22
C1	0.783	0.792	1.112	0.727	1.185	0.927	1.061	1.231	1.078	1.064	0.773
C2	0.004	0.014	1.103	1.078	1.173	1.181	1.142	1.217	1.542	1.137	0.037
C3	0.039	0.02	1.032	1.059	1.107	1.092	1.097	1.159	1.531	1.138	0.076
C4	0.853	0.839	0.763	0.912	1.103	1.07	0.896	1.061	1.43	1.026	0.868
C5	0.026	0.011	1.064	1.045	1.132	1.121	1.097	1.158	1.625	1.134	0.062
C6	0.897	0.897	0.771	0.818	1.021	0.998	0.753	1.003	1.39	0.939	0.88
C7	0.996	0.97	1.174	0.903	0.733	0.875	0.735	0.812	1.032	0.652	0.992
C8	0.807	0.738	1.243	1.255	1.273	1.496	1.092	1.032	1.33	1.222	0.798
C9	0.974	0.997	1.107	1.165	1.146	1.327	0.921	1.026	0.801	1.135	0.987
C10	0.951	0.957	1.125	1.197	1.227	1.359	0.772	0.866	1.041	1.002	0.944
C11	0.927	0.915	0.992	0.831	1.159	1.097	0.813	1.178	1.216	1.281	0.845
C12	0	0.019	1.132	1.118	1.207	1.22	1.168	1.222	1.53	1.141	0.052
C13	0.019	0	1.099	1.066	1.138	1.169	1.097	1.159	1.566	1.154	0.049
C14	1.132	1.099	0	0.412	0.603	0.374	0.827	0.909	1.086	1.234	1.02
C15	1.118	1.066	0.412	0	0.648	0.318	0.588	0.923	1.139	0.79	0.932
C16	1.207	1.138	0.603	0.648	0	0.614	0.52	0.671	1	0.829	1.128
C17	1.22	1.169	0.374	0.318	0.614	0	0.876	0.747	0.974	1.003	1.135
C18	1.168	1.097	0.827	0.588	0.52	0.876	0	0.768	1.043	0.76	1.022
C19	1.222	1.159	0.909	0.923	0.671	0.747	0.768	0	0.81	0.942	1.242
C20	1.53	1.566	1.086	1.139	1	0.974	1.043	0.81	0	1.246	1.536
C21	1.141	1.154	1.234	0.79	0.829	1.003	0.76	0.942	1.246	0	1.163
C22	0.052	0.049	1.02	0.932	1.128	1.135	1.022	1.242	1.536	1.163	0

In the last step, the w_j values are obtained by dividing the C_j values by the total C_j values. The w_j values for the indicators that constitute the subject of the research are presented in Table 6.

Table 6. CRITIC Weight (w_j) Values of Indicators

<i>Definitions</i>	<i>Codes</i>	<i>Weights</i>
It was self-financed	C20	0.072503
Coverage of the circular economy topic in electronic mass media in 2016, number of articles published	C11	0.059900
Standard bank loan	C19	0.057043
Difficulties in accessing finance	C18	0.056018
Leased or rented a product instead of buying it (e.g. a washing machine, furniture)	C9	0.052565
Complex administrative or legal procedures	C16	0.052525
Material footprint: Domestic Material Consumption, tonnes per capita, 2016	C1	0.050434
Lack of human resources	C14	0.048651
Recycling of biowaste (in kg per capita), 2016- 2019	C6	0.047437
Lack of expertise to implement these activities	C15	0.046438
Cost of meeting regulations or standards	C17	0.046077
Municipal solid waste recycling rate (% of MSW recycled), 2019	C4	0.045620
Availability of information that can help to access finance for circular economy related activities, as reported by smes, 2016, Sufficient information is readily available	C21	0.044189
Recycling of construction and demolition waste (%), 2019	C7	0.043680
Used sharing schemes. These can be organised, like car or bike sharing schemes, or informal, like neighbours sharing lawn mowers.	C10	0.042613
Purchasing refurbished products with a guarantee.	C8	0.042275
Number of eco labelled products and services, March 2020	C22	0.032763
Number of enterprises in repair of computers and personal and household goods across european countries, 2007-2014, Enterprises	C12	0.032687
Number of enterprises involved in the repair of computers and personal and household goods, 2019	C2	0.031923
Number of enterprises in repair of computers and personal and household goods across european countries, 2007-2014, Employment	C13	0.031697
Recycling of packaging waste (in tonnes), 2018	C5	0.031595
Number of Extended Producer Responsibility (EPR) schemes per Member State, 2019 Extended Producer Responsibility	C3	0.031369

The normalized decision matrix used in MAUT and COPRAS analyzes is shown in Table 7.

Table 7. MAUT and COPRAS normalized decision matrix

<i>Weights</i>	0.050	0.032	0.031	0.046	0.032	0.047	0.044	0.042	0.053	0.043	0.060
<i>Countries</i>	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
Austria	0.368	0.007	0.035	0.834	0.015	1.000	0.868	0.611	0.657	0.446	0.080
Belgium	0.747	0.016	0.026	0.779	0.025	0.439	0.961	0.639	1.000	0.589	0.176
Bulgaria	0.388	0.017	0.020	0.376	0.005	0.037	0.000	0.417	0.257	0.268	0.027
Croatia	0.882	0.006	0.009	0.267	0.002	0.064	0.711	0.111	0.200	0.000	0.043
Cyprus	0.713	0.002	0.003	0.109	0.000	0.160	0.526	0.333	0.314	0.375	0.010
Czech Republic	0.629	0.040	0.006	0.429	0.014	0.139	0.895	0.639	0.686	0.357	0.027
Denmark	0.455	0.007	0.015	0.698	0.011	0.765	0.961	0.306	0.486	0.393	0.107
Estonia	0.149	0.002	0.017	0.314	0.002	0.080	0.934	0.389	0.829	0.357	0.000
EU-28	0.735	1.000	1.000	0.646	1.000	0.444	0.868	0.639	0.543	0.429	0.004
Finland	0.000	0.007	0.041	0.565	0.008	0.385	0.658	0.583	0.657	1.000	0.295
France	0.817	0.170	0.052	0.612	0.147	0.535	0.645	0.639	0.657	0.571	0.756
Germany	0.612	0.069	0.032	1.000	0.219	0.588	0.908	1.000	0.029	0.500	0.939
Greece	0.756	0.032	0.017	0.176	0.009	0.112	0.961	0.361	0.343	0.000	0.117
Hungary	0.774	0.035	0.020	0.482	0.010	0.171	0.987	0.667	0.486	0.357	0.006
Ireland	0.418	0.008	0.009	0.484	0.011	0.214	1.000	0.583	0.657	0.393	0.022
Italy	1.000	0.126	0.110	0.698	0.148	0.561	0.974	0.278	0.343	0.286	0.716
Latvia	0.359	0.005	0.023	0.268	0.002	0.134	0.961	0.528	0.600	0.643	0.002
Lithuania	0.660	0.012	0.006	0.745	0.003	0.701	0.987	0.583	0.857	0.750	0.012
Luxembourg	0.366	0.000	0.006	0.682	0.001	0.727	0.974	0.472	0.714	0.554	0.027
Malta	0.727	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.143	0.214	0.000
Netherlands	0.826	0.050	0.035	0.804	0.041	0.786	1.000	0.639	0.686	0.464	0.566
Poland	0.577	0.099	0.029	0.414	0.055	0.144	0.789	0.694	0.343	0.339	0.057
Portugal	0.626	0.024	0.029	0.336	0.015	0.455	0.908	0.472	0.371	0.000	0.038
Romania	0.305	0.019	0.020	0.019	0.014	0.048	0.658	0.361	0.200	0.179	0.048
Slovakia	0.758	0.016	0.041	0.459	0.005	0.209	0.355	0.472	0.714	0.429	0.006
Slovenia	0.732	0.006	0.020	0.855	0.002	0.422	0.974	0.472	0.000	0.411	0.039
Spain	0.942	0.144	0.032	0.437	0.086	0.449	0.671	0.694	0.486	0.518	1.000
Sweden	0.338	0.020	0.026	0.628	0.015	0.369	0.868	0.306	0.714	0.411	0.149
United Kingdom	0.919	0.047	0.163	0.596	0.123	0.417	0.974	0.917	0.600	0.339	0.491
<i>Weights</i>	0.033	0.032	0.049	0.046	0.053	0.046	0.056	0.057	0.073	0.044	0.033
<i>Countries</i>	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22
Austria	0.006	0.012	0.703	0.611	0.649	0.500	0.659	0.318	0.013	0.577	0.006
Belgium	0.014	0.008	0.405	0.389	0.368	0.280	0.682	0.000	0.756	0.423	0.028
Bulgaria	0.016	0.012	0.973	0.556	0.421	0.620	0.227	0.227	0.756	0.154	0.000
Croatia	0.007	0.013	0.676	0.639	0.982	0.760	0.977	0.818	0.782	0.269	0.000
Cyprus	0.001	0.001	0.730	0.583	0.544	0.760	0.455	0.955	0.936	0.077	0.000
Czech Republic	0.037	0.038	0.297	0.472	0.228	0.360	0.477	0.727	0.962	0.308	0.000
Denmark	0.007	0.015	0.838	0.833	0.789	0.800	0.841	0.818	0.923	0.231	0.026
Estonia	0.001	0.004	0.595	0.694	0.807	0.780	0.591	0.773	0.974	0.192	0.010
EU-28	1.000	1.000	0.486	0.444	0.439	0.420	0.409	0.455	0.013	0.231	1.000
Finland	0.007	0.011	0.622	0.333	0.456	0.420	0.727	0.818	1.000	0.231	0.007
France	0.257	0.169	0.081	0.083	0.000	0.000	0.182	0.409	0.795	0.154	0.101
Germany	0.057	0.125	0.622	0.694	0.667	0.640	0.705	1.000	0.000	0.385	0.084
Greece	0.032	0.013	0.703	0.528	0.404	0.700	0.000	0.727	0.872	0.269	0.048
Hungary	0.028	0.027	0.189	0.472	0.281	0.480	0.159	0.636	0.885	0.538	0.000
Ireland	0.007	0.007	0.486	0.361	0.649	0.440	0.409	0.455	0.833	0.192	0.000
Italy	0.119	0.069	0.676	0.639	0.368	1.000	0.273	0.182	0.744	0.115	0.080
Latvia	0.005	0.008	0.216	0.056	0.474	0.320	0.955	0.818	0.910	0.269	0.000
Lithuania	0.012	0.006	0.432	0.583	0.614	0.740	0.432	1.000	0.872	0.385	0.005
Luxembourg	0.000	0.001	0.649	0.528	0.632	0.520	0.705	1.000	0.782	0.577	0.000
Malta	0.001	0.000	0.405	1.000	1.000	0.720	1.000	0.636	0.756	1.000	0.000
Netherlands	0.044	0.021	0.541	0.472	0.667	0.340	0.977	0.773	0.923	0.308	0.019
Poland	0.098	0.053	0.324	0.083	0.947	0.160	0.091	0.500	0.846	0.269	0.037
Portugal	0.023	0.019	0.595	0.583	0.561	0.620	0.477	0.500	0.923	0.231	0.041
Romania	0.016	0.041	0.000	0.000	0.474	0.400	0.318	0.545	0.846	0.308	0.000
Slovakia	0.013	0.004	0.486	0.556	0.246	0.440	0.273	0.727	0.833	0.192	0.000
Slovenia	0.005	0.003	0.649	0.556	0.404	0.640	0.455	0.545	0.808	0.385	0.000
Spain	0.117	0.124	0.568	0.972	0.491	0.440	0.955	0.227	0.756	0.115	0.381
Sweden	0.021	0.019	1.000	0.556	1.000	0.640	0.591	0.773	0.923	0.115	0.064
United Kingdom	0.035	0.171	0.595	0.583	0.825	0.620	0.705	0.773	0.897	0.000	0.032

The rankings obtained from the MAUT and COPRAS analysis are presented in Table 8.

Table 8. Rankings obtained from MAUT and COPRAS analysis

<i>MAUT Method Ranking</i>		<i>COPRAS Method Ranking</i>	
<i>Countries</i>	<i>Benefit Value (U_i)</i>	<i>Countries</i>	<i>Benefit Value (N_i)</i>
Netherlands	0.5610	Netherlands	100.00
United Kingdom	0.5447	United Kingdom	87.29
EU-28	0.5378	Spain	81.19
Spain	0.5287	EU-28	73.92
Denmark	0.5258	Germany	71.78
Germany	0.5246	France	70.21
France	0.5234	Italy	70.19
Luxembourg	0.5014	Denmark	58.08
Sweden	0.4890	Lithuania	56.98
Italy	0.4697	Sweden	55.49
Lithuania	0.4540	Luxembourg	54.71
Finland	0.4402	Finland	53.24
Estonia	0.4386	Austria	52.51
Belgium	0.4367	Belgium	51.70
Austria	0.4299	Malta	46.73
Malta	0.4289	Slovenia	45.08
Slovenia	0.4196	Estonia	44.91
Portugal	0.4012	Poland	44.69
Czech Republic	0.3977	Portugal	44.57
Cyprus	0.3963	Croatia	44.00
Latvia	0.3921	Czech Republic	43.74
Croatia	0.3884	Hungary	42.92
Ireland	0.3881	Greece	40.92
Hungary	0.3865	Latvia	40.82
Slovakia	0.3716	Ireland	40.59
Greece	0.3674	Slovakia	40.39
Poland	0.3502	Cyprus	39.62
Bulgaria	0.2960	Bulgaria	32.69
Romania	0.2543	Romania	28.12

The dendrogram below visualizes the groupings of nations in the clustering produced by the clustering analysis with the SPSS software. According to the tree graph (dendrogram) in Figure 3, it is seen that the nations are mostly clustered into three groups. The number of countries in the clusters obtained in the cluster analysis are shown in Table 9.

Table 9. Number of cases in each cluster

<i>Cluster</i>	1	7
	2	7
	3	15
Valid		29
Missing		0

The distances between the final cluster centers are displayed in Table 10. Consequently, it may be concluded that 2 and 3 are the two closest clusters, whereas 1 and 3 are the two furthest clusters. Additionally, Cluster 2 and Cluster 1 are closer than Cluster 3.

Table 10. Distances between final cluster centers

<i>Cluster</i>	1	2	3	<i>Cluster</i>
1		24.553	37.907	1
2	24.553		13.354	2
3	37.907	13.354		3

Table 11 indicates which countries relate to which clusters. Based on this data, it is possible to identify the shared characteristic of every cluster. France, Germany, Italy, and the Netherlands, for instance, are included in cluster 1. In light of this, cluster 1's common trait may be identified.

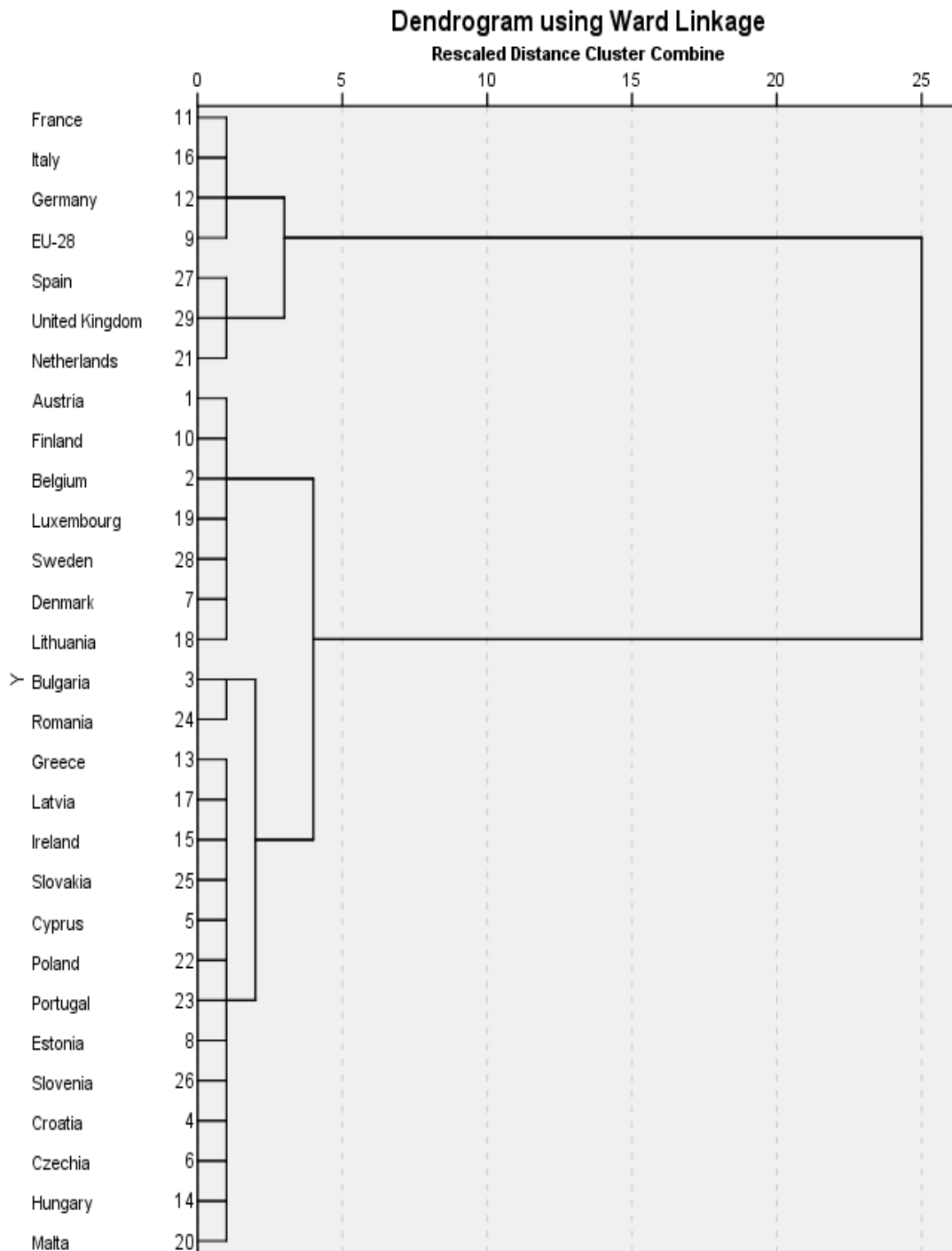


Figure 3. Dendrogram output of cluster analysis

Table 11 shows the benefit values generated from the COPRAS analysis using CRITIC weights, as well as the nation ranking created by sorting these values from greatest to smallest. According to the findings of this analysis, the Netherlands is in first place with a substantial difference, followed by the United Kingdom, Spain, EU-28 average, Germany, France and Italy, respectively. It is worth noting that these six nations are the most powerful economies of the European continent. On the other hand, when the end of the list is evaluated, Eastern European countries are at the bottom of the list.

The table also shows the benefit values generated from the MAUT analysis using CRITIC weights, as well as the nation ranking produced by sorting these values from greatest to smallest. According to the findings of this study, the Netherlands ranks top with a small difference, followed by the United Kingdom, EU-28 average, Spain, Denmark, Germany and France, respectively. Unlike the COPRAS ranking, Denmark is

among the top seven instead of Italy. When looking towards the bottom of the list, Hungary, Slovakia, Greece, Poland, Bulgaria, and Romania are in the last rows.

Table 11. Cluster memberships of countries and ranking in terms of MAUT and COPRAS analysis

MAUT Method Ranking		COPRAS Method Ranking			Cluster Membership		
Countries	U_i	Countries	Benefit Value (N_j)	Case Number	Countries	Cluster	Distance
Netherlands	0.5610	Netherlands	100.00	1	EU-28	1	5.306
United Kingdom	0.5447	United Kingdom	87.29	2	France	1	9.016
EU-28	0.5378	Spain	81.19	3	Germany	1	7.446
Spain	0.5287	EU-28	73.92	4	Italy	1	9.036
Denmark	0.5258	Germany	71.78	5	Netherlands	1	20.774
Germany	0.5246	France	70.21	6	Spain	1	1.964
France	0.5234	Italy	70.19	7	United Kingdom	1	8.064
Luxembourg	0.5014	Denmark	58.08	8	Austria	2	2.163
Sweden	0.4890	Lithuania	56.98	9	Belgium	2	2.973
Italy	0.4697	Sweden	55.49	10	Denmark	2	3.408
Lithuania	0.4540	Luxembourg	54.71	11	Finland	2	1.433
Finland	0.4402	Finland	53.24	12	Lithuania	2	2.307
Estonia	0.4386	Austria	52.51	13	Luxembourg	2	0.050
Belgium	0.4367	Belgium	51.70	14	Sweden	2	0.817
Austria	0.4299	Malta	46.73	15	Bulgaria	3	8.630
Malta	0.4289	Slovenia	45.08	16	Croatia	3	2.681
Slovenia	0.4196	Estonia	44.91	17	Cyprus	3	1.699
Portugal	0.4012	Poland	44.69	18	Czechia	3	2.421
Czech Republic	0.3977	Portugal	44.57	19	Estonia	3	3.591
Cyprus	0.3963	Croatia	44.00	20	Greece	3	0.399
Latvia	0.3921	Czech Republic	43.74	21	Hungary	3	1.601
Croatia	0.3884	Hungary	42.92	22	Ireland	3	0.729
Ireland	0.3881	Greece	40.92	23	Latvia	3	0.500
Hungary	0.3865	Latvia	40.82	24	Malta	3	5.411
Slovakia	0.3716	Ireland	40.59	25	Poland	3	3.371
Greece	0.3674	Slovakia	40.39	26	Portugal	3	3.251
Poland	0.3502	Cyprus	39.62	27	Romania	3	13.200
Bulgaria	0.2960	Bulgaria	32.69	28	Slovakia	3	0.929
Romania	0.2543	Romania	28.12	29	Slovenia	3	3.761

Spearman Correlation analysis, a non-parametric approach, was used to assess the relationship between the scores and rankings obtained from the MCDM methods used in the study. When the values in Table 12 are evaluated, it is seen that there is a significant positive high correlation between all rankings.

Table 12. Spearman correlation analysis result

		MAUT		COPRAS	
Spearman's rho	MAUT	Correlation Coefficient	0.955	0.945**	
		Sig. (2-tailed)		0.000	
		N	29	29	
COPRAS	COPRAS	Correlation Coefficient	0.945**	0.955	
		Sig. (2-tailed)	0.000		
		N	29	29	

Note: ** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

5. DISCUSSION and CONCLUSION

Individual consuming patterns and habits can contribute to a variety of environmental issues, including decreased biological diversity, contamination of the environment and nature, increased CO₂ emissions, and global warming. These issues have begun to be examined, particularly in recent years. Excessive population expansion and rapid economic development are seen as the primary causes of these arguments. However, the rise in personal quality of life, cultural shifts like urbanization and women entering the workforce, the emergence of globalized economic systems driven by economies of scale, the decline in product prices, and the rise of environmental issues have brought the current discussions to the forefront. However, the environmental benefits of initiatives to improve the efficiency and cleanliness of manufacturing processes are being undermined by unsustainable population expansion and the rise in individual demands for the consumption of products and services.

Combining environmental sustainability with economic growth and prosperity by separating environmental degradation from economic expansion and using less resources is one of the largest global issues. In order to encourage sustainable patterns of production and consumption and facilitate the shift to a more environmentally friendly and socially inclusive global economy, resource and impact decoupling are crucial. Respecting the planet's biophysical constraints and lowering global consumption rates to make them consistent with the biophysical capacity to provide ecosystem services and benefits are essential for maintaining sustainable production and consumption practices.

Sustainable production and consumption are linked to improved living standards for everybody. Overall development objectives are achieved, future economic, environmental, and social costs are decreased, economic competitiveness is raised, and poverty is decreased. This means that every link in the supply chain, from the producer to the merchants, needs to collaborate in an organized way. It entails informing consumers about sustainable lifestyles and consumption, giving them accurate information through standards and labeling, and participating in sustainable public procurement. In this attempt, industry, consumers, legislators, academia, merchants, the media, and development cooperation groups should come together to build a new global coalition.

The research article assesses 28 European nations using 22 metrics and three circular economy characteristics. In order to further this topic, the article also seeks to provide an integrated decision-making approach in addition to illustrating the existing condition of these nations.

Following the examination of the dendrogram in cluster analysis, it was determined to split the nations into three categories using K-means cluster analysis. We are able to observe nations that have similar standards in this way.

Upon analyzing the nations inside the groups produced by the K-means clustering technique, it becomes evident that the nations with comparable scores in the rankings produced by the CRITIC-weighted MAUT and COPRAS techniques are gathered within the same clusters. The outcomes of the clustering analysis using both MCDM ranks and the data mining classification approach have thus far been found to be quite consistent. Additionally, the consistency of the analysis's findings was evaluated using the Spearman correlation method.

The six nations that make up the first cluster in the cluster analysis—France, Germany, Italy, the Netherlands, Spain, and the United Kingdom—are also the top six nations in the COPRAS rating. Rather than Italy, Denmark is ranked in the top six on the MAUT ranking list.

The countries included in the MCDM rankings and cluster analysis almost overlap when COPRAS and MAUT values and rankings based on scores are compared with the second cluster of cluster analysis; however, the results of cluster analysis and MAUT analysis are consistent, with the exception of Denmark and Estonia.

Austria, Belgium, Denmark, Finland, Lithuania, Luxembourg, Sweden, and Estonia, which closely trail the top six nations, are classified in the same category by Circular Economy metrics, according to the overall assessment of the data. The following countries are in the same cluster: Bulgaria, Croatia, Cyprus, Czechia, Greece, Hungary, Ireland, Latvia, Malta, Poland, Portugal, Romania, Slovakia, and Slovenia based on how well they performed in the circular economy. These are the countries that scored the lowest on certain indicators and were ranked lowest among those evaluated for the analysis.

A brief part has been presented on what the Netherlands, which has the best scores in majority of the studies in the literature, has done to promote the circular economy. The Dutch government collaborates with other public authorities, knowledge institutes and environmental groups, industry, trade unions, financial institutions, and other civil-society organizations to develop smarter and more efficient methods of using raw resources. By 2050, the objective is for the Dutch economy to be totally circular. The first priority is to reduce the use of basic raw resources by half by 2030. Clearly, these national objectives are connected to international objectives to which the Netherlands has committed, such as the Sustainable Development Goals for 2030 and the Paris Agreement on climate. The government has established three objectives designed to make the Dutch economy circular as soon as possible (Marino & Pariso, 2020; Walker et al., 2021):

- Ensure that industrial processes use raw resources more effectively, so that less are required.
- When new raw materials are required, employing sustainably generated renewable (inexhaustible) and readily accessible raw resources, such as biomass - a raw material comprised of plants, trees, and food waste. This may reduce the reliance on fossil fuel supplies of Netherlands, which is environmentally preferable.
- Developing novel circular manufacturing processes and designs for circular goods.

In conclusion, more research on these and related topics is expected to lead to the development of more sensible policies and a rise in public understanding of the problems pertaining to sustainable production and consumption as well as the circular economy, which is an essential part of the world's efforts to achieve sustainable economic development. To guarantee a sustainable standard of living, many nations require investments as well as policies for sustainable production and consumption.

Balkan and Eastern European countries are typically ranked lowest on the list. The outcomes of these analyses and methodologies provide businesses and governments with a strategic comparison tool with regard to environmental and circular economy goals. This research is anticipated to increase public knowledge of the circular economy and its benefits for the sustainable economy and environment. The outcomes of this approach will be contrasted with those of subsequent studies that employ different methodologies. It is expected that in future studies, different dimensions will be added to the circular economy assessment, analyzed with other methods and compared with the results of this study.

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

- Aguñaga, E., and Leal, A.R. (2021). "Supply Chain Management, Humanistic Management and Circular Economy: Fostering Industry Innovation and Decent Work through Responsible Consumption and Production through Partnerships", *Humanistic Management in Latin America*, Editors: Aguiñaga, E., Leal, A.R., Routledge, 83-98.
- Azadnia, A.H., Ghadimi, P. and Molani-Aghdam, M. (2011). "A Hybrid Model of Data Mining and MCDM Methods for Estimating Customer Lifetime Value", *41st International Conference on Computers and Industrial Engineering (CIE41)*, Los Angeles, United States of America, 23-26.
- Bengtsson, M., Alfredsson, E., Cohen, M., Lorek, S. and Schroeder, P. (2018). "Transforming Systems of Consumption and Production for Achieving the Sustainable Development Goals: Moving Beyond Efficiency", *Sustainability Science*, 13(6), 1533-1547.
- Borowski, P.F. and Patuk, I. (2021). "Environmental, Social and Economic Factors in Sustainable Development with Food, Energy and Eco-Space Aspect Security", *Present Environment & Sustainable Development*, 15(1), 153-169.
- Chatterjee, P., Athawale, V.M. and Chakraborty, S. (2011). "Materials Selection Using Complex Proportional Assessment and Evaluation of Mixed Data Methods", *Materials & Design*, 32(2), 851-860.
- Das, M.C., Sarkar, B. and Ray, S. (2012). "A Framework to Measure Relative Performance of Indian Technical Institutions Using Integrated Fuzzy AHP and COPRAS Methodology", *Socio-Economic Planning Sciences*, 46(3), 230-241.
- Diakoulaki, D., Mavrotas, G. and Papayannakis, L. (1995). "Determining objective Weights in Multiple Criteria Problems: The CRITIC Method", *Computers & Operations Research*, 22(7), 763-770.
- "Eco Innovation Index 2022: Indicators and Methodology", <https://circabc.europa.eu/ui/group/96ccdec11b4-4a35-a046-30e01459ea9e/library/ddb0a147-f2fc-4555-849a-215c95ba592d/details>, (Accessed: 01.09.2023).
- European Commission, E. (2014). "Towards a Circular Economy: A Zero Waste Programme for Europe DG Environment", https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:50edd1fd-01ec-11e4-831f-01aa75ed71a1.0001.01/DOC_1&format=PDF, (Access Date: 17.04.2023)
- Fishburn, P.C. and Keeney, R.L. (1974). "Seven Independence Concepts and Continuous Multiattribute Utility Functions", *Journal of Mathematical Psychology*, 11(3), 294-327.
- Garcia-Bernabeu, A., Hilario-Caballero, A., Pla-Santamaria, D. and Salas-Molina, F. (2020). A Process Oriented MCDM Approach to Construct A Circular Economy Composite Index"i *Sustainability*, 12(2), 618.
- Gautam, M. and Agrawal, M. (2021). "Greenhouse Gas Emissions from Municipal Solid Waste Management: A Review of Global Scenario", *Carbon Footprint Case Studies*, 123-160.
- Giurco, D. (2020). "Ensure Sustainable Consumption and Production Patterns", *Mining, Materials, and the Sustainable Development Goals (SDGs)*, CRC Press, USA.
- Kaklauskas, A., Zavadskas, E.K., Naimavicienė, J., Krutinis, M., Plakys, V. and Venskus, D. (2010). "Model for A Complex Analysis of Intelligent Built Environment". *Automation in Construction*, 19(3), 326-340.
- Kaya, S.K., Ayçin, E. and Pamucar, D. (2022). "Evaluation of Social Factors within the Circular Economy Concept for European Countries", *Central European Journal of Operations Research*, 31, 73-108.
- Khaw-ngern, K., Peuchthonglang, P., Klomkul, L., & Khaw-ngern, C. (2021). "The 9Rs Strategies for the Circular Economy 3.0", *Psychology and Education*, 58(1), 1440-1446.
- Kilemo, D.B. (2022). "The Review of Water Use Efficiency and Water Productivity Metrics and Their Role in Sustainable Water Resources Management", *Open Access Library Journal*, 9(1), 1-21.
- Kirchherr, J., Reike, D. and Hekkert, M. (2017). "Conceptualizing the Circular Economy: An Analysis of 114 Definitions", *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221-232.
- Konuşkan, Ö., Mühendisliği, A. E., & Uygun, Ö. (2014). Çok Nitelikli Karar Verme (Maut) Yöntemi ve bir Uygulaması. *Ömer Halisdemir Üniversitesi: Niğde, Turkey*.
- Lacko, R., Hajduová, Z. and Zawada, M. (2021). "The Efficiency of Circular Economies: A Comparison of Visegrád Group Countries". *Energies*, 14(6), 1680.
- Lieder, M. and Rashid, A. (2016). "Towards Circular Economy Implementation: a Comprehensive Review in Context of Manufacturing Industry", *Journal of Cleaner Production*, 115, 36-51.
- Liu, C., Jiang, H., Badulescu, D. and Bac, D.P. (2022). "Achieving Zero Hunger Goal through Minimizing Waste in Food Supply Chain: Evidence from Asian Emerging Region", *Sustainability*, 14(10), 5930.
- Løken, E. (2007). "Use of Multicriteria Decision Analysis Methods for Energy Planning Problems", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(7), 1584-1595.

- MacQueen, J. (1967). "Some Methods for Classification and Analysis of Multivariate Observations", *Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, Statistics, University of California Press, Berkeley, 281-297.
- Marino, A. and Pariso, P. (2020). "Comparing European Countries' Performances in the Transition Towards the Circular Economy", *Science of The Total Environment*, 729, 138142.
- Mazur-Wierzbicka, E. (2021). "Towards circular economy-A comparative analysis of the countries of the European Union", *Resources*, 10(5), 49.
- Mies, A. and Gold, S. (2021). "Mapping the Social Dimension of the Circular Economy", *Journal of Cleaner Production*, 321, 128960.
- Mont, O. and Plepys, A. (2008). "Sustainable Consumption Progress: Should We Be Proud or Alarmed?", *Journal of Cleaner Production*, 16(4), 531-537.
- Ngan, S.L., How, B.S., Teng, S.Y., Promentilla, M.A.B., Yatim, P., Er, A.C. and Lam, H.L. (2019). "Prioritization of Sustainability Indicators for Promoting the Circular Economy: The Case of Developing Countries", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 111, 314-331.
- Pineiro-Villaverde, G. and García-Álvarez, M.T. (2020). "Sustainable Consumption and Production: Exploring the Links with Resources Productivity in the EU-28", *Sustainability*, 12(21), 8760.
- Rather, R.A., Wani, A.W., Mumtaz, S., Padder, S.A., Khan, A.H., Almohana, A.I., Almojil, S.F., Alam, S.S. and Baba, T.R. (2022). "Bioenergy: A Foundation to Environmental Sustainability in A Changing Global Climate Scenario", *Journal of King Saud University-Science*, 34(1), 101734.
- RELX, SDG Resoure Centre (2022). "Bibliometric Analysis of Scientific Publications on "Sustainable Development Goals" with Emphasis on "Responsible Consumption and Production" Goal (2015–2019)", *Responsible consumption and production*, <https://sdgresources.relx.com/features/sdg-12-graphic>, (Accessed: 21.08.2023).
- Robaina, M., Murillo, K., Rocha, E. ve Villar, J. (2020). "Circular Economy in Plastic Waste-Efficiency Analysis of European Countries", *Science of The Total Environment*, 730, 139038.
- Saad, M.H.M., Hamdan, N.M. and Sarker, M.R. (2021). "State of the Art of Urban Smart Vertical Farming Automation System: Advanced Topologies, Issues and Recommendations", *Electronics*, 10(12), 1422.
- Saja A. Majeed, The Institution of Engineers Sri Lanka (IESL), (2021). "Sustainable Development Goal (SDG 12): 'Responsible Consumption and Production'", <https://iesl.lk/SLLEN/55/SDG.php>, (Accessed: 15.07.2023).
- Sharma, H.B., Vanapalli, K.R., Samal, B., Cheela, V.S., Dubey, B.K. and Bhattacharya, J. (2021). "Circular Economy Approach in Solid Waste Management System to Achieve UN-SDGs: Solutions for Post-COVID Recovery", *Science of The Total Environment*, 800, 149605.
- Škrinjarčić, T. (2020). "Empirical Assessment of the Circular Economy of Selected European Countries", *Journal of Cleaner Production*, 255, 120246.
- Smol, M. (2021). "Inventory and Comparison of Performance Indicators in Circular Economy Roadmaps of the European Countries", *Circular Economy and Sustainability*, 3, 557-584.
- Tetteh, E., Amankwa, M. and Yeboah, C. (2021). "Emerging Carbon Abatement Technologies to Mitigate Energy-Carbon Footprint-A Review", *Cleaner Materials*, 2, 100020.
- Ūsas, J., Balezentis, T. and Streimikiene, D. (2021). "Development and Integrated Assessment of the Circular Economy in the European Union: The Outranking Approach", *Journal of Enterprise Information Management*, DOI:10.1108/JEIM-11-2020-0440
- Walker, A.M., Opferkuch, K., Lindgreen, E.R., Simboli, A., Vermeulen, W.J. and Raggi, A. (2021). "Assessing the Social Sustainability of Circular Economy Practices: Industry Perspectives from Italy and the Netherlands", *Sustainable Production and Consumption*, 27, 831-844.
- Yagi, M. and Kokubu, K. (2020). "A Framework of Sustainable Consumption and Production from the Production Perspective: Application to Thailand and Vietnam", *Journal of Cleaner Production*, 276, 124160.
- Yuan, X., Su, C.-W., Umar, M., Shao, X. and Lobont, O.-R. (2022). "The Race to Zero Emissions: Can Renewable Energy Be the Path to Carbon Neutrality?", *Journal of Environmental Management*, 308, 114648.

Evaluation of Technology-Based Sustainable Practices in Logistics Service Providers by Content Analysis and SWARA Method

Bihter Karagöz Taşkın¹ , Macide Berna Çağlar² 

ABSTRACT

Purpose: The purpose of this study is to evaluate the potential of sustainability-related activities of Fourth Party Logistics (4PL) service providers and their technologically based solutions.

Methodology: It aims to evaluate alternative approaches and measure the relative importance of the technology solutions preferred by 4PL service providers within the context of sustainability efforts, first by content analysis and then by using SWARA method, in order to assess the technologically based solutions and sustainability potentials of 4PL service providers.

Findings: The information on the websites was therefore assembled in light of the data obtained, and a situation assessment was made. In the context of this study, it has been found that "Data-Driven Decision Making" possesses the highest level of significance among technology-based sustainable practices. "Vehicle Tracking Systems Technology", on the other hand, has been ranked as having the least amount of significance.

Originality: This research evaluates digital sustainable activities on 4PL enterprises, in contrast to earlier studies. We can therefore learn more about how contemporary technology and sustainable practices converge in the logistics sector by examining the effects of digital sustainable activities on 4PL enterprises.

Keywords: Fourth-Party Logistics (4PL), Sustainability, Technology.

JEL Codes: L90, L53, O30, M15.

İçerik Analizi ve SWARA Yöntemi ile Lojistik Hizmet Sağlayıcılarında Teknoloji Tabanlı Sürdürülebilir Uygulamaların Değerlendirilmesi

ÖZET

Amaç: Bu çalışmanın amacı, Dördüncü Taraf Lojistik (4PL) hizmet sağlayıcılarının sürdürülebilirlik ile ilgili faaliyetlerinin potansiyellerini ve teknolojik temelli çözümleri açısından değerlendirmektir.

Yöntem: Bu çalışmada, 4PL hizmet sağlayıcılarının teknolojik temelli çözümlerini ve sürdürülebilirlik potansiyellerini değerlendirmek amacıyla, önce içerik analizi ve ardından SWARA yöntemi kullanılarak, sürdürülebilirlik çabaları bağlamında 4PL hizmet sağlayıcıları tarafından tercih edilen teknoloji çözümlerinin göreceli önemini ölçmeyi ve alternatif yaklaşımları değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

Bulgular: Araştırma sonucunda 4PL hizmet sağlayıcılarının internet sitelerinden elde edilen veriler bir araya getirilmiş ve bir durum değerlendirmesi yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında, teknoloji tabanlı sürdürülebilir uygulamalar arasında "Veri Odaklı Karar Verme"nin en yüksek anlamlılık düzeyine sahip olduğu tespit edilmiştir. "Araç Takip Sistemleri Teknolojisi" ise en az öneme sahip teknoloji olarak sıralanmıştır.

Özgünlük: Daha önceki çalışmalardan farklı olarak; bu çalışmada dijital sürdürülebilir faaliyetler 4PL işletmeler üzerinde araştırılmıştır. Böylelikle, dijital sürdürülebilir faaliyetlerin 4PL (Dördüncü Parti Lojistik) işletmeleri üzerindeki etkisinin araştırılması, modern teknoloji ve sürdürülebilirlik uygulamalarının lojistik sektöründe nasıl kesiştiğini anlamamıza katkıda bulunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Dördüncü Taraf Lojistik (4PL), Sürdürülebilirlik, Teknoloji.

JEL Kodları: L90, L53, O30, M15.

¹ İstanbul Arel University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Department of Logistics Management, İstanbul, Türkiye

² Başkent University, Kahramankazan Vocational School, Department of Management and Organization, Ankara, Türkiye

Corresponding Author: Macide Berna Çağlar, mbcaglar@baskent.edu.tr

DOI: 10.51551/verimlilik.1349615

Research Article | Submitted: 24.08.2023 | Accepted: 30.05.2024

Cite: Çağlar, M.B. and Karagöz Taşkın, B. (2024). "Evaluation of Technology-Based Sustainable Practices in Logistics Service Providers by Content Analysis and SWARA Method", *Verimlilik Dergisi*, 58(3), 359-374.

1. INTRODUCTION

Digital logistics refers to the use of technology-based applications in logistics processes. These technologies are employed to optimize logistics functions such as supply chain management, inventory management, transportation, storage, and distribution. Sustainability, on the other hand, aims to ensure the long-term viability of activities by considering environmental, economic, and societal factors. The concepts of digital logistics and sustainability come together to assist businesses in conducting more efficient and environmentally-friendly logistics operations in today's context. Digital logistics holds the potential to enhance sustainability as it offers businesses more efficient, optimized, and environmentally conscious logistics processes. However, to harness these advantages, it is crucial for businesses to select appropriate technologies, utilize data correctly, and develop strategies that align with sustainability goals.

The ability of logistics service providers to support sustainable supply chain practices is becoming more apparent, and this alignment of logistical actions among supply chain participants defines more sustainable and creative logistics business models (Boschian and Paganelli, 2016). Lead logistics providers, referred to as 4PL service providers, play a crucial role in establishing a supply chain. They undertake many of the same functions as Third-Party Logistics (3PL) service providers, but they have broader responsibilities and assist clients in achieving strategic objectives. A logistics provider functioning as a 4PL becomes a true partner with the customer, aiming to create an economical supply chain. 4PLs typically manage every moving part in the customer's supply chain and serve as the single point of contact for all parties (Matyushenko et al., 2019).

4PLs encompass carriers, warehouses, reverse logistics, and more. They eliminate silos and provide end-to-end visibility and transparency (Hawkins, 2022). Logistics services providers are becoming more and more conscious of how an effective logistics system may give their company a long-term competitive advantage. Because it is exceedingly difficult for a competitor to duplicate, a competitive advantage established upon a well-planned and implemented logistics strategy can be sustainable. Any organization's challenge is to concentrate its efforts on meeting the client needs that present the most potential for building a long-term competitive advantage (Nowodziński, 2014).

A thorough examination of 4PL companies' sustainability initiatives is necessary since they are in a unique position to impact and enhance the sustainability of supply chains as supply chain management integrators (Mehmann and Teuteberg, 2016). Implying that companies offering logistics services ought to focus on innovation to bring about lasting efficiencies and effectiveness that will benefit society as a whole (Gruchmann, et al., 2018). It is crucial to evaluate the technological prowess of 4PL providers because the use of cutting-edge technology solutions is essential to improving the efficiency and efficacy of 4PL services. Supply chains that are more robust and responsive and can adapt to changing demands from customers and stakeholders are possible when sustainability and technology are successfully included into 4PL services. Because it is exceedingly difficult for a competitor to duplicate, a competitive advantage established upon a well-planned and implemented logistics strategy can be sustainable.

In Mageto's (2022) study, limited financing, weak regulatory framework, lack of appropriate skills, senior leadership, and lack of technologies are highlighted as challenges that prevent logistics businesses from achieving their sustainability goals. By leveraging technology and expertise, 4PL businesses help streamline operations, reduce costs and improve sustainability in the logistics industry. It uses technology and analytics to provide end-to-end visibility, streamline operations and improve overall supply chain performance. In today's global competitive environment, technology and sustainability are two important factors for businesses that offer 4PL services to provide an efficient logistics service at a high service level. Based on these premises, a two-stage process was used to (1) generate knowledge using qualitative methods and (2) closely evaluate the findings using expert interviews.

This study aims to identify the digital sustainability practices adopted by 4PL service providers, which are new generation logistics businesses operating as supply chain management integrators and offering customer-oriented solutions. In order to achieve this goal, first content analysis and then SWARA method were used. For this purpose, interviews with experts were conducted after content analysis. For this purpose, interviews with experts were conducted after content analysis. As a result, our two-stage procedure successfully combined the collection of qualitative data with expert validation, enhancing the validity and reliability of our study findings. This highlights the value of a multifaceted approach in generating and evaluating information that can be used in various sectors to draw accurate and meaningful conclusions.

2. SUPPLY CHAIN MANAGEMENT and SUSTAINABILITY

With the Fourth Industrial Revolution, it is assumed that the systematic integration of digitization and technologies into businesses' production and logistics processes will lead to higher performance, lower

costs, and consequently contribute to long-term growth and the sustainable assurance of competitive advantages (Woschank et al., 2021). Focusing on supply chains can be seen as a step towards a broader environmental policy. Embracing and enhancing sustainability emerges as a challenging process that takes into account the entire supply chain, from the initial processing of raw materials to the delivery to the customer. Supply chain managers engage in sustainability efforts across various business processes, including logistics, strategic planning, information services, marketing, sales, and finance, as they are concerned with every aspect of production (Dey et al., 2011).

Table 1. Sustainability dimensions and criteria

<i>Sustainability Dimensions</i>	<i>Sustainability Criteria</i>	<i>Definition</i>
Economy	Logistics cost	Changes in logistics cost savings in terms of shipping, warehousing, inventory handling and management costs
	Delivery time	Delivery improvements, changes in cycle time and delivery time
	Shipping delay	Changes in the amount of delayed shipment
	Inventory	Changes in inventory volume
	Loss/damage	Changes in the amount of lost and/or damaged goods resulting from damage, theft and accidents
	Service Prediction	Changes in utilization rate (load factor) at frequent intervals Changes in demand uncertainties
	Reliability	Changes in the quality of logistics in terms of transport, inventory and warehousing, e.g. perfect order, on-time deliveries
	Flexibility	Changes in scheduling conditions, eg percentage of unscheduled shipments without undue delay
	Transport volume	Changes in the total volume of transported cargo
	Scope of	Suitable applications for digitalization in logistics processes
Environment	Resource efficiency	Non-renewable resource consumption facilities in vehicle and transportation use
	Process energy	Changes in energy requirements
	Process emissions	Changes in fuel consumption, CO ₂ and other greenhouse gas emissions
	Waste Pollution	Changes in the amount of recyclable waste Changes in air, noise and water pollution
	Land use impact	Changes in the area of land allocated to transportation facilities and land ratios are lost.
Social	Development benefits	Open source appropriate technology applications for self-directed sustainable development
	Effects	Social effects of digitalization in logistics
	Health	Disease changes caused by the side effects of transportation (pollution, noise...)
	Security	Changes in the amount of accidental disability and death
	Labor models Acceptance	Changes in labor intensity, employment plans and types of jobs Socio-economic, societal and market acceptance of digital applications

Source: Kayikci, 2018

Table 1 illustrates an ecosystem that depicts how digitization has influenced sustainability in logistics in terms of economic, environmental, and social dimensions. Accordingly, sustainability dimensions can be listed as follows (Kayikci, 2018):

Economic: An affordable system that offers efficient, collaborative solutions, transportation mode options, and supports the local economy.

Environmental: Utilizes technologies that reduce greenhouse gas emissions, pollution, and waste, minimizes the consumption of non-renewable resources, and utilizes technologies that reuse and recycle energy sources and components.

Social: Ensures the secure fulfillment of individuals'/communities' basic access needs, supports a good quality of life, and promotes equality across and within generations.

Sustainable digital logistics appears as a broader concept encompassing supply chain integration, data-driven decision-making, and warehouse management. Within this concept, it includes smart factories, the computational capabilities of integrated systems, warehouse integration, and transportation functions. Thus, it can respond to dynamic customer demands. Smart factories enable the use of sustainable methods such as recycling, reusing, and remanufacturing in production to reduce waste and enhance cost

optimization. On the other hand, the Internet of Things (IoT) enables real-time tracking of products and packages through cloud-based enterprise management systems, develops warehouse management solutions, constantly captures past and future projections, and enables better decisions along the value chain (Parhi et al., 2022).

In the context of strategic management, timing deliveries leads businesses to find eco-friendly and sustainable solutions due to high economic and environmental costs. In supply chain management, examples of sustainability-oriented strategies and technologies include reducing/renewing packaging to optimize storage and maximize capacity, utilizing recyclable materials to reduce waste, and other capacity management strategies and technologies. Additionally, digitizing procedures, accurately measuring and reporting greenhouse gas emissions resulting from the movement of goods and related logistics operations, help reduce negative environmental impacts and contribute to environmental protection (Remondino, Zanin, 2022).

3. SUSTAINABILITY and TECHNOLOGY-BASED SOLUTIONS in LOGISTICS SERVICE PROVIDERS

The transformation of businesses into a digital form is generally referred to as Industry 4.0. In this context, the way businesses operate undergoes a complete change, with all functions, from production to other activities both within and outside the industry, experiencing a significant transformation (Sony and Naik, 2020). Therefore, the global industrial landscape has been changing significantly in recent years due to successive technological advancements, developments, and innovations (Lampropoulos et al., 2019). The concept of Industry 4.0 signifies the Fourth Industrial Revolution in the 21st century, characterized by rapid changes in technology, industries, societies, and processes due to increased interconnectedness and intelligent automation (Sony and Naik, 2020). One of the most distinctive features of Industry 4.0 is the combination of various existing or new technologies to create more complex, novel technologies (Banger, 2018b: 463).

Logistics and supply chain management are subject to rapid changes due to technological, social, and market developments in the global economy (Henke et al., 2020). In supply chain management, Industry 4.0 encompasses the development and integration of innovative information and communication technologies into the industry (Sharma, 2018). In terms of supply chain management, 4PL service providers play a significant role. 4PL service providers are supply chain integrators who bring together and manage their own organization's resources, capabilities, and technology. Additionally, 4PL businesses provide comprehensive supply chain solutions for multiple participants, including customers, vendors, 3PL service providers, and information technology service providers, on an integrated platform (Xiu and Zheng, 2020). The transition from error-prone paper-based processes in warehouses to digital systems such as Warehouse Management Systems (WMS) that enable automated workflows is a clear example of Industry 4.0's impact on storage and logistics. Furthermore, the emphasis of Industry 4.0 on transparency and the operation of large-scale systems with advanced technology strongly manifests itself in the rise of 4PL service networks (Hawkins, 2022).

Aylak et al. (2020), researched to identify trends in the logistics sector in Türkiye. In 2017 and beyond, the identified trends in the logistics field are supergrid logistics, driverless vehicles, robotics and automation, the internet of things, cloud logistics, and big data. Çakılcı and Öztürkoğlu (2021) evaluated Industry 4.0 advances in the logistics sector. Also, the current logistics procedures, how they have changed in response to the new industrial revolution, potential difficulties that may occur as a result of this transformation, and proposed remedies have all been discussed. Bilgiç et al. (2020) attempted to explain, through a literature review, the unique consequences of digitalization on logistics organizations, notably on their business processes, and what type of impacts it may have in the future. Karlı and Tanyaş (2020) conducted a thorough assessment of smart logistics studies to identify gaps in the literature and inform future research on the subject. Most of the studies in Turkey are treated as a conceptual and literature study. There are also studies based on the business and in the form of status analysis.

Yang and Lin (2023) developed and examined a model that includes digitization, adopting a digital logistics platform, the institution's digital transformation, and corporate performance. They defined digitalization as the merging of digital and physical worlds in corporate processes through various information and communication technologies (Yang and Lin, 2023). Zhang et al. (2023) analyzed the impact of digital logistics on the regional economy in their study. Digital logistics is a concept that reduces the need for manual labor in various corporate applications by explaining the transportation of goods as an automatic and digital process. Furthermore, they emphasized the use of blockchain technology, machine learning, the internet of things, and artificial intelligence in improving the digital logistics process in supply chain management, highlighting their almost ubiquitous use in every business activity. They stated that the supply chain is affected by the digital logistics process in a variety of ways, such as providing notifications to

customers, supply chain forecast analysis, warehouse management, transportation management, and inventory management. (Zhang et al.,2023).

Sharakhin et al. (2021), investigated the impact of insourcing and outsourcing digital logistics solutions on the efficiency of a business operating in the Supply Chain 4.0 environment. They stated that integrating digital technologies into supply networks and industrial processes is the goal of digital logistics. They argue that the latest digital technologies evaluate a broad consumer base and can help predict product demand in a dynamic environment through instant calculations (Sharakhin, et al., 2021). To stay competitive in the freight forwarding services market, businesses must utilize a wide range of electronic data exchange platforms in their logistical operations. The key to the high performance of multimodal transport and logistics systems is the introduction of new information and communication channels between the various elements in the chain of transportation and logistics.

Additionally, the degree of digitization of these systems' business processes is a crucial criterion for determining their efficacy (Dmitriev and Plastunyak, 2019). Digital logistics improves economic efficiency for both consumers and partners. These might be expressed as technological efficiency, competitiveness, commercial gains, and socioeconomic effect (Saparbaevna, et al.,2021). Logistics services providers play a critical role in the global supply chain by transporting goods and services from suppliers to customers. Globalization has been an important factor in defining company strategies. Logistics services providers are defined as "any business that provides logistics services, including those businesses commonly referred to as 3PL, 4PL, LLP, etc." (Singhdong et al., 2021).

Based on this definition 4PL service providers typically possess advanced technology platforms, including integration with ERPs, e-commerce platforms, retail partners, and marketplaces. This facilitates the management of complex storage and fulfillment networks for 4PLs (Roseburgough, 2023).

The use of technology, including mobile technology, is widespread among 4PL service providers, as these businesses require real-time communication with all stakeholders they facilitate. Particularly, changing demands and needs from customers, quality concerns, and the increasing need for more visibility into their products during transportation are driving the adoption of technology (Ormanov, 2021: 16). 4PL service providers play a significant role in enhancing efficiency, visibility, and collaboration by offering technology-based solutions. The following are some of the priority applications explained:

3.1. Integrated Technology Platforms

An integrated technology platform for supply chain management is a comprehensive system that combines various software, tools, and technologies to optimize and streamline processes involved in managing the flow of goods, services, and information throughout the entire supply chain. The purpose of such a platform is to enhance visibility, efficiency, collaboration, and decision-making within the supply chain ecosystem. These platforms enable organizations to optimize their supply chain processes, increase customer satisfaction, reduce costs, and effectively respond to changing market dynamics.

Platforms that facilitate the integration of management systems such as Transportation Management Systems (TMS), Yard Management Systems (YMS), and Warehouse Management Systems (WMS) can organize all activities. The goal of integration platforms is to ensure the smooth execution of the supply chain with complete synchronization. This synchronization is carried to advanced stages and from the private sector, for example; It can be converted into the creation of inter-port planning models (Taha et al., 2017: 137).

4PL service providers also benefit from digital platforms that integrate various systems, including TMS, WMS, and Enterprise Resource Planning (ERP) software. This integration enables real-time data sharing across the entire supply chain, ensuring seamless communication and end-to-end visibility. In this context, these platforms become a key element of efficient and effective logistics management, leading to enhanced operational performance, cost savings, and improved customer satisfaction.

3.2. Digital Collaboration

Amidst the increased competition brought about by globalization, the dynamic development of information technology has led to significant changes in economic elements. One of the key factors contributing to this goal is the rapid execution of operations, along with process efficiency and effectiveness, necessitating collaboration coordination within the supply chain (Zurek, 2014). In this context, the high speed of operations emerges as a crucial factor for success. This speed not only enhances process efficiency and effectiveness but also contributes to maintaining a competitive advantage in the global market. However, achieving this increased operational speed requires seamless coordination across the entire activity chain. As a result, the interdependence of various components gives rise to synchronized efforts to achieve optimal outcomes and comprehensive objectives.

The role of logistics service providers often involves managing and analyzing large volumes of data, controlling transportation management, overseeing other 3PLs and transportation service providers, managing storage operations, or any other part of the supply chain. Transparency is key for a 4PL that can also function as a 3PL. For instance, they must actively collaborate with clients to demonstrate the limitations and counterbalances they bring, such as privacy agreements that restrict information and data exchange with other 3PLs and transportation, thereby fostering transparency (Matyushenko et al., 2019).

4PL service providers utilize digital collaboration tools like cloud-based platforms and electronic data interchange (EDI) to facilitate seamless communication, document exchange, and collaboration among supply chain stakeholders.

3.3. IoT and Sensor Technology

The Internet of Things (IoT) refers to systems, machines, and programs that communicate and collaborate with each other and with humans. This concept encompasses all sub-systems, processes, internal and external objects, and connects them to supplier and customer networks (Taha et al., 2017: 51).

One of the most prominent trends in the logistics and transportation industry is IoT, which leverages advanced communication technologies such as machine-to-machine (M2M) communication to connect almost every object to the internet (Borgi, 2017). As transportation systems advance and vehicles are equipped with increasingly sophisticated sensing, networking, and communication capabilities, it is anticipated that the Internet of Things will have a significant impact on logistics as vehicles interact with each other and their environment (Hopkins and Hawking, 2018). To successfully implement the Internet of Things in logistics, a strong collaboration and a general consensus on investing at a high level of engagement among different players and competitors in the supply chain are required (Macaulay et al., 2015: 25).

4PLs utilize IoT devices and sensors to track and monitor goods, equipment, and vehicles in real-time. This data enables (1) proactive decision-making, (2) optimization of asset utilization, (3) inventory level optimization, and (4) enhancement of overall supply chain efficiency.

3.4. Cloud-Based Solutions

Cloud computing represents a significant development in information and communication technologies in terms of computing, storage, and service capabilities (Lee et al., 2018). Cloud technology has become a powerful tool for supply chain management by sharing resources in real-time, offering diverse services, storing applications, and enabling access, thereby fostering the growth of supply chain management and cost savings while creating more business opportunities and a competitive environment (Puică, 2020). One of the most important advantages of cloud computing is its facilitation of platform-based new business models and increased efficiency (Miscevic et al., 2018).

Cloud-based services have become a popular method for connecting and supporting business processes across the supply chain, thus enhancing efficiency. This characteristic of the cloud provides stakeholders with access from any platform, at any time, and from any location, enabling real-time visibility into inventory levels, shipping processes, and shipment tracking through platforms that can deliver these insights (Karvela et al., 2015).

Cloud solutions provide secure storage, accessibility, and data sharing among various parties, facilitating real-time communication, collaboration, and data exchange. One of the most important advantages of cloud computing is its facilitation of platform-based new business models and increased efficiency (Miscevic et al., 2018).

3.5. Robotic Technology

The use of robotics in logistics, such as Autonomous Guided Vehicles (AGVs), Autonomous Mobile Robots (AMRs), and others, enhances the speed and efficiency of performing various tasks (Ormanov, 2021: 23). In modern logistics, numerous autonomous technology applications exist that demonstrate the safety and success of driverless vehicles, particularly in enclosed environments. Analysts anticipate a proliferation of applications not only in storage operations but also throughout the entire supply chain, especially in outdoor logistics operations, long-distance transportation, and last-mile delivery (Miscevic et al., 2018). Robots, defined as devices that largely or partially move autonomously, interact physically with humans or their environment, and can adapt their behavior based on sensor data, play a significant role in Industry 4.0. In human-robot collaboration, robots assist humans in working together. Since replacing humans entirely is not straightforward, machines take on tasks like lifting heavy loads or transporting bulky items from one place to another. The goal of collaboration is to combine human and machine skills to achieve higher outputs more precisely and accurately (Goel and Gupta, 2019: 157).

Robotic technology plays a crucial role in 4PL service operations by enhancing sustainability, automating warehouses, ensuring energy efficiency, reducing waste and errors, optimizing space utilization, and addressing safety and occupational health concerns.

3.6. Advanced Analytics and Predictions

The combination of the Internet of Things and cloud usage enables the connection of different equipment and the collection of vast amounts of data, leading to significant data storage (Gedik, 2021). Through the use of big data technology and analytics, working with data stacks enables (1) the creation of innovative perspectives, (2) the establishment of a foundation for businesses to achieve higher performance, and (3) the ability for businesses to enter untapped markets and create new markets (Banger, 2018a: 193).

Data analytics is considered to contribute to the smoother and more efficient operation of supply chains (Dfreight, 2022). Predictive analytics in the field of supply chains is used to forecast trends in goods flow, costs, and service levels. Furthermore, the importance of big data analytics techniques and strategies is emphasized in areas such as risk analysis, supply chain management, transportation, revenue management, marketing, inventory management, and forecasting. In practice, data analytics is a technique that involves analyzing large amounts of data to uncover information such as market trends and customer preferences that can help businesses improve their operations. It can also be used to predict future events and situations, aiding managers in deciding whether to change business strategies (Giusti et al., 2019).

4PL providers offer services as a single point of contact and often take responsibility for managing the entire supply chain network using advanced technologies and analytics to drive optimization and decision-making (Roseburgough, 2023). In this context, applying advanced analytics and predictive models to the vast amount of data generated within the supply chain enables 4PLs to identify patterns, forecast demand, optimize inventory levels, and provide valuable insights to clients for informed business decisions.

4. PURPOSE and METHOD of RESEARCH

The paper examines how the 4PL industry is changing and how crucial a role they are playing in advancing supply chain sustainability. In order to highlight the importance of Lead Logistics Providers, also known as 4PL service providers, in promoting sustainability and innovation in logistics, significant topics and findings from the mentioned sources have been summarized and examined for this literature study.

The literature focuses on how logistics service providers' capacity to support sustainable supply chain operations is becoming more widely acknowledged. According to Boschian and Paganelli (2016), more innovative and sustainable logistics business models are created when supply chain partners coordinate their logistical actions. This alignment denotes a change in the logistics sector's focus on sustainable practices.

Matyushenko et al. (2019) highlight the crucial function 4PLs provide in supply chains. They not only perform tasks akin to those performed by 3PLs, but they also have additional duties that help clients accomplish their strategic goals. The goal of 4PLs is to manage all moving elements and act as a single point of contact for all stakeholders in order to build economically effective supply chains.

According to Supply Chain Dive (Hawkins, 2022), 4PLs go beyond conventional logistics tasks by including carriers, warehouses, reverse logistics, and more. By doing away with silos, this comprehensive strategy gives supply chains complete visibility and transparency. It emphasizes the comprehensive nature of 4PL services.

Nowodziski (2014) emphasizes the potential for a carefully thought out and carried out logistics strategy to create a long-lasting competitive advantage. The challenge competitors face in replicating such an edge highlights its long-term viability. The strategic value of logistics in corporate operations is emphasized by this idea.

4PLs play a special role in promoting supply chain sustainability since they are integrators of supply chain management (Mehmann and Teuteberg, 2016). From this vantage point, it is clear that 4PL enterprises' sustainability actions must be carefully examined because they have the potential to dramatically affect and enhance supply chains' overall sustainability.

The need for innovation in logistics services is emphasized by Gruchmann et al. (2018) in order to attain long-term efficacy and efficiency. This suggests that logistics service providers, such as 4PLs, should concentrate on cutting-edge technology and creative fixes for the good of society as a whole.

The literature examined here highlights the growing significance of logistics service providers, especially 4PLs, in encouraging sustainability and innovation within supply chains. These suppliers are positioned as key players who influence efficient supply chain operations, build long-term competitive advantages, and

develop sustainable supply chain practices. In their pursuit of sustainability goals, overcoming obstacles and embracing technology and innovation are crucial.

The purpose of this research is to examine the sustainability potential and technology-based solutions of 4PL service providers. In addition, 4PL aims to determine the activities of service providers in the field of sustainability and the technology solutions they prefer for these activities. This study also aims to determine the importance levels of technology solutions determined as a result of content analysis by using SWARA (Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis) method.

The study consists of two stages. In the first stage, a content analysis covering the web pages was made to determine the sustainability potential and technology-based solutions of the 4PL service providers operating in our country. In the light of the data obtained from the content analysis, the information on the internet pages was compiled and a situation determination was made. The second stage is the importance of sustainable digital solutions offered by 4PL service providers is evaluated by the SWARA method by taking expert opinion.

4.1. Content Analysis and Findings

In this study, firstly, the impact of sustainability and digitalization on 4PL logistics is explained. Sustainable practices in 4PL logistics focus on minimizing environmental impact, reducing waste, and promoting responsible supply chain management. In light of all this, the websites of 50 pre-determined 4PL service providers who are members of UND (International Transporters Association) and UTIKAD (International Transport and Logistics Service Providers Association) were examined between February 2023 and May 2023 to determine their sustainability potential and technology-based solutions. Subsequently, expert opinions were utilized to determine the importance levels of criteria obtained based on information accessed from the relevant 4PL business websites. In this context, the primary sustainable practices in 4PL service providers can be explained as follows:

Carbon Footprint Reduction: 4PL service providers can analyze transportation routes, consolidate shipments, and utilize data analytics to reduce carbon emissions and environmental impact.

Green Transport: 4PL service providers can select transportation partners who adhere to sustainability standards, such as using fuel-efficient vehicles, implementing emission reduction strategies, and promoting sustainable practices in their operations.

Sustainable Packaging: 4PL service providers can reduce waste by implementing sustainable packaging practices, including reducing material usage and incorporating recycling.

Collaboration and Stakeholder Engagement: Sustainability in 4PL involves actively engaging with stakeholders, including customers, suppliers, and local communities.

Ethics and Social Responsibility: Sustainability in 4PL also encompasses elements of social responsibility.

Reverse Logistics: Additionally, 4PLs can effectively manage reverse logistics processes, ensuring proper recycling and disposal of products.

Supply Chain Optimization: 4PLs can facilitate supply chain operations by employing data analytics and optimization techniques to optimize routes, consolidate shipments, and reduce empty backhauls. These efforts contribute to lower carbon emissions, energy consumption, and overall environmental impact.

Green Supply Chain Management: A 4PL service provider can collaborate with suppliers and stakeholders to implement sustainable practices, such as selecting eco-friendly transportation modes, optimizing packaging, and promoting responsible resource usage.

Environmental Reporting and Compliance: 4PL service providers can assist clients in monitoring and reporting environmental performance, complying with sustainability regulations, and implementing sustainability initiatives throughout the supply chain.

Furthermore, 4PL service providers play a significant role in enhancing efficiency, visibility, and collaboration by offering technology-based solutions. Following content analysis, the prioritized technology solutions preferred by 4PL service providers are listed below:

Integrated Technology Platforms: 4PL service providers utilize digital platforms that integrate various systems, including Transportation Management Systems (TMS), Warehouse Management Systems (WMS), and Enterprise Resource Planning (ERP) software. This integration enables real-time data sharing, seamless communication, and end-to-end visibility across the supply chain.

Digital Collaboration: 4PL service providers employ cloud-based platforms and digital collaboration tools such as Electronic Data Interchange (EDI) to facilitate uninterrupted communication, document exchange, and collaboration among supply chain stakeholders.

IoT and Sensor Technology: Using IoT devices and sensors, 4PLs can track and monitor goods, equipment, and vehicles in real-time. This data enables proactive decision-making, enhances asset utilization, optimizes inventory levels, and increases overall supply chain efficiency.

Cloud-Based Solutions: Cloud solutions provide secure storage, accessibility, and data sharing among various parties, facilitating real-time communication, collaboration, and data exchange.

Robotic Technology: Robotic technology plays a crucial role in enhancing sustainability in 4PL service operations, particularly in warehouse automation, energy efficiency, waste reduction, optimal space utilization, security, and occupational safety.

Advanced Analytics and Predictions: Applying advanced analytics and predictive models to vast amounts of data within the supply chain allows 4PLs to identify patterns, forecast demand, optimize inventory levels, and provide valuable insights for informed decision-making.

4.2. Research Findings and SWARA Method

In this study, content analysis was conducted to explore technology-based sustainable practices of 4PL service providers, leading to the development of a conceptual framework. Additionally, an insight into the technology-based sustainable practices possessed by 4PL service providers operating in Turkey was revealed. Table 2 contains information related to technology-based sustainable practices to be included in the expert opinions for the assessment of importance levels within the scope of the study.

In our study, the SWARA Method, which is an expert-focused approach that allows decision-makers to prioritize their preferences, has been employed. The SWARA Method enables experts to incorporate their opinions regarding the importance levels of assessment criteria in the decision-making process, with the importance ratings determined by the experts forming the cornerstone of this method (Ecer, 2020:94).

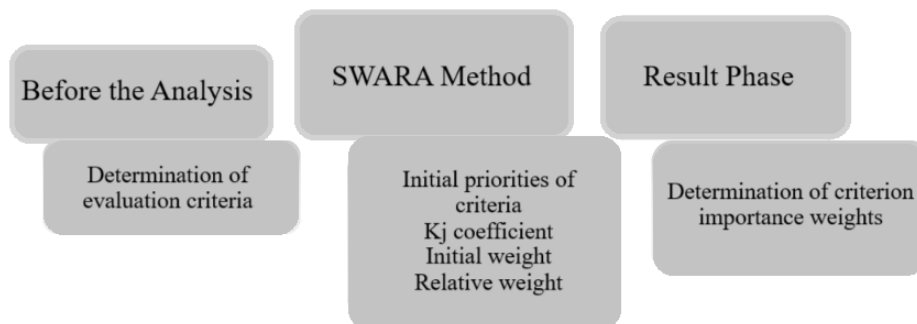


Figure 1. Steps of the SWARA method

Using the SWARA Method to determine the relative weights of the criteria can be demonstrated by following the correct sequence of the following steps (Stanujkic, 2015):

Step 1: The criteria are ranked in decreasing order of their expected importance.

Step 2: Starting from the second criterion, the participant assigns a coefficient (k_j) to each criterion, indicating its relative importance compared to the previous criterion ($s_j - 1$).

Step 3: The coefficient (k_j) is determined as follows (Equation 1):

$$k_j = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ s_j + 1 & j > 1 \end{cases} \quad (1)$$

Step 4: The recalculated weight values are determined as the importance vector values (q_j) as in Equation 2.

$$q_j = \frac{w_j}{\sum_{k=1}^n w_k} \quad (2)$$

Step 5: Here, (w_j) represents the relative weight of criterion (s_j). The relative weights of evaluation criteria are determined as follows (Equation 3):

$$w_j = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ \frac{x_{j-1}}{k_j} & j > 1 \end{cases} \quad (3)$$

Table 2. Criteria determined to be used in the study as a result of content analysis and literature review

<i>Criterion</i>	<i>Definition</i>
C1 - Data-Based Decision Making	4PL providers leverage data and analytics to support informed decision making. Uses advanced technologies such as Internet of Things (IoT) devices and data analytics tools to optimize transportation routes, reduce energy consumption, and increase overall supply chain visibility and efficiency
C2 - Digital Platforms and Marketplaces	Digital platforms and Marketplaces; facilitating efficient data sharing, real-time monitoring and analytics, it enables 4PL companies to optimize their logistics operations, reduce waste and make informed sustainability-focused decisions.
C3 - Warehouse Automation	Automation technologies such as robotics, automated storage and retrieval systems (AS/RS) optimize warehouse operations by reducing manpower, maximizing space utilization and improving inventory management. This helps to minimize energy consumption and waste while improving overall efficiency.
C4 - Green Transportation Applications	Green transportation practices; These include the use of route optimization software to minimize fuel consumption and emissions, the use of GPS tracking systems to monitor and manage vehicle performance, and the investment in alternative fuel vehicles or electric fleets to reduce carbon footprint.
C5 - Route Optimization and Planning	4PL provider businesses; technology platforms can optimize transport routes and delivery schedules, taking into account factors such as traffic conditions, fuel efficiency and customer preferences. In these; leading to reduced fuel consumption, lower emissions and improved delivery accuracy.
C6 - Sustainable Packaging and Materials Management	Technology solutions can help optimize packaging and materials management to minimize waste and improve recyclability. For example, using dimensional scanning and modeling software helps determine the most efficient packaging design and can reduce unnecessary material usage.
C7 - Vehicle Tracking Systems	4PL providers; uses tracking systems to monitor and optimize vehicle performance, track shipments and improve route planning.
C8 - Supply Chain Visibility	Technology solutions such as Internet of Things (IoT) devices, RFID tags and real-time tracking systems provide greater visibility and transparency throughout the supply chain. This allows 4PL service providers to monitor and optimize transport routes, minimize empty commutes and reduce fuel consumption.
C9 - Digital Documentation	Contracts, customs declarations etc. It reduces the number of papers used, paperwork, errors and delays by allowing for smooth change and management of the company.

Table 3. Demographic information of decision makers

<i>Decision Maker</i>	<i>Title</i>	<i>Experience</i>	<i>Sector/Working Area</i>
1	Operations Manager	17 years	Logistics
2	Assistant Professor	12 years	Transportation and logistics
3	Assistant Professor	15 years	Transportation and logistics
4	Doctor Lecturer	18 years	Logistics and supply chain
5	Assistant Professor	16 years	Transportation and logistics
6	Information Technologies Specialist	5 years	Logistics
7	Logistics Specialist	5 Years	Logistics
8	Logistics Manager	20 years	Logistics and supply chain

To examine sustainable practices and technology-based solutions at fourth-party logistics service providers the evaluations of eight experts whose information is given in Table 3. were consulted through the prepared survey form. Experts received survey forms either online or in person. It was necessary to have at least five years of academic or professional experience in the logistics sector to be selected for the expert panel. Four of the specialists who took part in the survey are faculty members in the Department of Logistics Management and have experience working in the logistics sector. In addition, 4PL, logistics information systems, and sustainability constitute the fields of study of these academicians. The other four participating experts work in corporate enterprises operating in the logistics sector.

Table 4. Calculation of criterion weights of Decision Maker - 1 by SWARA method

Criterion	Order of importance	S_i	k_j	Q_i	w_j
C4	1		1	1	0.20608
C1	2	20%	1.20	0.83333	0.17173
C8	3	30%	1.30	0.64103	0.13210
C3	4	20%	1.20	0.53419	0.11008
C2	5	10%	1.10	0.48563	0.10008
C9	6	10%	1.10	0.44148	0.05532
C5	7	30%	1.30	0.33960	0.06999
C6	8	10%	1.10	0.30873	0.06362
C7	9	15%	1.15	0.26846	0.09098

As an example, is given for the evaluation of Decision Maker-1 in Table 4 the following calculations are made for each evaluation, respectively.

Step 1: Using Equation 1, the coefficient (k_j) value is reached with the help of s_j 's.

Step 2: The importance vector values (q_j) of each criterion were calculated.

Step 3: The weights (w_j) of the criteria are calculated.

Table 5. Criterion weights

Criterion	$Cv1$	$Cv2$	$Cv3$	$Cv4$	$Cv5$	$Cv6$	$Cv7$	$Cv8$	Final Weight	Order
C1	0.17174	0.12878	0.20608	0.73771	0.01968	0.07143	0.07246	0.07246	0.11204	1
C2	0.10008	0.20608	0.15515	0.34415	0.00772	0.08929	0.03221	0.05678	0.07813	3
C3	0.11009	0.10665	0.12212	0.52269	0.05952	0.02926	0.02013	0.05407	0.07835	2
C4	0.20608	0.18735	0.14105	0.39671	0.08929	0.01463	0.00177	0.05962	0.06444	6
C5	0.06999	0.09696	0.17843	0.43297	0.03307	0.05714	0.00699	0.06901	0.06838	4
C6	0.06362	0.14810	0.12823	0.29675	0.02756	0.03657	0.01118	0.05150	0.06163	7
C7	0.09098	0.17032	0.08849	0.21140	0.00643	0.01330	0.00538	0.04905	0.03999	9
C8	0.13210	0.12265	0.19627	0.20338	0.00402	0.04571	0.04831	0.06573	0.06639	5
C9	0.05532	0.08080	0.10619	0.23254	0.01312	0.02341	0.00336	0.06260	0.04042	8

In Table 5, there are criteria weights made for 8 decision makers. The final criterion weights were obtained by finding the geometric mean of the criterion weights of each decision maker.

Table 6. Final criterion weights criterion orders

Criterion	Definiton	Order
C1	Data-Based Decision Making	1
C3	Warehouse Automation	2
C2	Digital Platforms and Marketplaces	3
C5	Route Optimization and Planning	4
C8	Supply Chain Visibility	5
C4	Green Transportation Applications	6
C6	Sustainable Packaging and Materials Management	7
C9	Digital Documentation	8
C7	Vehicle Tracking Systems	9

As seen in Table 6; based on the expert opinions gathered, it has been determined that the most important technology-based sustainable practices are "Data-Driven Decision Making". Following that, in order of importance, are warehouse automation, digital platforms and marketplaces, route optimization and planning, supply chain visibility, and green transportation practices. The least important is attributed to "Vehicle Tracking Systems".

5. CONCLUSION and DISCUSSION

This research primarily aimed to theoretically explain the role and impacts of 4PL service providers in the logistics sector. By doing so, it provided a fresh perspective to the literature, expanding the theoretical framework of the 4PL concept and enriching the theoretical knowledge in the field of logistics management. The study particularly focused on Turkey's logistics sector, contributing to understanding the local

conditions and unique features of the sector within the context of Turkey. Furthermore, it assists in better evaluating the current status and future potential of Turkey's logistics sector.

This study highlights the benefits of incorporating sustainability practices and digitalization into the operations of 4PL service providers. It guides actors in the sector to make their operational processes more sustainable and to embrace technological innovations to enhance efficiency. Additionally, it underscores how sustainable technologies can enhance operational efficiency for 4PL service providers, contributing to optimizing supply chain performance and aiding businesses in managing resources more effectively and efficiently.

Within the scope of this research, it has been determined that among technology-based sustainable practices, 'Data-Driven Decision Making' holds the highest degree of importance. On the other hand, 'Vehicle Tracking Systems' technology has been identified with the least degree of importance.

Data-Driven Decision Making enables strategic decisions in the logistics sector through the analysis and interpretation of data. Warehouse automation enhances efficiency by reducing human intervention in logistics processes. Digital platforms and marketplaces facilitate operations by bringing together suppliers and customers. Route optimization and planning minimize transportation costs and time by determining the most efficient routes and schedules. Supply chain visibility improves processes like inventory management and demand forecasting by increasing information flow throughout the chain. Green transportation practices reduce environmental impact through the use of eco-friendly transportation methods. Sustainable packaging and material management support sustainability by reducing waste and promoting recycling. Digital documentation speeds up and organizes document processes by reducing paper usage. Vehicle tracking systems optimize delivery processes by tracking the location of transport vehicles.

The reason why vehicle tracking systems ranked last in terms of importance in the survey may be due to several factors. Firstly, vehicle tracking systems may now be accepted as a standard practice by many logistics service providers. In other words, this technology may not need to be emphasized to gain any competitive advantage. In this case, managers are more likely to prioritize other technological innovations or more specific competitive advantages of the logistics business. Furthermore, one reason why vehicle tracking systems are less important for logistics businesses is that they are more related to operational and day-to-day operations. In other words, their direct impact on strategic decision-making or achieving large-scale competitive advantages may be limited. These results do not necessarily imply that vehicle tracking systems are unimportant; however, they may indicate that business managers are shifting their attention to other areas that can provide more strategic or competitive advantages.

The importance degrees of these criteria can vary based on the priorities of the logistics service provider, industry requirements, and goals. For instance, route optimization might be crucial for one logistics service provider, while green transportation practices might hold greater significance for another. Prioritization can be achieved by evaluating how each topic aligns with the logistics business's strategy and objectives.

The ranking of technologies according to their importance by managers can help these businesses to better focus on their strategic goals and use their resources most effectively. For example, fuel-saving route optimization software or vehicle tracking systems can reduce transportation costs. By ranking technologies by importance, managers can determine which technologies optimize business processes more and increase efficiency. For example, real-time tracking and delivery tracing can help to better serve customers, while identifying which technologies are more effective in reducing costs. Some technologies contribute to logistics businesses by increasing customer satisfaction or improving service quality. For example, real-time tracking and delivery tracking can help provide better service to customers. Ranking technologies can help logistics businesses identify their ability to deal with specific risks.

In previous studies; it is seen that the 4PL approach is conceptually addressed from a sustainable perspective. It shows the applicability of the 4PL approach within the sustainability goals in supply chain management (Mehmann and Teuteberg, 2016). Also, global operations, linked to a sound knowledge of markets and competitive analysis, are essential for sustainable long-term success. The emergence of innovative technologies in the areas of communication, tracking, and screening, coupled with the growing trend in global partnerships and cooperation, will make fourth-party logistics crucial in terms of cost and efficiency in the coming years (Nowodziński, 2014).

This study, on the other hand, reveals that 4PL service providers are not only involved in sustainability approaches, but also involved in these activities with technology-based applications. Thus, the current study defines retention strategies for 4PL service providers to satisfy societal and environmental demands in the future. The study further advances theory by defining the 4PL business model type and its function in societal changes. This study emphasizes that the sustainability practices of 4PL service providers can

help reduce environmental impact. It encourages businesses to take more conscious steps toward reducing environmental impact and achieving sustainability goals.

The human component of logistics and supply chain management might be further addressed in future work, for example by surveying the empirical findings. The primary emphasis of this analysis is the 4PL logistics services providers industry. To support their operations, logistics businesses need to keep a close eye on current and future technologies, analyze trends before investing in technology, and identify the ones that best suit their needs. They must consider technology not only as a tool but also as a strategic competitive advantage. Embracing digital transformation not only as a technological change but also as part of your business culture can be the basis for future success and sustainable growth. In conclusion, the results of this research suggest that through technology-based sustainable practices, 4PL service providers can enhance customer service levels and gain a competitive advantage.

Author Contributions

Bihter Karagöz Taşkın: Literature Review, Conceptualization, Methodology, Data Curation, Analysis, Writing-review and editing Macide Berna Çağlar: Literature Review, Modelling, Analysis, Writing-original draft, Writing-review and editing

Conflict of Interest

No potential conflict of interest was declared by the authors.

Funding

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

Compliance with Ethical Standards

For this study, the approval of the Ethics Committee Başkent University Academic Evaluation Coordinators was obtained with the decision dated 07.08.2023 and numbered E-62310886-605.99-255732.

Ethical Statement

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



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

REFERENCES

- Aylak, B.L., Kayıkcı, Y. and Taş, M.A. (2020). "Türkiye'de Lojistik Sektöründe Faaliyet Gösteren İşletmelerin Dijital Trendlerinin İncelenmesi", *Yaşar Üniversitesi E-Dergisi*, 15(57), 98-116.
- Banger, G. (2018a). "Endüstri 4.0 Ekstra", 2. Baskı, Dorlion Yayınları, Ankara.
- Banger, G. (2018b). "Endüstri 4.0 ve Akıllı İşletme", 2. Baskı, Dorlion Yayınları, Ankara.
- Bilgiç, E., Türkmenoğlu, M.A. and Koçak, A. (2020). "Dijitalleşmenin Lojistik Yönetimi Bağlamında İncelenmesi", *Akademik İzdüşüm Dergisi*, 5(1), 56-69.
- Borgi, T., Zoghلامي, N. and Abed, M., (2017). "Big Data for Transport and Logistics: A Review", *2017 International Conference on Advanced Systems and Electric Technologies (IC_ASET)*, Hammamet, Tunisia, 44-49.
- Boschian, V. and Paganelli, P. (2016). "Business Models for Advanced ICT in Logistics", *Sustainable Logistics and Supply Chains: Innovations and Integral Approaches*, 15-51.
- Çakılcı, C. and Öztürkoğlu, Y. (2021). "Yeni Dijital Çağ Yaklaşımı ile Lojistik Sektöründe Yenilikçi Çözümler", *Journal of Business in The Digital Age*, 4(1), 65-75.
- Dey, A., LaGuardia, P. and Srinivasan, M. (2011). "Building Sustainability in Logistics Operations: A Research Agenda", *Management Research Review*, 34(11), 1237-1259.
- Dfreight, (2022). "How Data Analytics Can Help Improve Your Supply Chain", <https://dfreight.org/blog/data-analytics-to-improve-supply-chain/>, (Erişim Tarihi: 20.07.2023).
- Dmitriev, A.V. and Plastunyak, I.A. (2019). "Integrated Digital Platforms for Development of Transport and Logistics Services", *International Conference on Digital Technologies in Logistics and Infrastructure (ICDTLI 2019)*, 136-141, Atlantis Press.
- Ecer, F. (2020). "Çok Kriterli Karar Verme - Geçmişten Günümüze Kapsamlı Bir Yaklaşım", Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- Gedik, Y. (2021). "Endüstri 4.0 Teknolojilerinin ve Endüstri 4.0'ın Üretim ve Tedarik Zinciri Kapsamındaki Etkileri: Teorik Bir Çerçeve", *Journal of Emerging Economies and Policy*, 6(1), 248-264.
- Giusti, R., Manerba, D., Bruno, G. and Tadei, R. (2019). "Synchromodal Logistics: An Overview of Critical Success Factors, Enabling Technologies, and Open Research Issues", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 129, 92-110.
- Goel, R. and Gupta, P. (2020). "Robotics and Industry 4.0" *A Roadmap to Industry 4.0: Smart Production, Sharp Business and Sustainable Development. Advances in Science, Technology & Innovation*, (Editors: Nayyar, A., Kumar, A.). Springer, Cham.
- Gruchmann, T., Melkonyan, A. and Krumme, K. (2018). "Logistics Business Transformation for Sustainability: Assessing the Role of the Lead Sustainability Service Provider (6PL)", *Logistics*, 2(4), 25.
- Hawkins, A. (2022). "4PL Technology in Industry 4.0". <https://www.extensiv.com/blog/industry-4.0-and-the-rise-of-4pls>, (Erişim Tarihi: 18.07.2023).
- Henke, M., Besenfelder, C., Kaczmarek, S. and Fiolka, M. (2020). "A Vision of Digitalization in Supply Chain Management and Logistics", *Proceedings of the Conference on Production Systems and Logistics: CPSL 2020*. Publish-Ing, Hannover.
- Hopkins J. and Hawking P. (2018). "Big Data Analytics and IoT in Logistics: A Case Study", *The International Journal of Logistics Management*, 29(2), 575-591.
- Karvela, P., Kopanaki, E. and Georgopoulos, N. (2015). "Supply Chain Agility through Cloud Computing Technologies", *Proceedings of the Annual International Conference on Business, Marketing and Management*, University of Oxford, Oxford, UK, 141-151.
- Kayıkcı, Y. (2018). "Sustainability Impact of Digitization in Logistics". *Procedia Manufacturing*, 21, 782-789.
- Lampropoulos, G., Siakas, K. and Anastasiadis, T. (2019). "Internet of Things in The Context of Industry 4.0: An Overview", *International Journal of Entrepreneurial Knowledge*, 7(1), 4-19.
- Lee, J., Davari, H., Singh, J. and Pandhare, V. (2018). "Industrial Artificial Intelligence for Industry 4.0-bBased Manufacturing Systems", *Manufacturing Letters*, 18, 20-23.
- Macaulay J., Buckalew L. and Chung G., (2015). "Internet of Things in Logistics Use Cases for the Logistics Industry", DHL Customer Solutions & Innovation, Germany.
- Mageto, J. (2022). "Current and Future Trends of Information Technology and Sustainability in Logistics Outsourcing", *Sustainability*, 14(13), 7641.
- Matyushenko, I., Berenda, S., Shtal, T. and Grigorova-Berenda, L. (2019). "Logistics and Transport in Industry 4.0: Perspective for Ukraine", *SHS Web of Conferences*, 67, 03008.

- Mehmann, J. and Teuteberg, F. (2016). The Fourth-Party Logistics Service Provider Approach to Support Sustainable Development Goals in Transportation—A Case Study of the German Agricultural Bulk Logistics Sector”, *Journal of Cleaner Production*, 126, 382-393.
- Miscevic, G., Tijan, E., Žgaljić, D. and Jardas, M. (2018). “Emerging Trends in E-Logistics”, *41st International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)*, 1353-1358. DOI:10.23919/MIPRO.2018.8400244
- Nowodziński, P. (2014). “Strategic Dimensions of Fourth Party Logistics”. *Advanced Logistic Systems*, 4, 114-122.
- Ormanov, V. (2021). “Impact of Mobility Solutions on Logistics Services”. Bachelor’s Thesis, Tampere University of Applied Sciences, Tampere, Finland.
- Parhi, S., Joshi, K., Gunasekaran, A. and Sethuraman, K. (2022). “Reflecting on an Empirical Study of the Digitalization Initiatives for Sustainability on Logistics: The Concept of Sustainable Logistics 4.0”, *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 4, 100058.
- Puică, E. (2020). “Cloud Computing in Supply Chain Management and Economic, Environmental and Social Impact Analysis”, *Informatica Economică*, 24(4), 41-54.
- Remondino, M. and Zanin, A. (2022). “Logistics and Agri-Food: Digitization to Increase Competitive Advantage and Sustainability. Literature Review and The Case of Italy”, *Sustainability*, 14(2), 787.
- Roseburgough, J. (2023). “WarehouseQuote”, <https://www.warehousequote.com/resources/3pl-vs-4pl/>, (Erişim Tarihi: 22.07.2023).
- Saparbaevna, A.Z., Dilfuza, U., Raxmatullayevich, R.R. and Soyibovich, M.A. (2021). Digital Logistics as a Factor of Increasing the Volume and Quality of Transport Services. *Revista Geintec-Gestao Inovacao E Tecnologias*, 11(4), 2088-2096.
- Sharakhin, P.S., Levchenko, A.V. and Renzhin, D.A. (2021). “Comparing Efficiency of Outsourcing or Insourcing Digital Logistics in Supply Chain Management”. *2021 International Conference on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies (IT&QM&IS)*, IEEE, 716-718.
- Sharma, J. (2018). “Industry 4.0 Effects Logistics 4.0”. <https://www.ioscm.com/blog/industry-4-0-effects-logistics-4-0/>, (Erişim Tarihi: 19.07.2023).
- Singhdong, P., Suthiwartnarueput, K. and Pornchaiwiseskul, P. (2021). “Factors Influencing Digital Transformation of Logistics Service Providers: A Case Study in Thailand”. *The Journal of Asian Finance, Economics and Business*, 8(5), 241-251.
- Sony, M. and Naik, S. (2020). “Key Ingredients for Evaluating Industry 4.0 Readiness for Organizations: A Literature Review”, *Benchmarking: An International Journal*, 27(7), 2213-2232.
- Stanujkic, D., Karabasevic, D. and Zavadskas, E. K. (2015). “A Framework for The Selection of a Packaging Design Based on The SWARA method”, *Engineering Economics*, 26(2), 181-187.
- Taha, E., Tokur, İ. and Akar, H. (2017). “Endüstri 4.0 ve Geleceğin Lojistiği 2017 Lojistik Sektör Raporu”, MUSIAD, Mavi Ofset, İstanbul.
- Woschank, M., Kaiblinger, A. and Miklautsch, P. (2021). Digitalization in Industrial Logistics: Contemporary Evidence and Future Directions”, *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 1322-1333.
- Xiu, X. and Zheng, J. (2010). “Study of Integrated Information Platform of 4PL Based on Collaborative Environment”, *2nd Conference on Environmental Science and Information Application Technology ESIAT*, 690-693, DOI:10.1109/ESIAT.2010.5567220. 2010
- Yang, C.S. and Lin, M.S.M. (2023). “The Impact of Digitalization and Digital Logistics Platform Adoption on Organizational Performance in Maritime Logistics of Taiwan”, *Maritime Policy & Management*, 1-18, DOI: 10.1080/03088839.2023.2234911
- Zhang, L., Gong, T. and Tong, Y. (2023). “The Impact of Digital Logistics under the Big Environment of Economy”, *Plos one*, 18(4), e0283613.
- Zurek, J. (2014). “E-Commerce Influence on Changes in Logistics Processes”, *LogForum*, 11(2), 129-138.

Türkiye Merkez-Çevre Çok Bölge Girdi-Çıktı (MRIO) Modeli ile Bölgesel ve Sektörel Yapısal Bağınlaşma Analizi (2006-2021)*

Kamil Taşçı¹ , Mutlu Yılmaz¹ 

ÖZET

Amaç: Bu çalışmanın amacı, Türkiye’de 2006-2021 döneminde merkez-çevre ilişkilerini sektörel yapısal bağınlaşma katsayıları üzerinden analiz etmektir.

Yöntem: Araştırmada, Türkiye için 2006-2021 dönemlerini kapsayan çok bölge girdi-çıktı (MRIO) modeli geliştirilmiş, bu modelden elde edilen Leontief ters matrisi katsayılarına dayalı bölgesel ve sektörel yapısal bağınlaşma analizi yapılmıştır. Türkiye merkez-çevre MRIO modeli idari merkez Ankara, ekonomik merkez İstanbul ve geriye kalan 79 il olmak üzere 3 bölgeden oluşmakta ve her bir bölgede 10 sektör yer almaktadır.

Bulgular: 2006-2021 döneminde sanayi sektörünün İstanbul’da yoğunluğa eriştiği, itme (centrifugal) etkisi göstererek çevre illere yayıldığı, ancak Ankara’nın çekme(centripetal) etkileri ile sanayileşme sürecini sürdürdüğü, çevre illerde de yavaş da olsa sanayi sektörünün geliştiği tespit edilmiştir. İkinci olarak, Ankara, İstanbul ve çevre illerde toptan ve perakende ticaret faaliyetlerini kapsayan hizmetler sektörü ile inşaat, gayri menkul ve finans sektörlerinin bölgesel ve sektörel yapısal bağınlaşmaları bakımından öne çıktığı görülmüştür.

Özgünlük: Bu çalışma, Türkiye ekonomisi için ilk MRIO uygulaması olmasının yanısıra, dinamik bir model ile 2006-2021 dönemini kapsaması ve merkez-çevre ilişkilerini kandidatif bir şekilde yapısal bağınlaşma katsayıları ile incelemesi bakımından literatüre katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Merkez-Çevre Analizi, Girdi-Çıktı Modeli, Türkiye MRIO Model, Yapısal Bağınlaşma Analizi.

JEL Kodları: C31, R12, R13, R15, C67, D57.

Sectoral Interdependence Analysis with Türkiye Center-Periphery Multi-Regional Input-Output (MRIO) Model (2006-2021)

ABSTRACT

Objective: The aim of this study is to analyze core-periphery relations in Türkiye in the period 2006-2021 through regional-sectoral structural linkage ratios.

Method: In the study, a multi-regional input-output (MRIO) model has been developed for Türkiye, covering the period 2006-2021, and a regional and sectoral structural linkage analysis based on the Leontief reverse matrix coefficients obtained from this model was conducted.

Results: During the period 2006-2021, the industrial sector reached saturation in İstanbul, spread to the periphery regions with a centrifugal effect, but continued to industrialize with the centripetal effects of Ankara, and developed slowly in the periphery regions. Secondly, the services sector, which includes wholesale and retail trade activities in Ankara, İstanbul and the periphery region, has emerged in terms of regional and sectoral structural linkages between the construction, real estate and financial sectors.

Originality: This work is the first MRIO application for the Turkish economy, as well as contributing to the literature in terms of a dynamic model covering the period 2006-2021 and the candidate study of core-periphery relations with structural linkage ratios.

Keywords: Center-Periphery Analysis, Input-Output Model, Türkiye MRIO Model, Structural Linkages Analyses.

JEL Codes: C31, R12, R13, R15, C67, D57.

* Bu çalışma, Kamil Taşçı tarafından Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü’nde Prof. Dr. Mutlu Yılmaz danışmanlığında yürütülen “Türkiye’de Merkez-Çevre İlişkilerinin Çok Bölge Girdi-Çıktı Modeli İle İncelenmesi” başlıklı Doktora Tezi’nden türetilmiştir.

¹ Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Beşerî ve İktisadi Coğrafya, Ankara, Türkiye

Sorumlu Yazar-Corresponding Author: Kamil Taşçı, kamil.tasci@sanayi.gov.tr

DOI: 10.51551/verimlilik.1484691

Araştırma Makalesi / Research Article | Geliş / Submitted: 15.05.2024 | Kabul / Accepted: 23.06.2024

Atıf/Cite: Taşçı, K. ve Yılmaz, M. (2024). “Türkiye Merkez-Çevre Çok Bölge Girdi-Çıktı (MRIO) Modeli ile Bölgesel ve Sektörel Yapısal Bağınlaşma Analizi (2006-2021)”, *Verimlilik Dergisi*, 58(3), 375-398.

EXTENDED ABSTRACT

One of the studies that has an important place in the center and periphery literature is Wallerstein's World Systems analysis. The primary issue that brings world systems analysis to the fore in the international literature is the dizzying developments in information technologies and the new world economic system in which production is made for the global market. The impact of globalization; It can occur in different ways and speeds in political, economic, social and cultural areas. The globalization process includes threats as well as new opportunities for the peripheral countries that claim to develop, develop, become welfare-producing countries, and become competitive countries in the world. There are also examples of peripheral countries that were able to reorganize their economic structures, invest in their competitiveness with R&D and innovation policies in the technological field, and succeed in transforming their workforce into human resources, closing the socio-economic development gaps between the developed countries. Perhaps the primary tool that will methodologically successfully model Wallerstein's (2014) world systems theory is MRIO models - on a country basis. It is seen that the developed countries in the world economic system have recently shown great interest in multi-regional input-output models that model the global economic system in detail in order to strengthen their positions in the world economy with the advantage of their monopolistic competitiveness. Although MRIO models have a history of approximately 70 years, the use of the model by national and international organizations has accelerated especially in the last 10 years with the influence of developments in databases and information technology. MRIO models, which were initially preferred in regional development policies at the national level, are now frequently preferred in policy modeling studies on problems that come to the fore due to the impact of global warming related to climate change, such as sustainable development, green transformation and circular economy. As a country that is part of the global economic system and exports half of its exports to European countries, how Turkey organizes its domestic economic system is an important research topic. The central (economic and administrative) provinces within the country are Istanbul and Ankara.

The aim of this study is to analyze core-periphery relations in Türkiye in the period 2006-2021 through regional-sectoral structural linkage ratios. In the study, a multi-regional input-output (MRIO) model has been developed for Türkiye, covering the period 2006-2021, and a regional and sectoral structural linkage analysis based on the Leontief reverse matrix coefficients obtained from this model was conducted.

According to the new economic geography theory, the sectoral structure with high level of backward-forward linkages are the determinant of regional development. The fact that several cities are demand centers in Turkey, that consumers mainly live in the central cities (Istanbul and Ankara), that businesses are located in and close to these centers, and that the production value chain is formed here. Demand centers that offer better living conditions and relatively higher wages than other cities can attract qualified labor. High population accumulation leads to large-scale production and centralization of capital. However, this centralization may vary depending on the marginal return of capital. The new economic geography theory conceptualizes this situation with the definitions of the pulling force of the center and the pushing force of the center. It consists of market effects such as the pulling force of the center, backward-forward linkages with external economies, and concentration of consumers in space. The pushing forces of the center consist of issues such as environmental pollution, increase in land prices and the attractiveness of regions with lower competition, especially in production factors. In the context of center-periphery relations, push and pull effects also manifest themselves for the Turkish economy.

It has been determined that in the 2006-2021 period, the industrial sector reached saturation in Istanbul, spread to the peripheral provinces by showing a push (centrifugal) effect, but Ankara continued its industrialization process with a centripetal effect, and the industrial sector developed in the peripheral provinces, albeit slowly. In Turkey, the sectors with an increase in the backward coefficient for both the central and peripheral regions are construction, real estate and finance activities. The Ankara-based construction industry has a significant stimulating effect for both the central and peripheral provinces. However, the construction sector presents a controversial situation in terms of the sustainability and quality of growth, the distribution of wealth between the central and peripheral regions, and its impact on distribution relations. In Turkey, Ankara was the region where structural coupling was strongest in terms of supply and demand relations. Ankara's economy has begun to produce more goods and services required for its sectors and supply them from its own region. At the same time, structural and sectoral connections between the peripheral provinces and Ankara have also developed. The peripheral provinces are on their way to becoming both an important supply and demand center for the peripheral provinces. This situation is an important proof that the economic development in Turkey has spread throughout the country in favor of the peripheral provinces.

This work is the first MRIO application for the Turkish economy, as well as contributing to the literature in terms of a dynamic model covering the period 2006-2021 and the first study of core-periphery relations with structural linkage ratios.

1. GİRİŞ

Merkez ve çevre literatüründe önemli bir yere sahip olan çalışmalardan birisi Wallerstein'ın Dünya Sistemleri analizidir. Dünya sistemleri analizini uluslararası literatürde öne çıkaran birincil husus bilgi teknolojilerinde yaşanan baş döndürücü gelişmeler ile üretimin küresel piyasa için yapıldığı yeni dünya ekonomik sistemidir. Küreselleşmenin etkisi; politik, ekonomik, sosyal ve kültürel alanlarda farklı şekillerde ve hızda gerçekleşebilmektedir. Küreselleşme süreci, kalkınma, gelişme, refah üreten ülke haline gelme, dünyada rekabetçi ülke olabilmek iddiasına sahip çevre ülkeler için sunduğu yeni fırsatlar kadar tehditleri de bünyesinde barındırmaktadır. Ekonomik yapılarını yeniden organize edebilen, teknolojik alanda Ar-Ge ve yenilik politikalarıyla rekabet güçlerine yatırım yapan, işgücünü insan kaynağına dönüştürmekte başarılı olan çevre ülkelerin merkez ülkeler ile arasındaki sosyo-ekonomik gelişmişlik farklarını kapatabildiklerine ilişkin örnekler de mevcuttur.

Wallerstein (2013: 53)'e göre modern bir dünya ekonomisi birçok kurumun toplamıdır. Bu kurumlar iç içe geçmiş yapıları ve süreçleri içermektedir. Sözü edilen temel kurumlar; aslında iç içe geçmiş mal ve hizmet, finansal, işgücü, yerel, bölgesel ve sektörel piyasaları, piyasalarda rekabet eden işletmeleri, devletlerarası sistemdeki çok sayıda devleti, hane halklarını, sosyal sınıfları ve kimlikleri, statü gruplarını ifade etmektedir. Günümüzde işletme ve ekonomi literatüründe sıklıkla ifade edilen küresel/bölgesel/sektörel değer zincirleri, iş ekosistemleri, bu iç içeliği ifade eden bu kurumların entegrasyonunu gösteren farklı kavramsal tanımlara örnektir. Çevre ülkelerde üretimin bölge ve sektör düzeyinde yeniden organizasyonu ile bu ülkelerin küresel piyasada rekabetçiliklerini artırmaları mümkündür. Bu nedenle, ülke-içi bölgesel ve sektörel yapısal bağınlaşmaların analiz edilmesi ve rekabetçiliklerini teşvik edecek yeni politika sentezlerinin oluşturulması ve uygulanması çevre ülkeler için çaba gösterilmesi gereken önemli bir alandır.

Dünyada enerji dönüşümünün yaşandığı, üretimin doğuya yöneldiği bir dönemde merkez ülkelerin, merkez olma konumlarını koruyabilmek için uluslararası kurumlar üzerinden dünya ekonomisini ayrıntılı bir şekilde incelenmesine imkân verecek bir analiz yöntemi olan MRIO modellerine olan ilgilerinin arttığı ve dünyada önem verdikleri bölgelere ve dünya ekonomisinin tamamına ilişkin MRIO modellerinin geliştirilmesini destekledikleri görülmektedir. OECD, Avrupa Birliği, Asya Kalkınma Bankası ve IMF gibi uluslararası kuruluşların, üye ülkeleri ve hedef coğrafyalarına ilişkin geliştirdikleri MRIO modellerini, son birkaç yılda daha geniş coğrafyaları içerecek şekilde genişletmeleri dikkat çekmektedir.

Bu kapsamda, bu çalışmanın amacı dünyada merkez ülkelerin ve bu ülkelerin güdümünde faaliyetlerini gösteren uluslararası kuruluşların önem verdiği bölgesel-ekonomik ve sosyal analizi aynı hesaplama çerçevesinde gerçekleştirebilme gücü veren MRIO tekniği için Türkiye uygulamasını gerçekleştirmek, Türkiye'de merkez ve çevre bölgeler arasındaki 2006-2021 döneminde bölgesel ve sektörel yapısal bağınlaşmaları Leontief ters matris katsayıları üzerinden tespit etmektir. Çalışma, merkez-çevre ilişkilerini bölgesel ve sektörel yapısal bağınlaşma katsayıları ile açıklaması ve çok bölgeli girdi-çıkıtı modeline dayalı analizler içermesi bakımından literatüre katkı sağlamaktadır.

Çalışma şu şekilde organize edilmiştir: Giriş bölümünün ardından ikinci bölümde literatür taramasına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde çalışmada kullanılan yöntemle ilişkin ayrıntılar ve dördüncü bölümde bölgesel ve sektörel yapısal bağınlaşma analizi bulguları sunulmuştur. Son bölümde ise çalışmaya ilişkin sonuç ve değerlendirmelere yer verilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde öncelikle dünyadaki MRIO modellerine ilişkin örneklerle yer verilmiş ve sonrasında Türkiye'deki girdi-çıkıtı analizi çalışmalarının mevcut durumu ortaya konulmuştur.

Çok bölgeli girdi-çıkıtı (MRIO) modelleri ilk ortaya çıktığı 1950'ler ile 1990'lı yıllar arasında bölgesel ve sektörel politikayı eş anlamlı tasarlama amacı güden kamu kurumlarının, üretimin ve sanayinin mekânsal desenini incelemek isteyen araştırmacıların, ülkeler arası modeller ile ülkeler arası sektörel ve yapısal bağınlaşma ilişkilerine odaklanan uluslararası kuruluşların çok fazla ilgisini çekmesine rağmen, ortaya çıkan MRIO modelleri sayı bakımından uygulama örneklerine az sayıda rastlanan bir mekânsal analiz tekniği olmuştur. Bunun temel nedeni ise büyük ölçüde veri seti gerektirmesi ve bu verilerin modelin varsayımlarına uygun ve tutarlı bir şekilde bir ara getirilmesindeki zorluklardır. 1990'lı yıllardan itibaren bilgi teknolojilerinde yaşanan gelişmeler, dünyada kamu kurum ve kuruluşlarının sundukları hizmetleri elektronik ortaya taşımalarına zemin oluşturmuş, bu sayede daha önce anket ve tam sayım yöntemi ile elde edilen işletmelerin ticari faaliyetlerini gösteren üretim girdileri ve çıktıları, ciro, işgücü ödemeleri, yatırımları, amortisman giderleri, sektörler arası akımlar, ihracat ve ithalat değerleri vb. girdi-çıkıtı modelinin kurgulanmasında gerekli verilerin kamu kurumlarının idari kayıtları üzerinden elde edilebilmesini mümkün hale getirmiştir. Bilgi teknolojilerindeki gelişmeler, uluslararası kurumlara üye ülkelerin ekonomik ve sosyal istatistiklerini ayrıntılı bir şekilde içeren veritabanlarının gelişimini de hızlandırmıştır.

R adet açık bölgesel ekonomiler sisteminden oluşan kapalı bir dünya ekonomisi fikrini ilk kez Isard (1951) önermiş ve MRIO modelini ise Chenery (1953), Moses (1955) ve Polenske (1980) açıklamıştır². Bölge Biliminin kurucusu Walter Isard Bölgelerarası Girdi-Çıktı Modelini 1951 yılında yayımladığı “Bölgelerarası ve Bölgesel Girdi-Çıktı Modeli: Bir Mekân Ekonomisinin Modeli (Interregional and Regional Input-Output Analysis: A Model of a Space-Economy)” çalışmasında ortaya koymuştur (Isard, 1951). Bölgelerarası girdi-çıkı modelinin, bölge biliminin de temel ekonomik analiz yöntemlerinden biri olduğu görülmektedir. 1950’li yılların başına kadar Weber, Predohl, Ohlin ve Lösch gibi teorisyenler ekonomik coğrafya için mekânsal ilişkileri ortaya koyabilecek bir model geliştirmekten uzak kalmış olmalarına karşın, Isard (1951) geliştirmiş olduğu çok bölgeli girdi-çıkı modeli ile Leontief (1936)’in ulusal ekonomideki yapısal ilişkileri ortaya koyan girdi-çıkı modeline dayalı genel denge analizi yaklaşımına mekânı da dahil ederek farklı bir bakış açısı ortaya koymuştur. Mekânın iktisadi analizler için önemli bir parametre haline gelmesine önemli bir katkı sağlayan Isard (1951), Leontief’in tek bölgeli modelini ABD için 20 sektörlü ve Doğu, Güney ve Batı olmak üzere 3 bölge olarak ve 1939 yılını gösterecek şekilde geliştirmiştir.

MRIO analizi yalnızca farklı sektörler arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarmakla kalmamakta, aynı zamanda bölgeler arasındaki ekonomik bağlantıları da tespit etmektedir (Wiedmann ve diğerleri, 2011; Guo ve diğerleri, 2012; Akita ve Kataoka, 2002). MRIO modeli çerçevesinin ilk büyük ölçekli uygulaması Harvard Ekonomik Araştırma Projesi’nde (HERP) başlatılmış ve Profesör Karen Polenske ve MIT’deki arkadaşları tarafından geliştirilmiştir. Bölge ve sektör sayısı bakımından oldukça ayrıntılı olarak tasarlanan bu model, 51 bölge (50 eyalet ve Washington DC) ve her bölgede 79 sektör içeren 1963 yılı modelidir (Polenske, 1980). ABD’de MRIO modelleri ekonomik ve sosyal politikaların geliştirilmesi ve birbirleri arasında bağlantı kurulmasında uzun yıllardır kullanılmaktadır. Gelir ve tüketim grupları arasında bağlantı kuran Miyazawa modeli (Cole, 1999), Gordon ve Ledent (1981), Schinnar (1976), Hewings ve diğerleri (2001)’nin demografi ve ekonomi arasında bağlantı kuran modelleri ve Beyers (1980)’in bölgeler arası göçü modelleyen çalışmaları bunlar arasındaki dikkat çeken çalışmalardır.

Wallerstein (2014)’in dünya sistemleri teorisini metodolojik olarak başarılı bir şekilde modelleyecek birincil araç belki de -ülkeler bazında- MRIO modelleridir. Dünya ekonomik sisteminde merkez ülkelerin, tekelci rekabet güçlerinin verdiği avantaj ile dünya ekonomisindeki konumlarını sağlamlaştırmak maksadıyla küresel ekonomik sistemi ayrıntılı bir şekilde modelleyen çok bölgeli girdi-çıkı modellerine son dönemde yoğun ilgi gösterdikleri görülmektedir.

MRIO modellerinin yaklaşık 70 yıllık geçmişi bulunmasına karşın, modelin ulusal ve uluslararası kuruluşlar tarafından kullanımı veri tabanları ve bilgi teknolojisindeki gelişmelerin de etkisiyle özellikle son 10 yılda hızlanmıştır. Başlangıçta ulusal düzeyde bölgesel kalkınma politikalarında tercih edilen MRIO modelleri, günümüzde sürdürülebilir kalkınma, yeşil dönüşüm, döngüsel ekonomi gibi iklim değişikliğine ilişkin küresel ısınmanın etkisiyle öne çıkan sorunlara ilişkin politika modellemesi çalışmalarında sıklıkla tercih edilmektedir.

Ulusal düzeydeki en kapsamlı MRIO örneği ABD’nin IMPLAN (Planlama için Etki Analizi– Impact Analysis for Planning) sistemidir. IMPLAN sisteminin son 2 yılda Kanada ve alt bölgelerini ve 66 ülkeyi kapsayacak şekilde genişletilmesi dikkat çekmektedir. Uluslararası MRIO çalışmalarında ise OECD’nin Dünya Girdi-Çıktı Veritabanı çalışmaları kapsamında geliştirilen ICIO (Ülkelerarası Girdi-Çıktı – Inter Country Input-Output) Sistemi, Avrupa Birliği Avrupa Çevre Ajansı’nın EXIOBASE (Genişletilmiş Girdi-Çıktı Veritabanı) ve Asya Kalkınma Bankasının MRIO Sistemi önde gelmektedir. Uluslararası Para Fonu (IMF) da son dönemde dünya ekonomisi MRIO çalışmalarını başlatan kurumlar arasındadır.

2.1. ABD’nin IMPLAN Sistemi

ABD’de 1972 yılında Kırsal Kalkınma Yasasının yürürlüğe konmasını müteakiben kırsal ve bölgesel kalkınmanın planlanmasına ilişkin etkili bir ekonomik modelleme aracına ihtiyaç duyulmuş ve eyalet ve şehir düzeyinde bölgesel ve çok bölgeli girdi-çıkı çalışmaları başlatılmıştır. ABD’nin Orman Hizmetleri Kurumu (USFS) sorumluluğunda girdi-çıkı modellerine dayalı ekonomik etki analizi sistemi IMPLAN (Planlama için Etki Analizi) geliştirilmiştir. IMPLAN sisteminde ABD bölgeleri için 546 sektör tanımlanmıştır. 2018 yılında internet uygulaması aktif hale gelen IMPLAN sistemine 2020 yılında meslek sınıflandırmaları, 2021 yılında çevresel göstergeler dahil edilmiştir. 2022 yılında ise Kanada’nın bölgeleri ve şehirlerini içeren girdi-çıkı tabloları sisteme kapsamına alınmıştır. IMPLAN Kanada sürümünde bölgesel düzeyde 234 sektör yer almaktadır. Bu sayede ABD ve Kanada arasındaki ekonomik ilişkiler sadece iki ülke arasında değil, her ülkenin alt bölgelerini de içerecek tek bir MRIO sistemi içinde yurtiçi ve dış ticaret, sektörel ve bölgesel bağlantılar, vergi etkileri gibi analizlerine imkân verilmiştir. IMPLAN Sistemi sadece ABD ve Kanada ile sınırlı kalmamış uluslararası sürümü yayımlanmıştır. IMPLAN’ın Uluslararası sürümünde 66 ülke ve 46

² Hartwick (1971) ise Isard ve Chenery-Moses’in çok bölgeli girdi-çıkı modellerini karşılaştırmalı olarak incelemiştir.

sektör yer almaktadır. 3 yılda bir güncellenen bu sistemin geliştirilmesinde Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Teşkilatı (OECD) ile işbirliği yapılmaktadır.

2.2. Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Teşkilatı (OECD)'nin ICIO Veritabanı

OECD'nin girdi-çıktı tabloları üzerindeki çalışmaları, küresel değer zincirleri ve uluslararası teknoloji yayılımlarını ölçme ihtiyacına yönelik olarak tetiklediği 1990'lı yıllarda başlamıştır. Dünya Girdi-Çıktı Veritabanı (WIOD) ve Ülkelerarası Girdi-Çıktı (ICIO) Veritabanı ise 2009 küresel mali krizi başta olmak üzere dünya ekonomisi ve dünya ticaretindeki problemlerin ardındaki mekanizmaların daha iyi anlaşılması için politika analistlerinin taleplerini karşılamak üzere ortaya çıkmıştır. Spesifik olarak, küresel değer zincirlerinin ticaretteki rolüne ilişkin, "geleneksel" ticaret istatistiklerinden elde edilemeyen, özellikle ihracattaki veya yurt içi nihai talepteki katma değer kaynakları hakkında derinlemesine bilgilerin elde edilmesi amacıyla kullanılmaktadır. ICIO Veri tabanının ilk sürümü 2013'ün başında yayınlanmıştır. Bu sürümde 40 ülke ve 18 sektörlü 2005, 2008 ve 2009 yıllarına ilişkin MRIO tabloları yer almıştır (Yamano, 2012). 2023 yılı sonu itibarıyla ICIO kapsamında yer alan ülke sayısı 76'ya ve sektör sayısı ise 45'e çıkarılmıştır. ICIO'nun yeni sürümü 1995-2020 dönemine ilişkin 26 yıllık bir seriyi kapsamaktadır. OECD ICIO modeli aramalı talebi, nihai talep ve dış talep (ihracat) bloklarında ülkeler arasındaki mal ve hizmet akımlarını gösterecek şekilde tasarlanmıştır.

2.3. Avrupa Birliğinin EXIOBASE Sistemi

Avrupa Çerçeve Programları kapsamında desteklenen EXIOBASE Veritabanı projesi kapsamında küresel düzeyde MRIO tabloları üretilmiştir. Projenin yararlanıcı kurumu Avrupa Çevre Ajansı ve proje ortakları ise Norveç Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, merkezi Avusturya'da bulunan Sürdürülebilir Avrupa Araştırma Enstitüsü, Viyana Ekonomi ve İşletme Üniversitesidir. EXIOBASE projesinin birinci fazında üretilen MRIO tabloları 44 ülke, 200 ürün, 163 sektör ile çevresel etkilere ilişkin analizlere imkân veren 417 emisyon ve 662 malzeme ve kaynak kategorisini içermektedir. Ayrıca, katma değer bloğunda işgücü ödemeleri hesabı hem cinsiyete hem de 3 farklı beceri düzeyinde üretilmiştir. 2023 yılı itibarıyla EXIOBASE projesinin bölgesel yerel ekonomileri de dikkate alan üçüncü fazına geçilmiş, EXIOBASE MRIO'daki bölge sayısı 49'dan 214'e çıkarılmıştır.

2.4. Asya Kalkınma Bankasının MRIO Veritabanı

MRIO çalışmalarında bir diğer örnek ise 29 ülkeyi kapsayan Asya Kalkınma Bankasının MRIO Veritabanıdır. Asya Kalkınma Bankası MRIO çalışmalarını 72 ülkeyi içerecek şekilde genişletmektedir.

2.5. Uluslararası Para Fonu (IMF)'nun MARIO Sistemi

Son dönemde dünya çapında MRIO tabloları üretmeye başlayan kurumlardan birisi de Uluslararası Para Fonu (IMF)'dir. IMF 2023 yılında Çoklu Analitik Bölgesel Girdi-Çıktı Modeli projesini başlatmıştır. IMF MARIO projesi kapsamında 209 ülke için 144 sektörlü 178 ürünü içeren MRIO tablolarının üretilmesi hedeflenmektedir (Guilhoto ve diğerleri, 2023).

2.6. Türkiye'de MRIO Modelleri

Türkiye'de girdi-çıktı çalışmaları 1963 yılında Devlet Planlama Teşkilatı tarafından Dr. Uğur Korum'a hazırlatılan 1959 yılı Türkiye Girdi-Çıktı Tablosunun üzerinden 60 yılı aşkın bir süre geçmesine rağmen, hala başlangıç seviyesindedir. Girdi-çıktı analizinin gerek iktisat gerekse iktisadi coğrafya disiplininin araştırmacılarının ilgisini çekememiş olmasının birinci nedeninin, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından ulusal tabloların gecikmeli olarak üretilmesi ve bölgesel tabloların hiç üretilmemesi olduğu değerlendirilmektedir. TÜİK, 2002 yılı tablosuna kadar ulusal girdi-çıktı tablolarını düzenli olarak her beş yılda bir yayımlanmıştır. Ancak, 2012 yılı tablosunu 5 yıl gecikmeyle 2017 yılı başında yayımlanabilmiştir. Halihazırda Türkiye için girdi-çıktı modeliyle yapılacak bir analizin kullanabileceği en güncel tablo 2012 yılı tablosudur.

Bu bölümde, Türkiye'de akademik yazında girdi-çıktı modeline ilişkin Yüksek Öğretim Kurulu tarafından onaylanmış ve YÖK'ün resmi internet sitesinde sunulan yüksek lisans ve doktora tezleri incelenmiştir. Bu çalışmalar, referans alınan girdi-çıktı tabloları, tercih edilen analiz yöntemleri, veri kaynakları ve bulguları ile literatüre katkılarını bakımından değerlendirilmiştir. YÖK Ulusal Tez Veritabanında 1973-2023 döneminde Türkiye ekonomisini inceleyen ve doğrudan girdi-çıktı analizi yöntemini kullanan toplam 51 yüksek lisans ve doktora tezi bulunmaktadır. Bu tezlerin 26'sı 1973-2013 döneminde hazırlanmış iken, 2014-2023 döneminde ise 25 tez çalışması tamamlanmıştır. Bu çalışmaları temalarına göre sınıflandırdığımızda ise %75'inin ekonomi ve ekonometri alanında gerçekleştirildiği görülmektedir. 51 çalışmadan 2'si istatistik, 6'sı işletme, 4'ü mühendislik (Endüstri ve Çevre Mühendisliği) ve sadece 1'i şehir ve bölge planlama disiplinine aittir. Dünyada ekonomik coğrafya ve bölge bilimi disiplinlerinde tercih edilen analiz yöntemlerinden birisi olan bölgesel, bölgelerarası ve çok bölgeli girdi-çıktı modellerine Türkiye'de iktisadi coğrafya ve şehir ve bölge planlama disiplinlerinin ilgi göstermemiş olması dikkat çekici bir durumdur. Tez çalışmalarınının 38'si

TÜİK tarafından yayımlanan ulusal girdi-çıkıtı tablolarını referans almıştır. Tez çalışmalarından 5'i de OECD tarafından yayımlanan OECD WIOD veritabanında Türkiye'ye ilişkin sunulan tabloları kullanmıştır. Bu tez çalışmalarının literatüre olan katkıları, yöntem, sektörel ve bölgesel analizler bakımından şu şekilde özetlenebilir:

- i. Ulusal düzeyde sektörel odağı olan çalışmalar Kahvecioğlu (2023), Mumcu (2022), Kutlu (2019), Güngör (2019), Ertürk (2018), Akyüz (2018), Erkök (2016), Koç (2015), Küçükiremitçi (2013), Ekşioğlu (2012), Özcanlı (2011), Özışık (2009), İlhan (2008), Bhutto (2007), Dilber (2004), Ocakverdi (2003), Çınar (1993) ve Topçu (1992) tarafından gerçekleştirilmiş, bu çalışmalarda çevre ve enerji, dış ticaret analizi, hizmetler, imalat sanayi, inşaat, turizm, otomotiv, tekstil ve ulaştırma sektörlerinin Türkiye ekonomisi içindeki bağımlaşma ilişkileri ve önem düzeylerine ilişkin bulgulara ve tespitlere yer verilmiştir.
- ii. Söz konusu araştırmalardan bölgesel niteliği bakımından öne çıkan çalışmalar ise; Çalışkan (2022)'in Kocaeli ili, Yenilmez (2021)'in İzmir ili, Demir (2019)'in Adana ili, Namlı (2016)'nın Elazığ ili, Topcuoğlu (2015)'nin Ardahan ve Iğdır illeri, Sel (2015)'in Sivas ili, Çakır (1999)'in Ege Bölgesi, Ersungur (1996)'un Erzurum ili ve Toraman (1973)'in Doğu Marmara Bölgesine ilişkin araştırmalarıdır. Bölgesel girdi-çıkıtı çalışmalarının tek bölgeyi yapıda olduğu görülmektedir.
- iii. Ulusal girdi-çıkıtı tablolarının seçilen analiz yıllarına güncellenmesine ilişkin tercih edilen yöntem bakımından RAS yöntemini kullanan çalışmalar öne çıkmaktadır. Bu çalışmalar, Yenilmez (2021), Aracı (2019), Bayrak (2010), Altan (1996) ve Gürgök (1994) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalardan Yenilmez (2021) RAS yönteminin yanı sıra konum katsayısı (LQ) yöntemini de uygulamıştır.
- iv. Leontief ters matrisinden elde edilen katsayılar ile geri ve ileri bağlantı analizi yapan çalışmalar Jannatdoust (2023), Demir (2019), Kutlu (2019), Akyüz (2018), Erkök (2016), Tokpunar (2015), Koç (2015), Sarioğlu (2012), Özcanlı (2011), Özışık (2009), İlhan (2008), Bhutto (2007), Dilber (2004), Ocakverdi (2003), Aydın (2001), Çakır (1999), Dalkılıç (1999), Altan (1996), Ersungur (1996), Kara (1996), Çakır (1996), İloğlu (1993), Çınar (1993) ve Topçu (1992)'ya aittir. Girdi-çıkıtı modelini kullanan araştırmalarda tercih edilen bir diğer önemli analiz yöntemi ise "kilit sektör" analizidir. Bu analiz yönteminin uygulandığı araştırmalar ise Jannatdoust (2023), Çalışkan (2022), Sel (2019), Demir (2019), Kıvrak (2019), Avınca (2019), Tokpunar (2015), Şahin (2008), İlhan (2008), Aydın (2001), Kara (1996), Çakır (1996), İloğlu (1993) ve Çınar (1993) tarafından gerçekleştirilmiştir.

Literatür taraması sonucunda, Türkiye için geliştirilmiş bir MRIO modeli olmadığı görülmekte, Türkiye ekonomik coğrafyasının daha derinlikli analiz edilebilmesine imkân tanıyacak bölgesel, iki bölge, çok bölge, tutarlı ve geçerliliği yüksek girdi-çıkıtı tablolarına ihtiyaç duyulduğu değerlendirilmektedir.

3. YÖNTEM

3.1. Türkiye Merkez-Çevre MRIO Modelinin Yapısı

Bu çalışma kapsamında Türkiye Merkez-Çevre Çok Bölge Girdi-Çıkıtı (MRIO) Modeli geliştirilmiştir. Türkiye Merkez-Çevre MRIO Modeli, bölgeler ve sektörler arası akımı gösteren üretim bloğu, bölgesel ve sektörel talebi içeren nihai talep bloğu ve bölgesel ve sektörel işgücü ve işletme artığı hesaplarını içeren katma değer bloğu olmak üzere 3 temel matris (blok)'ten oluşmaktadır. TÜİK ulusal hesaplar sistemi bölgesel GSYH serisi verilerine uygun olarak üretim bloğu ve bununla ilişkili üretim, katma değer, nihai talep hesapları 10 sektörlü olarak ele alınmıştır. Modelde ifade edilen üretim, nihai talep ve katma değer hesapları matrislerine ilaveten kamu gelirlerine ilişkin vergi matrisi ve dış talebe ilişkin ithalat matrisleri de modelde yer almaktadır. Modelde yer alan sektör kısaltmaları ve sektör adları şu şekildedir:

A	- Tarım, ormancılık ve balıkçılık
BCDE	- Sanayi
F	- İnşaat
GHI	- Hizmetler
J	- Bilgi ve iletişim
K	- Finans ve sigorta faaliyetleri
L	- Gayrimenkul faaliyetleri
MN	- Mesleki, idari ve destek hizmet faaliyetleri
OPQ	- Kamu yönetimi, eğitim, insan sağlığı ve sosyal hizmet faaliyetleri
RST	- Diğer hizmet faaliyetleri

Çalışmada kullanılan Türkiye Merkez-Çevre MRIO Modelinin yapısı Tablo-1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Türkiye Merkez-Çevre MRIO modelinin yapısı

Satan	Alan								Hanehalkı Tüketimi (C)	Kamu Tüketimi (G)	Yatırımlar (I -GFCF)	İhracat (EX)	Toplam Arz (AD)
	Ankara		İstanbul		79 Çevre İl								
Ankara	R _{1,1} S _{1,1} .. R _{1,1} S _{1,10}	R _{1,2} S _{1,1} .. R _{1,2} S _{1,10}	R _{1,3} S _{1,1} .. R _{1,3} S _{1,10}	..	..	..	..	..	C _{1,1}	G _{1,1}	I _{1,1}	EX _{1,1}	AD _{1,1}
İstanbul	R _{1,1} S _{10,1} .. R _{1,1} S _{10,10}	R _{1,2} S _{10,1} .. R _{1,2} S _{10,10}	R _{1,3} S _{10,1} .. R _{1,3} S _{10,10}	..	..	..	..	..	C _{1,10}	G _{1,10}	I _{1,10}	EX _{1,10}	AD _{1,10}
	R _{2,1} S _{1,1} .. R _{2,1} S _{1,10}	R _{2,2} S _{1,1} .. R _{2,2} S _{1,10}	R _{2,3} S _{1,1} .. R _{2,3} S _{1,10}	..	..	..	..	..	C _{2,1}	G _{2,1}	I _{2,1}	EX _{2,1}	AD _{2,1}
79 Çevre İl	R _{2,1} S _{10,1} .. R _{2,1} S _{10,10}	R _{2,2} S _{10,1} .. R _{2,2} S _{10,10}	R _{2,3} S _{10,1} .. R _{2,3} S _{10,10}	..	..	..	..	..	C _{2,10}	G _{2,10}	I _{2,10}	EX _{2,10}	AD _{2,10}
	R _{3,1} S _{1,1} .. R _{3,1} S _{1,10}	R _{3,2} S _{1,1} .. R _{3,2} S _{1,10}	R _{3,3} S _{1,1} .. R _{3,3} S _{1,10}	..	..	..	..	..	C _{3,1}	G _{3,1}	I _{3,1}	EX _{3,1}	AD _{3,1}
İşgücü Ödemeleri (L)	R _{3,1} S _{10,1} .. R _{3,1} S _{10,10}	R _{3,2} S _{10,1} .. R _{3,2} S _{10,10}	R _{3,3} S _{10,1} .. R _{3,3} S _{10,10}	..	..	..	..	..	C _{3,10}	G _{3,10}	I _{3,10}	EX _{3,10}	AD _{3,10}
	L _{1,1} .. L _{1,10}	L _{2,1} .. L _{2,10}	L _{3,1} .. L _{3,10}	..	..	..	..	..
İşletme Artığı (K)	K _{1,1} .. K _{1,10}	K _{2,1} .. K _{2,10}	K _{3,1} .. K _{3,10}	..	..	..	..	..
İthalat (M)	M _{1,1} .. M _{1,10}	M _{2,1} .. M _{2,10}	M _{3,1} .. M _{3,10}	..	..	..	..	..
Toplam Arz (AS)	AS _{1,1} .. AS _{1,10}	AS _{2,1} .. AS _{2,10}	AS _{3,1} .. AS _{3,10}	..	..	..	..	..

Not: Yazar tarafından hazırlanmıştır.

Modelde idari merkez Ankara ile ekonomik ve ticari merkez İstanbul ayrı olarak yer almış, geriye kalan 79 il ise çevre bölge olarak ifade edilmiştir. Seçilen 3 bölgenin 10 sektörlü olarak birbiriyle ve kendi iç ekonomileri ile olan mal ve hizmet akımları üretim bloğunu oluşturmuştur. Modelin en önemli kısmı olan ve üretim bloğunu oluşturan sektörler arası akımlar LQ (konum katsayısı) ve RAS yöntemiyle yıllara sâri (2006-2021 dönemi) olarak hesaplanmıştır. Katma değer bloğunun ve nihai talep bloklarının hesaplanmasında ise yine TÜİK'in ilgili Veritabanlarından istifade edilmiştir. Tablo 1'de yer alan notasyonların ne anlama geldiği ise örnek hesaplar verilerek Tablo 2'de açıklanmıştır.

Tablo 2. Çok-bölgeli Türkiye merkez-çevre modelinde kullanılan notasyonlar

Notasyon	Ait Olduğu Blok	Açıklama
$R_{1,1}S_{1,1}$	Üretim	Birinci bölgede birinci sektörün sektör-içi talep ettiği mal ve hizmetler
$C_{2,1}$	Nihai Talep	İkinci bölgenin hanehalklarının birinci sektörden olan talebi
$G_{3,10}$	Nihai Talep	Üçüncü bölgedeki kamu kurumlarının onuncu sektörden talebi
$I_{1,10}$	Nihai Talep	Birinci bölgede onuncu sektörün yatırım talebi
$L_{1,1}$	Katma Değer	Birinci bölge birinci sektörün toplam işgücü ödemeleri
$K_{1,1}$	Katma Değer	Birinci bölge birinci sektörün toplam işletme artığı değeri
$EX_{2,10}$	Dış Alem	İkinci bölge onuncu sektörün yurtdışına yapmış olduğu toplam ihracat
$M_{1,1}$	Dış Alem	Birinci bölge birinci sektörün dış alemden mal-hizmet talebi
$AD_{2,10}$	Toplam Talep	İkinci bölge onuncu sektörüne ait toplam talep
$AS_{1,1}$	Toplam Arz	Birinci bölge birinci sektörün toplam arzı

Girdi-çıkıtlı modellerinde x , ara girdi kullanımı; x_{ij} , sektörel ara girdiyi (j sektörünün i sektöründen kullanımı); Y , nihai talebi ve X , toplam çıktıyı ifade etmektedir. Bu her bir i sektörü için toplam üretimin değeri X_i , ara talep x_{ij} ve nihai talebin Y_i toplamına eşittir (Eşitlik 1).

$$X_i = \sum_{j=1}^n x_{ij} + Y_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

Burada, x_{ij} ($n \times n$) matrisi, sektörler arası aragirdi alışverişini göstermekte olup, her bir j sektörünün i sektöründen kullandığı aragirdi miktarının j sektörü toplam üretimine bölünmesi suretiyle ($a_{ij} = \frac{x_{ij}}{X_j}$) elde edilen girdi katsayıları, sektörler arasında, sektörlerin diğer sektörlerden kullandığı aragirdileri gösteren 0 ile 1 arasında bir değerdir. Girdi katsayısı herhangi bir sektör veya ürün için girdi yapısı hakkında bilgiler sağlamakta olup bu katsayılardan müteşekkil girdi katsayı matrisi ($A = \sum a_{ij}$) Girdi-Çıktı analizi için bir temel oluşturmaktadır. Bu çerçevede, $x_{ij} = a_{ij}X_j$ olduğundan Eşitlik 1, Eşitlik 2'deki gibi ifade edilebilir.

$$X_i = \sum a_{ij}X_j + Y_i \quad (2)$$

Eşitlik 2 matris formunda, Eşitlik 3'teki gibi gösterilebilmektedir.

$$X = AX + Y \quad (3)$$

Eşitlik 3 toplam çıktı bağımlı değişken olmak üzere yeniden düzenlendiğinde Eşitlik 4 ve 5'teki şekilde yeniden yazılabilmektedir.

$$(I - A)X = Y \quad (4)$$

$$X = (I - A)^{-1}Y \quad (5)$$

Eşitlik 5'teki özdeşlikte yer alan ve $(I - A)^{-1}$ ile ifade edilen ters matris Leontief ters matrisi (B) olarak ifade edilmektedir. Modelin denge durumunda nihai talepte meydana gelen bir birimlik değişimin sistemde bütün sektörlerin birbirlerini etkilemesi sonucunda toplam üretimde meydana getirdiği değişim, Eşitlik 6'daki özdeşlik kullanılmak suretiyle leontief ters matrisi (B) ile nihai talepte meydana gelen değişiklikleri içeren vektörün çarpılması suretiyle hesaplanmaktadır.

$$\Delta X = (I - A)^{-1}\Delta Y_0 \text{ veya } \Delta X = B\Delta Y_0 \quad (6)$$

Toplam etki, hanehalkının dışarıda bırakıldığı açık girdi-çıkıtlı modellerinde doğrudan ve dolaylı etkiler toplamından, hanehalkının dahil edildiği kapalı girdi-çıkıtlı modellerinde ise doğrudan, dolaylı ve uyarılmış etkiler toplamından oluşmaktadır (Eşitlik 7).

$$(I - A)^{-1} = I + A + A^2 + A^3 + A^4 + \dots \quad (7)$$

Buna göre; I başlangıç durumunu, A doğrudan etkiyi ve kalan $A^2 + A^3 + A^4 + \dots$ kısmı dolaylı etkiyi ifade etmektedir. MRIO modelinin en önemli kısmı sektörler arası akımları ifade eden A matrisidir. MRIO modeline geçildiğinde A matrisi bölge sayısının karesi kadar artmaktadır. Örneğin 2 bölgeli modellerde 4 adet sektörel akım matrisleri yer alırken 3 bölgeli modelde 9 adet sektörel akımlar matrisi yer almakta, köşegen matrisler ise bölge-içi sektörel akımları ifade etmektedir. MRIO modelinin sektörel akımlar

matrisine ilişkin matematiksel gösterim Eşitlik 8'deki denklemde yer almaktadır. Eşitlik 9-11'de ise MRIO modelinin bölgesel doğrudan girdi yapısını ifade etmektedir.

$$A = \begin{bmatrix} A^{11} & A^{12} & A^{13} \\ A^{21} & A^{22} & A^{23} \\ A^{31} & A^{32} & A^{33} \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$(I - A^{11})x^1 - A^{12}x^2 - A^{13}x^3 = y^1 \quad (9)$$

$$A^{21}x^1 - (I - A^{22})x^2 - A^{23}x^3 = y^2 \quad (10)$$

$$A^{31}x^1 - A^{32}x^2 + (I - A^{33})x^3 = y^3 \quad (11)$$

3.2. Veri Seti

MRIO modelinin oluşturulmasında TÜİK tarafından yayımlanan son 3 güncel tablo olan 2012, 2002 ve 1998 girdi-çıkıtı tabloları referans alınmıştır. Öncelikle, 2000-2021 dönemine ait 22 yıllık 10 sektörlü Türkiye girdi-çıkıtı tablosu serisi üretilmiştir. Tabloların kalibrasyonunda TÜİK tarafından yıllık olarak yayımlanan GSYH, kurumsal sektör hesapları, katma değer, işgücü ve üretim istatistiklerinden faydalanılmıştır. Yıllık sektörel akımlara ilişkin veri setinin tahmin edilmesinde faydalanılan Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Girişimci Bilgi Sistemi verileri, 2006 yılından başladığı için oluşturulan tablolar için baz yılı olarak 2006 seçilmiş, orta vadeli program dönemleriyle uyumlu olarak 3'er yıl arayla 2009, 2012, 2015, 2018 ve 2021 yılları için üretilmesi uygun görülmüştür. Ayrıca, Türkiye İstatistik Kurumu Tarımsal Üretim İstatistikleri, Sanayi Envanteri, Ulusal Hesaplar, İşgücü, Hanehalkı ve Bütçe Anketi, Gelir ve Yaşam Koşulları Anketi, Ar-Ge ve Yenilik İstatistikleri, Enerji İstatistikleri, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Organize Sanayi Bölgeleri İstatistikleri, Girişimci Bilgi Sistemi İstatistikleri, Teşvik ve Yabancı Sermaye İstatistikleri, TOBB idari kayıtlarına dayalı ikincil resmi veriler, çeşitli istatistik ve ekonometri yazılımları ile yapılandırılmış, gerekli parametre setleri hazırlanmıştır. Türkiye için ve bölgesel düzeyde 10 sektörlü girdi-çıkıtı tablolarının oluşturulmasında konum katsayıları (LQ) ile RAS yöntemi uygulanmıştır.

3.3. Bölgesel ve Sektörel MRIO Tablolarının Oluşturulması ve Güncellenmesi: RAS Tekniği

RAS yöntemi girdi-çıkıtı tablolarının dengeye getirilmesinde ve veri uyumlaştırmasında sıkça tercih edilen bir yöntemdir. Cambridge Üniversitesi'nden Nobel ödüllü iktisatçı Richard Stone tarafından geliştirilen RAS yöntemi kullanılarak girdi-çıkıtı tablolarının ikili matris dengeleme tekniği ile güncellenebilmesi mümkün olabilmektedir. Bu yöntem aynı zamanda ulusal düzeydeki girdi-çıkıtı tablolarından bölgesel ve yerel girdi-çıkıtı tablolarının üretilmesinde de kullanılmaktadır (Stone, 1961; Malizia ve Bond, 1974; Polenske, 1997). Amacı, bazı eksi değer barındırmayan matrislerin satır ve sütun toplamları arasında tutarlılık elde etmektir. Bu yöntem, güçlü bilgisayarların bulunmadığı bir zamanda geliştirilmiş olmasına karşın, uygulaması ve ürettiği sonuçların tutarlılığı girdi-çıkıtı tabloları ile yapılan etki analizi modelleri için yeterli düzeyde olduğu kabul edilmektedir. Aynı üretim düzeyine ve üretim sektörlerinin yapısal ilişkilerine göre aynı arz ve talep düzeyinde katma değer ve nihai talep vektörlerinin eşitliği ilkesine dayanır. Talep vektöründeki her bir değişimin aynı üretim ve endüstriler-arası ilişkiler çerçevesinde katma değer vektörlerine yansımaları böylece üretim, katma değer ve harcamalar yöntemiyle GSYH değerlerinin eşitliği varsayımı gerçekleştirilebilir.

RAS yönteminde hedef yıllara ait nihai talep kalemlerini temsil eden eşitlik (Eşitlik 12) ile katma değer (işgücü ödemeleri ve işletme artığı) hesaplarına ilişkin eşitliğin (Eşitlik 13) sağlanması gerekmektedir.

$$u_i = \sum_{j=1}^n z_{ij} \quad (11)$$

$$v_j = \sum_{i=1}^n z_{ij} \quad (12)$$

Bu amaçla, her iki $u = \begin{bmatrix} u_1 \\ \dots \\ u_n \end{bmatrix}$ ve $v = \begin{bmatrix} v_1 \\ \dots \\ v_n \end{bmatrix}$ vektörleri tanımlanmakta ve her adımda karşılıklı olarak her bir u

ve v değerinin eşitliği amaçlanmaktadır. Satır ve sütun toplamlarının eşitliği gerçekleşene kadar süreç iteratif bir şekilde işletilmekte, girdi-çıkıtı tablosu dengeye getirilmektedir.

3.4. Türkiye Merkez-Çevre MRIO Tabloları (2006-2021) ve Leontief Ters Matrisleri

RAS yöntemi uygulanarak, öncelikle Türkiye ekonomisine ilişkin 2000-2021 ulusal girdi-çıkıtı serisi oluşturulmuş, bu seriden seçilen 2006, 2009, 2012, 2015, 2018 ve 2021 yıllarına ilişkin MRIO tablosunun ayrıştırılmasında önce konum katsayısı yöntemi uygulanarak dengede olmayan çok bölgeli tablolar elde edilmiş, ardından yine RAS yöntemiyle bu tablolar dengeye getirilmiştir. Herbir yıl için iteratif bir şekilde dengeye getirilen 2006-2021 dönemi Türkiye Merkez-Çevre MRIO tabloları üretilmiştir. Bu çalışma 2006 yılına göre 2021 yılındaki bölgesel ve sektörel yapısal bağınlaşmayı göstermeyi amaçladığından sadece 2006 ve 2021 yıllarına ilişkin MRIO tabloları ile Leontief ters matrisi katsayılarına dayalı analizler

gerçekleştirilmiştir. 2006 ve 2021 yılına ait Türkiye Merkez-Çevre MRIO tabloları ve Leontief katsayı matrisleri Tablo 3 ve 4 ile Şekil 1-3'te sunulmuştur.

4. BÖLGESEL ve SEKTÖREL YAPISAL BAĞINLAŞMA ANALİZİ BULGULARI

Türkiye merkez-çevre MRIO tablosu Türkiye ekonomisini bölgesel ve sektörel ölçekte seçilen yıla ait olarak yapısal ilişkileri gösteren bir denge tablosudur. MRIO tablosundan elde edilen Leontief ters matrisinde, bölgesel ve sektörel yapısal ilişkileri göstermektedir. Bu bölümde MRIO tablosundan elde edilen Leontief katsayıları kullanılarak bölgesel ve sektörel yapısal bağlaşımların 2021 yılında 2006 yılına göre nasıl bir değişim gösterdiği ortaya konulmuştur.

Yapısal bağlaşımla analizinde 2021 yılı Leontief ters matrisinden 2006 yılı Leontief ters matrisi çıkarılarak, elde edilen yeni tablo üzerinde analizler yapılmıştır. Tablo 5, 2006-2021 döneminde merkez ve çevre bölgelerin sektörel olarak bağlaşımla katsayılarındaki değişimi göstermektedir. Söz konusu tablo 9 alt matristen oluşmaktadır. Satırlarda yer alan bölgeler ve sektörler arz eden, sütunlarda yer alan bölge ve sektörler ise talep eden konumdadır. Birinci matris Ankara'nın Ankara ile, ikincisi Ankara'nın İstanbul ile, üçüncü matris Ankara'nın çevre illerle, dördüncü matris İstanbul'un Ankara ile, beşinci matris İstanbul'un İstanbul ile, altıncı matris İstanbul'un çevre illerle, yedinci matris çevre illerin Ankara ile, sekizinci matris çevre illerin İstanbul ile ve dokuzuncu matris ise çevre illerin yine çevre illerle sektörel bağlaşımla değişimini göstermektedir.

Tablo 5'te kırmızı ile görülen hücreler 2006-2021 döneminde satır kısmındaki arz eden bölge ve sektöre olan (sütun kısmında yer alan) talebin azaldığını, bu azalmanın dikkat çekici düzeyde olduğunu ifade etmektedir. Örneğin, İstanbul BCDE (Sanayi) sektörünün çıktılarına ilişkin Ankara BCDE (Sanayi) sektörünün talebinin önemli ölçüde azaldığı gözlemlenmektedir. Ayrıca, her bir matrisin toplam katsayı değişimi o iki bölgenin arz-talep ilişkileri bakımından ekonomik bağlarının değişimini de tespit edilmesine imkân vermektedir.

Tablo 6'da ise 2006-2021 döneminde yapısal kaynak ve hedef bölgeler arasında yapısal bağlaşımların en fazla arttığı ve azaldığı sektörel ilişkiler sunulmuştur. Bu tabloya göre, Türkiye'de merkez ve çevre bölgeler içinde bölge-içi ekonomik entegrasyonu en çok geliştiren bölge Ankara olmuştur. Ankara ekonomisi içinde yapısal bağlaşımla en fazla arttığı sektör ikilileri (arz-talep); F (İnşaat) → L (Gayrimenkul), F (İnşaat) → F (İnşaat) ve GHI (Hizmetler) → F (İnşaat) sektörüdür. Ankara'daki inşaat sektörü o kadar hızlı gelişmiştir ki, sektör sadece Ankara için değil, Ankara zamanda Türkiye ekonomisi için de 4'ncü önem sırasındaki kilit sektör konumuna gelmiştir. Ankara GHI (Hizmetler) sektörü de Ankara F (İnşaat) sektörünün en önemli tedarikçileri arasındadır. Ankara ekonomisi içinde yapısal bağlaşımla ilişkisi en fazla düşüren sektör ikilisi ise GHI (Hizmetler) → BCDE (Sanayi)'dir. Ankara BCDE (Sanayi) sektörünün ilin GHI (Hizmetler) üzerindeki geri besleme etkisi oldukça zayıflamıştır.

Yapısal bağlaşımların en fazla arttığı ikinci sıradaki arz-talep bölge ikilisi çevre iller ile Ankara'dır. Diğer bir ifadeyle, 79 ilin ürettiği ara ve hizmetlere talep artış hızı bakımından Ankara 2'nci sıradadır. Bu durum iki bölge arasındaki ekonomik entegrasyon sürecinin hızlandığı anlamına gelmektedir. Çevre illerin GHI (Hizmetler) sektörü, Ankara F (İnşaat), GHI (Hizmetler) ve MN (Mesleki, İdari ve Destek Hizmet Faaliyetleri) sektörleri için önemli bir ara girdi/arz kaynağı haline gelmiştir.

Tablo 5'e dayalı olarak hesaplanan arz eden bölge ve talep eden bölge arasındaki ilişkilerin toplam değişimini gösteren Tablo 6'ya göre, Türkiye'de arz ve talep ilişkileri bakımından yapısal bağlaşımla en fazla güçlendiği bölge Ankara olmuştur. Ankara ekonomisi kendi sektörleri için gerekli mal ve hizmetleri daha fazla üretir ve kendi bölgesinden tedarik eder hale gelmiştir.

Türkiye Merkez-Çevre Çok Bölge Girdi-Çıktı (MRIO) Modeli ile Bölgesel ve Sektörel Yapısal Bağımlaşma Analizi (2006-2021)

Tablo 3. 2006 Yılı Türkiye merkez-çevre MRIO tablosu (Bin TL)

2006 - MRIO-TR	Sektörler	Ankara										İstanbul									
		A	BCDE	F	GHI	J	K	L	MN	OPQ	RST	A	BCDE	F	GHI	J	K	L	MN	OPQ	RST
Ankara	A	14.880	3.699	4.952	34.296	0	61	110	3.338	489	0	1.666	8.171	504	3.627	0	144	106	292	95	0
	BCDE	5.940	5.176.038	587.540	2.363.924	33.479	4.550	12.271	137.389	119.006	16.698	616	2.976.846	154.112	838.345	49.397	262.313	15.068	39.605	5.409	1.482
	F	12.654	768.471	1.147.608	1.419.862	44.279	345	30.394	139.693	194.302	5.018	0	248.508	307.383	301.769	21.412	28.137	78.019	76.175	836	866
	GHI	35.664	4.608.005	984.698	6.513.569	123.697	23.771	34.449	148.711	535.564	53.521	815	5.978.425	92.562	2.229.919	85.563	184.122	10.186	169.318	38.535	4.404
	J	86	21.999	5.476	63.654	50.493	30	71	8.401	6.744	1.590	52	22.753	21.782	34.195	435.519	3.921	231	20.680	1.830	104
	K	2.177	4.472	1.427	20.478	134	15.438	20	726	6.509	208	0	7.573	425	2.676	32	1.241	0	179	0	0
	L	185	26.764	10.812	41.906	4.546	0	526	2.098	18.756	214	0	7.194	3.065	32.122	1.671	1.019	6.353	944	253	263
	MN	1.067	254.673	96.438	184.877	15.855	2.119	4.125	129.751	71.426	7.421	52	105.571	22.469	127.770	13.132	7.713	11.511	41.379	3.002	957
	OPQ	0	3.480	7.171	36.287	1.264	0	198	1.759	187.765	1.413	0	1.402	765	9.836	722	453	0	1.875	6.138	761
	RST	77	14.647	2.289	25.899	1.000	71	153	670	5.485	1.046	0	14.324	565	18.917	1.257	982	0	620	0	220
İstanbul	A	67	43	330	1.322	0	0	0	358	0	0	4.919	42.395	8.065	42.627	358	268	753	6.417	379	142
	BCDE	29.082	5.528.605	386.121	4.044.950	87.005	276.392	15.307	24.564	37.805	22.240	41.513	28.670.249	1.764.405	53.271.600	720.411	704.356	610.712	1.049.572	115.418	116.833
	F	0	110.814	328.784	304.875	21.570	46	957	9.498	5.816	797	17.166	1.479.440	2.614.566	2.193.735	540.251	246.716	225.723	370.337	149.572	12.798
	GHI	15.402	2.110.355	550.101	10.642.475	209.884	23.041	33.161	107.663	313.666	49.948	80.079	25.978.581	2.830.393	79.674.698	2.479.706	2.400.041	803.517	3.272.712	472.663	472.189
	J	126	34.716	26.508	282.496	361.206	576	770	23.463	11.979	884	261	437.361	92.902	5.564.599	3.993.500	76.971	19.843	1.977.786	26.138	245.981
	K	197	60.501	38.769	50.577	1.976	81	489	3.140	26.518	987	2.449	825.196	87.261	730.778	53.086	52.132	75.565	107.723	28.313	6.272
	L	282	4.049	7.705	9.269	1.137	0	163	608	228	151	489	153.010	70.906	355.083	23.322	27.251	66.403	67.009	11.700	2.729
	MN	401	98.026	36.634	150.726	62.268	173	2.453	40.212	15.174	2.105	6.221	2.304.686	337.139	4.257.138	1.298.558	157.721	164.304	2.879.693	93.202	32.867
	OPQ	1.189	814	547	8.272	244	0	0	91	8.730	243	127	38.920	5.139	118.841	11.930	2.432	3.518	14.510	197.845	3.244
	RST	0	4.054	1.704	14.283	2.501	0	0	494	980	890	197	166.145	15.579	260.079	45.405	3.454	1.642	19.616	3.321	5.049
79 İl	A	11.863	6.739	1.074	23.387	0	0	0	537	586	92	12.111	100.968	2.195	90.216	238	1.999	1.295	6.227	70	0
	BCDE	26.746	2.489.362	587.197	3.834.491	37.527	2.956	15.605	36.176	28.527	6.229	49.868	16.498.619	611.905	27.556.080	112.061	507.711	719.127	934.807	12.295	30.230
	F	9.268	179.441	344.938	197.784	24.095	91	1.594	6.949	22.872	177	3.376	437.494	339.432	424.523	19.900	41.274	24.795	31.591	4.802	1.692
	GHI	56.604	1.056.134	635.441	2.614.745	23.354	1.928	6.870	40.247	84.501	10.941	46.038	5.712.972	415.682	11.564.526	186.188	425.593	112.331	620.433	15.803	12.640
	J	0	703	5.716	4.715	2.692	30	0	198	0	178	0	8.133	3.254	36.896	45.303	1.112	0	6.226	3.232	171
	K	367	914	1.230	5.004	32	321	0	30	1.603	0	0	28.829	1.334	12.655	1.513	893	0	975	250	47
	L	100	6.928	5.777	13.944	369	0	449	410	0	41	82	38.096	10.512	56.050	955	1.006	1.193	2.084	215	362
	MN	4.802	49.929	26.601	41.901	3.741	26	605	23.007	4.488	0	4.036	289.769	20.508	210.428	11.954	8.822	8.229	121.628	1.293	1.304
	OPQ	0	4.092	598	8.472	469	0	0	1.010	1.478	0	59	4.994	537	9.105	1.284	1.609	0	648	7.013	0
	RST	0	232	28	1.440	91	0	0	0	0	0	0	182.909	2.025	47.872	752	556	1.321	1.472	23	645
Toplam Aram Arzı		229.224	22.628.696	5.834.214	32.959.877	1.114.907	352.045	160.741	891.191	1.710.997	183.033	272.189	92.769.533	9.837.372	190.076.706	10.155.379	5.151.965	2.961.744	11.842.534	1.199.644	954.251
Ürün Üzerindeki Net Vergiler		12.409	1.229.479	311.112	1.748.252	60.336	18.903	8.520	47.867	92.063	9.784	14.417	4.926.165	513.317	9.964.612	547.001	269.298	156.924	631.500	63.163	50.114
Net ara üretim arzı		241.633	23.858.176	6.145.326	34.708.129	1.175.243	370.948	169.261	939.058	1.803.060	192.818	286.606	97.695.699	10.350.689	200.041.318	10.702.380	5.421.263	3.118.668	12.474.034	1.262.807	1.004.365
L- İşgücü Ödemeleri		525.126	5.538.157	1.620.924	6.030.250	842.566	661.045	1.301.201	781.992	17.191.056	1.204.973	146.733	19.407.445	4.028.077	27.355.111	4.428.375	2.826.169	14.467.876	5.022.990	3.660.100	1.431.358
B2.g İşletme artığı, gayrisafi / Karma gelir, gayrisafi		2.832.222	9.605.417	3.728.159	13.869.700	1.937.918	1.520.417	2.992.790	1.798.598	39.539.786	2.771.462	791.391	33.660.401	9.264.659	62.917.321	10.185.353	6.500.248	33.276.415	11.552.981	8.418.306	3.292.153
B1.g Gayrisafi katma değer (temel fiyatlarla)		3.357.348	15.143.575	5.349.083	19.899.949	2.780.484	2.181.462	4.293.991	2.580.590	56.730.842	3.976.434	938.123	53.067.845	13.292.736	90.272.432	14.613.728	9.326.417	47.744.291	16.575.972	12.078.406	4.723.511
P.1 Toplam üretim (temel fiyatlarla)		3.598.981	39.001.750	11.494.409	54.608.079	3.955.727	2.552.410	4.463.252	3.519.648	58.533.902	4.169.252	1.224.729	150.763.544	23.643.425	290.313.750	25.316.108	14.747.680	50.862.959	29.050.006	13.341.214	5.727.876
P.7 İthalat (cif)		794.739	10.925.766	14.699	319.796	76.686	102.245	0	101.017	2.373	4.964	11.756.749	133.244.363	256.585	4.183.677	1.666.857	2.108.074	0	2.374.262	6.825	64.555
Toplam Arz (AS)		4.393.720	49.927.516	11.509.108	54.927.874	4.032.413	2.654.655	4.463.252	3.620.665	58.536.275	4.174.216	12.981.478	284.007.907	23.900.010	294.497.427	26.982.965	16.855.754	50.862.959	31.424.268	13.348.038	5.792.431

Tablo 3. (Devamı)

2006 - MRIO-TR	Sektörler	79 İI										Toplam Aramalı	Hanehalkı	Kamu	Kamu Yatırımları	Özel Kesim	İhracat	Toplam Talep
		A	BCDE	F	GHI	J	K	L	MN	OPQ	RST	Int Demand	C	G	Ig	Ip	X	AD
Ankara	A	8.806	58.782	5.595	34.934	0	16.157	1.445	3.521	259	5.351	211.280	3.197.881	0	310.215	393.968	280.375	4.393.720
	BCDE	4.461	9.839.749	853.174	1.789.982	91.741	356.127	25.081	144.682	36.427	27.667	25.969.119	8.274.578	7.337.019	999.178	1.444.571	5.903.053	49.927.516
	F	4.780	1.435.258	1.501.436	776.250	76.984	48.855	74.351	186.500	30.460	8.686	8.969.292	1.662.057	2.801	306.492	504.268	64.198	11.509.108
	GHI	23.338	11.316.447	1.222.051	4.586.226	244.264	304.142	83.358	333.350	126.891	91.507	40.187.070	8.300.843	2.094.581	1.374.950	1.977.281	993.149	54.927.874
	J	47	43.085	24.427	45.987	447.849	5.219	255	17.643	3.634	2.569	1.290.327	1.112.385	929.214	97.982	558.885	43.621	4.032.413
	K	5.578	14.246	3.065	31.072	200	280.532	75	881	1.494	4.553	405.414	1.075.028	0	93.524	867.723	212.967	2.654.655
	L	62	29.675	15.718	34.147	7.385	1.343	2.803	2.366	2.724	1.042	255.955	3.074.430	0	36.829	1.096.038	0	4.463.252
	MN	502	351.931	122.535	149.941	33.437	14.183	9.216	131.491	12.417	11.117	1.938.078	555.174	287.085	522.051	117.442	200.835	3.620.665
	OPQ	0	5.478	7.808	24.431	2.249	597	219	3.004	36.972	3.705	345.751	553.806	53.132.385	329.630	4.162.342	12.361	58.536.275
	RST	26	26.912	2.798	19.489	2.616	1.423	170	853	893	1.802	145.205	883.642	2.541.993	253.299	349.024	1.054	4.174.216
Istanbul	A	2.686	67.844	8.728	35.182	313	14.972	3.323	4.377	319	331	246.518	8.973.483	0	0	104.237	3.657.239	12.981.478
	BCDE	53.216	37.596.851	2.302.546	31.654.313	759.485	1.464.835	330.139	660.299	108.477	361.731	172.809.032	24.535.835	1.073.844	2.648.514	1.573.971	81.366.711	284.007.907
	F	6.201	1.982.380	2.638.240	1.171.532	502.080	327.456	89.053	231.391	109.580	24.651	15.716.024	4.561.588	379	751.957	2.051.012	819.049	23.900.010
	GHI	113.121	33.498.601	3.743.584	62.397.313	2.631.464	3.592.210	526.277	2.091.972	492.179	1.022.658	242.629.653	25.772.240	320.992	492.179	7.624.695	14.333.732	294.497.427
	J	706	486.896	113.686	2.724.618	3.992.055	104.758	9.636	1.041.042	40.008	363.842	22.055.312	3.240.725	133.619	255.174	707.389	590.747	26.982.965
	K	3.948	1.152.491	154.543	443.221	49.940	71.851	36.622	65.441	40.771	15.422	4.186.256	3.163.053	0	245.987	6.347.640	2.912.817	16.855.754
	L	285	193.750	74.172	171.046	22.305	35.887	22.668	35.357	8.179	4.472	1.369.613	8.650.467	0	92.635	40.750.244	0	50.862.959
	MN	3.868	2.660.105	330.897	2.186.338	1.223.380	209.350	62.826	1.577.982	70.524	55.383	20.320.352	1.554.787	39.684	1.306.950	5.587.948	2.614.548	13.424.268
	OPQ	531	39.386	5.337	59.204	10.924	3.203	1.282	8.113	151.071	5.067	700.754	1.572.039	7.444.428	836.444	2.631.265	163.109	13.348.038
	RST	87	162.487	20.575	154.094	55.678	4.766	4.586	10.655	3.502	13.832	975.653	2.515.269	357.149	644.534	1.285.882	13.944	5.792.431
79 İI	A	47.806	310.873	5.554	151.606	245	42.891	3.343	3.800	470	2.000	828.186	38.891.538	0	3.660.020	2.198.820	2.718.071	48.296.634
	BCDE	182.706	29.226.836	1.258.759	15.814.893	28.199	266.907	176.959	193.912	34.055	160.860	101.441.603	102.978.230	3.860.241	9.497.524	49.986.215	58.560.484	326.324.299
	F	9.483	1.334.561	719.123	431.215	5.756	5.295	55.337	61.613	38.031	11.233	4.787.735	18.405.181	1.311	2.592.274	8.144.139	566.692	34.497.332
	GHI	223.718	16.945.117	2.137.155	14.666.847	61.365	132.165	189.720	749.434	190.686	249.643	59.188.823	104.675.099	1.116.641	13.242.690	14.410.051	9.983.063	202.616.368
	J	66	18.510	2.296	20.595	9.003	151	620	4.716	6.585	1.588	182.689	13.878.457	490.114	933.681	1.618.408	433.824	17.537.172
	K	3.882	272.154	2.709	62.198	177	225.854	340	838	360	6.641	631.151	13.492.183	0	896.504	2.089.416	2.130.602	19.239.855
	L	1.296	239.780	31.390	80.107	2.251	273	3.585	1.678	1.755	957	501.644	37.487.738	0	342.994	1.223.937	0	39.556.313
	MN	3.425	636.285	57.878	192.940	4.822	3.329	6.260	108.085	15.753	9.022	1.870.869	6.560.305	143.417	4.711.680	1.192.634	1.891.748	16.370.653
	OPQ	334	17.709	2.680	13.600	346	112	240	1.750	50.323	1.981	130.441	6.764.886	27.438.300	3.075.373	1.759.021	120.362	39.288.382
	RST	912	107.492	3.183	34.851	1.049	21.400	515	2.455	1.575	3.096	415.897	10.763.657	1.309.040	2.356.595	1.848.922	10.232	16.704.343
Toplam Aramalı Arzı		705.878	150.071.671	117.371.641	139.958.168	10.267.563	7.556.243	1.720.302	7.679.200	1.616.378	2.472.407	730.705.695	467.126.581	110.054.237	56.231.791	164.607.389	190.598.588	1.719.324.282
Ürün Üzerindeki Net Vergiler		37.946	8.017.328	915.280	7.319.364	552.525	396.103	90.685	408.507	85.910	130.303	38.629.188	38.248.631	325.838	1.238.051	13.598.418	1.916.457	93.956.582
Net ara üretim arzı		743.824	158.088.999	18.286.921	147.277.532	10.820.088	7.952.346	1.810.987	8.087.708	1.702.288	2.602.710	769.334.883	505.375.213	110.380.075	57.469.842	178.205.807	192.515.044	1.813.280.864
L- İşgücü Ödemeleri		7.032.900	34.587.103	4.870.510	16.415.843	1.748.450	2.873.509	11.437.906	2.272.823	11.388.732	4.254.551	215.353.850						
B2.g İşletme artışı, gayrisafi / Karma		37.931.349	59.988.100	11.202.274	37.756.779	4.021.471	6.609.131	26.307.420	5.227.540	26.194.319	9.785.556			GSYH - Harcama	789.227.555			
B1.g Gayrisafi katma değer (temel fiyatlarla)		44.964.248	94.575.203	16.072.784	54.172.621	5.769.921	9.482.641	37.745.326	7.500.364	37.583.051	14.040.108	700.833.486		GSYH - Katma Değer	789.227.555			
P.1 Toplam üretim (temel fiyatlarla)		45.708.073	252.664.202	34.359.705	201.450.153	16.590.009	17.434.987	39.556.313	15.588.071	139.285.339	16.642.818	1.470.168.369		TUİK GSYH	789.227.555			
P.7 İthalat (cif)		2.588.561	73.660.097	137.627	1.166.215	947.163	1.804.868	0	782.582	3.043	61.525	249.155.912						
Toplam Arz (AS)		48.296.634	326.324.299	34.497.332	202.616.368	17.537.172	19.239.855	39.556.313	16.370.653	139.288.382	16.704.343	1.719.324.282						

Not: Yazar tarafından hazırlanmıştır.

Türkiye Merkez-Çevre Çok Bölge Girdi-Çıktı (MRIO) Modeli ile Bölgesel ve Sektörel Yapısal Bağımlaşma Analizi (2006-2021)

Tablo 4. 2021 Yılı Türkiye merkez-çevre MRIO tablosu (Bin TL)

2021 - MRIO-TR Sektörler	Ankara										İstanbul																							
	A	BCDE	F	GHI	J	K	L	MN	OPQ	RST	A	BCDE	F	GHI	J	K	L	MN	OPQ	RST														
Ankara	A	498.874	373.595	57.844	622.538	3.187	9.401	365	75.182	14.821	54	30.727	162.826	17.402	222.975	131	2.047	49.710	3.337	0	0													
	BCDE	552.840	52.258.411	8.557.983	27.473.117	991.963	2.684.211	111.151	1.649.876	962.412	20.868	42.721	23.132.513	2.420.866	14.090.569	200.164	15.155.936	108.493	314.949	90.373	8.769													
	F	250.500	12.152.043	21.204.975	13.259.931	813.150	2.221.528	2.370.292	2.546.673	10.678.511	20.308	1.883	1.454.960	4.189.463	2.393.439	230.101	3.160.518	1.570.243	580.235	97.002	5.059													
	GHI	895.690	34.259.715	16.401.727	75.127.970	1.098.442	965.270	265.222	4.340.843	22.699.620	131.803	65.455	26.897.201	2.033.403	31.745.058	462.754	2.316.011	289.481	2.916.815	510.976	56.238													
	J	11.343	1.288.378	166.396	1.309.917	1.348.129	119.673	15.362	338.768	308.989	4.180	130	348.797	63.722	701.191	3.575.799	321.491	24.615	501.022	51.952	923													
	K	3.667	3.273	19.981	162.855	6.231	657.756	1.682	30.563	6.057	4.361	59	18.720	3.294	265.799	7.959	70.533	12.750	5.237	32	0													
	L	4.082	129.297	202.987	893.518	48.214	199.357	284.686	113.277	334.751	6.047	32	89.259	105.113	1.750.532	45.981	185.828	177.523	36.966	4.655	2.258													
	MN	103.049	3.521.209	3.146.380	3.338.782	539.418	653.427	538.198	4.069.039	730.683	10.382	4.024	826.842	777.860	1.613.600	158.935	580.386	654.169	973.734	45.945	3.520													
	OPQ	5.122	60.627	110.118	6.976.709	9.959	25.720	968	49.493	1.161.050	1.192	0	35.781	16.319	132.835	4.918	259.462	4.067	48.663	189.357	12													
	RST	329	38.981	19.749	107.958	10.414	22.932	1.277	20.324	46.570	20.148	812	18.898	2.331	137.794	2.305	2.634	1.162	2.858	3.367	2.328													
İstanbul	A	3.031	17.131	989	53.544	23	0	333	14.754	0	0	173.503	523.280	36.182	414.434	1.703	1.836	60.357	35.756	4.318	1.592													
	BCDE	165.988	28.409.094	3.896.945	29.153.490	918.179	309.189	94.491	735.246	362.561	27.221	430.798	191.620.389	18.113.197	396.548.237	1.576.104	34.533.389	3.959.383	7.461.150	1.382.874	326.208													
	F	15.700	2.883.701	6.154.739	4.605.455	348.979	679.293	740.481	728.368	192.232	1.571	54.462	14.412.224	38.231.955	27.384.261	2.976.304	7.159.792	13.072.712	9.109.156	1.735.123	116.253													
	GHI	455.978	16.925.481	10.086.854	99.075.922	1.935.277	7.561.382	968.515	3.015.968	2.035.212	171.296	509.998	179.946.917	36.723.039	709.685.934	9.236.678	20.806.831	7.744.799	39.798.768	7.589.109	1.848.391													
	J	2.461	637.128	260.639	1.178.123	1.714.200	1.299.082	7.810	176.502	56.441	1.998	1.735	2.571.862	912.624	15.073.096	17.111.727	4.378.683	450.617	8.339.957	323.951	69.182													
	K	16.453	8.142.111	2.025.376	2.606.867	11.938	272.408	11.690	298.093	566.682	3.157	16.038	31.485.511	4.316.855	10.797.509	425.059	6.652.324	2.441.800	1.721.355	774.164	31.168													
	L	15.649	43.515	159.923	226.672	5.131	253.205	30.230	108.657	7.995	896	14.366	1.166.014	1.773.371	8.329.694	352.654	1.253.824	3.543.595	753.798	174.129	35.067													
	MN	53.592	1.707.257	830.803	2.695.753	684.405	1.246.432	168.244	2.117.171	357.651	19.392	115.696	19.164.329	7.878.664	37.054.324	5.567.891	8.024.958	9.136.168	55.237.324	1.502.959	292.348													
	OPQ	681	24.869	9.011	86.439	15.345	32.431	1.657	65.301	317.908	61	959	295.105	262.263	1.546.844	64.676	2.814.215	109.754	313.161	2.792.317	5.842													
	RST	109	13.509	4.939	30.994	6.182	944	273	3.963	4.949	1.287	905	742.848	109.277	1.436.136	222.432	120.197	21.164	216.121	60.177	95.879													
79 İl	A	121.812	341.654	42.061	687.645	88	11.576	111	52.272	2.336	92	135.091	1.755.904	53.606	2.855.815	2.726	19.971	8.491	214.862	6.980	312													
	BCDE	687.920	35.569.845	7.211.447	35.139.778	511.068	150.044	51.324	1.119.562	150.241	11.828	378.414	147.729.351	9.057.820	305.002.993	335.285	24.316.132	916.918	2.959.261	278.101	80.538													
	F	161.991	2.595.831	6.647.075	4.095.277	326.505	390.600	31.871	760.076	99.336	7.400	47.793	5.069.497	6.733.829	5.048.474	130.266	1.965.656	941.501	879.756	195.939	34.062													
	GHI	1.205.531	13.907.635	9.830.638	37.165.181	260.084	408.539	70.243	2.374.126	537.850	29.806	593.219	62.870.238	10.117.530	144.647.822	1.358.656	2.435.991	1.536.919	15.511.067	560.478	138.297													
	J	28.987	73.896	62.663	202.280	210.827	1.633	1.347	25.233	25.185	369	223	240.453	40.133	622.461	527.339	72.683	45.456	196.201	26.813	4.536													
	K	12.991	289.432	5.954	663.537	1.609	223.113	125	3.164	12.745	0	3.753	28.284	805	157.201	1.787	159.016	8.648	2.133	225	74													
	L	2.733	50.414	35.176	71.621	464	46.300	4.810	9.567	598	1.080	30	93.076	45.031	859.526	21.806	159.937	66.724	32.836	14.123	1.088													
	MN	63.205	1.543.719	745.453	1.447.624	69.364	242.547	9.631	735.655	107.894	5.119	26.706	2.279.373	794.712	3.583.902	190.318	334.643	1.118.866	2.776.323	76.872	6.689													
	OPQ	2.276	206.143	41.364	108.723	5.484	7.448	2.177	80.988	48.391	262	500	77.928	25.892	221.754	5.705	431.256	11.899	25.238	610.449	346													
	RST	412	48.475	26.165	54.443	1.905	921	137	10.872	1.358	1.510	494	295.923	27.233	974.526	5.342	4.951	6.971	16.706	13.269	14.838													
Toplam Aramal Arzı		5.342.996	217.546.368	97.966.354	348.622.665	11.896	1.662.696	364	5.784.704	25.669.665	41.831.031	503.688	2.650.526	715.354.303	144.883.792	725.298.735	44.803.505	137.701.133	48.094.958	150.984.742	19.116.026	3.181.816												
Ürün Üzerindeki Net Vergiler		199.838	8.206.199	3.685.000	12.933.179	445.967	764.929	217.904	961.628	1.611.747	18.683	97.230	26.284.267	5.281.852	62.739.988	1.656.877	5.111.127	1.760.410	5.465.449	698.224	114.493													
Net Ara Üretim Arzı		5.542.834	225.752.567	101.651.354	361.555.844	12.342.133	2.146.129	3.903.608	26.631.294	43.442.778	522.371	2.747.756	741.638.571	150.165.644	788.038.722	46.460.381	142.812.260	49.855.367	156.450.191	19.814.250	3.296.309													
L- İşgücü Ödemeleri		2.542.964	61.550.771	14.003.508	58.744.860	8.978.855	14.662.281	6.385.289	16.256.821	134.285.839	21.616.430	472.686	163.617.511	36.866.900	265.672.170	31.410.718	40.991.019	104.672.071	56.304.655	42.682.588	14.682.687													
B2.g İşletme artışı, gayrisafi / Karma gelir, gayrisafi		13.715.261	106.754.065	32.208.358	135.114.394	20.651.552	333.723	550.14	686.297	37.391	0.263	0.860	212.49	718.236	2.549.390	283.779.294	84.794.634	611.051.495	72.245.302	94.280.193	240.747.931	129.501.873	98.170.836	33.770.484										
B1.g Gayrisafi katma değer (temel fiyatlarla)		16.258.225	168.304.836	46.211.865	193.859.253	29.630.407	48.385.830	21.071.586	653.647	847.443	146.051	171.334	665.302	0.076	447.396	805.121	661.534	876.723	665.103	656.020	135.271	212.345	420.002	185.806	527.140	853.424	448.453	170						
P.1 Toplam üretim (temel fiyatlarla)		21.801.058	394.057	404.147	863.219	555.415	0.974	1.972	54.169	847.123	27.074	194.80	279.141	486.588	829.71	857.036	5.769	832	1.189	0.35	375.271	827.177	2.664	762.387	150.116	401.278	0.83	472.395	275.370	304.256	718.160	667.674	511.749	479
P.7 İthalat (cif)		10.244.688	151.809	511.350	784.531	313.181	1.029	407	5.083	180	0	2.682	938	30.885	44.943	84.794	597.140	5.288	192	3.752	698	44.774	777	11.265	576	20.756	479	0	25.418	675	87.698	579.617		
Toplam Arz (AS)		32.045.746	545.866	914.148	214.003	560.728	2.784	3.001	948.74	930.303	27.074	194.82	962.079	486.619	714.711	901.979	990.564	4.292	594.323	567.275	579.875	709.537	164.161	381.978	298.839	951.395	275.370	367.675	394.160	755.372	523.329	0.96		

Tablo 4. (Devamı)

2021 - MRIO-TR Sektörler	79 İli										Toplam Aramalı Talebi	Hanehallık Tüketimi	Kamu Harcamaları	Kamu Yatırımları	Özel Kesim Yatırımları	İhracat	Toplam Talep	
	A	BCDE	F	GHI	J	K	L	MN	OPQ	RST	Int Demand	C	G	Ig	İp	X	AD	
Ankara	A	278.324	1.052.132	48.913	835.066	5.740	87.817	14.290	31.135	3.071	1.776	4.503.281	19.691.367	0	1.583.587	3.115.714	3.151.797	32.045.746
	BCDE	430.674	94.831.441	7.728.671	25.916.372	2.006.690	15.434.291	242.129	818.371	315.326	121.050	298.673.199	72.214.437	49.862.947	8.706.319	22.504.919	93.905.093	545.866.914
	F	103.899	12.250.706	16.449.539	7.452.965	1.755.188	3.556.291	3.149.281	1.279.515	1.818.166	87.680	127.104.044	11.905.691	15.569	2.420.303	5.933.078	835.319	148.214.003
	GHI	594.733	72.293.323	12.803.261	63.547.407	2.714.262	2.734.949	493.392	3.559.289	4.192.924	620.531	387.033.766	77.525.712	16.106.916	17.096.682	45.114.785	17.850.416	560.728.278
	J	4.958	1.459.844	150.233	1.121.362	8.308.011	327.572	26.773	328.518	109.635	15.869	22.353.552	10.210.633	6.550.583	765.836	2.401.568	719.776	43.001.948
	K	1.719	53.592	13.826	272.782	23.736	2.061.051	5.669	12.331	1.646	28.448	35.939	11.452.102	0	1.250.242	54.321.308	4.121.043	74.930.303
	L	2.199	238.907	189.350	1.410.085	157.710	231.906	372.155	52.548	55.960	22.642	7.347.824	18.344.080	0	389.410	992.880	0	27.074.194
	MN	49.972	4.549.760	2.557.912	2.766.194	1.165.759	781.574	805.542	1.825.106	173.547	42.615	37.007.564	5.211.366	2.101.903	5.390.725	29.809.612	3.440.908	82.962.079
	OPQ	4.479	112.085	78.071	2.991.430	25.143	240.928	2.630	71.941	338.397	3.516	12.960.993	5.573.698	423.112.393	7.971.242	36.771.037	230.351	486.619.714
	RST	549	57.922	14.236	129.977	20.994	9.907	2.046	9.951	10.709	62.800	782.260	10.638.524	24.464.472	4.067.691	31.925.298	23.734	71.901.979
İstanbul	A	162.850	730.516	26.191	432.579	6.852	6.567	17.509	22.826	4.995	3.747	2.757.399	54.224.705	0	822.773	32.759.552	90.564.429	
	BCDE	793.719	279.465.393	16.097.040	277.252.940	4.283.337	30.972.076	1.288.091	3.614.912	1.139.753	1.529.275	1.336.460.668	207.212.865	7.712.908	13.041.226	12.850.665	1.017.045.235	2.594.323.567
	F	66.230	19.377.500	28.731.293	18.268.178	5.576.838	6.658.979	4.505.002	3.920.861	1.229.194	314.600	219.251.438	35.133.978	2.477	3.728.495	8.159.191	9.304.297	275.579.875
	GHI	1.374.115	260.716.541	34.137.543	617.909.053	20.589.729	22.456.029	3.610.806	19.583.053	6.486.831	7.051.119	2.150.037.167	235.375.184	2.636.179	27.096.794	89.831.384	204.560.456	2.709.537.164
	J	4.668	3.901.879	759.477	9.901.049	31.759.061	4.345.459	150.139	3.317.404	254.677	216.405	109.178.036	29.079.159	1.005.673	1.138.561	13.243.332	7.737.217	161.381.978
	K	109.871	71.593.972	4.818.268	8.849.084	748.714	6.071.188	938.604	952.866	756.454	117.319	167.572.898	32.153.353	0	1.832.426	53.608.920	43.672.354	298.839.951
	L	18.954	1.354.310	1.183.935	4.936.585	613.777	1.209.708	1.059.775	345.028	136.770	99.113	29.206.339	50.614.802	0	560.893	314.893.336	0	395.275.370
	MN	122.638	24.830.915	5.592.329	25.292.273	10.652.192	7.595.655	2.782.960	23.796.363	1.115.891	778.236	256.414.812	15.119.900	328.744	8.164.615	49.965.770	37.681.553	367.675.394
	OPQ	1.819	366.796	169.259	939.557	135.722	2.524.385	32.181	152.310	1.954.873	16.166	15.051.908	15.466.312	63.291.681	11.546.769	52.986.062	2.412.639	160.755.372
	RST	1.188	731.688	75.675	829.449	383.554	109.291	6.379	85.764	39.460	242.811	5.597.542	29.430.669	3.648.397	5.874.323	7.530.341	247.823	52.329.096
79 İli	A	1.730.661	7.378.611	134.758	5.268.866	11.767	89.089	9.008	80.016	11.920	76.605	21.104.704	217.944.412	0	17.747.054	17.494.845	31.480.955	305.771.971
	BCDE	3.213.866	275.584.048	14.924.126	180.419.210	486.186	548.671	490.416	1.932.880	709.244	549.322	1.050.515.840	808.531.629	34.702.580	32.134.443	549.405.800	948.815.958	3.424.106.252
	F	313.830	13.961.834	17.395.568	9.177.414	207.913	45.093	565.427	1.380.205	806.683	258.156	80.274.859	138.319.758	11.243	9.269.633	96.362.927	8.757.938	332.996.358
	GHI	5.761.277	182.738.856	33.436.387	268.561.927	1.141.312	2.297.866	893.740	8.746.594	2.982.785	2.614.447	814.735.039	923.201.855	11.922.687	67.115.986	172.103.528	191.831.133	2.180.910.229
	J	5.913	604.581	89.308	600.554	336.076	3.991	5.620	74.747	49.746	24.185	4.203.530	114.288.265	4.557.637	2.825.843	17.486.408	7.270.529	150.632.212
	K	32.270	125.275	20.200	1.300.984	4.033	2.861.563	697	17.431	8.656	23.701	5.969.403	126.498.284	0	4.552.572	13.692.126	41.079.616	191.792.002
	L	4.554	624.191	174.753	635.232	22.774	3.858	157.144	33.882	16.591	16.033	3.205.952	201.922.407	0	1.413.054	8.778.227	0	215.319.641
	MN	224.326	6.922.885	1.979.894	4.376.662	214.507	23.785	100.356	2.515.002	520.797	108.582	33.145.408	58.295.490	1.461.527	19.878.968	5.714.644	34.735.716	153.231.754
	OPQ	27.957	231.243	59.770	272.018	8.731	3.059	5.340	41.377	746.499	7.283	3.317.502	61.415.454	289.801.624	28.954.991	21.116.848	2.290.576	406.896.994
	RST	12.766	303.363	75.428	325.167	8.104	4.295	3.487	18.193	20.269	121.241	2.398.766	116.888.085	16.708.426	14.733.299	13.314.289	235.328	164.278.193
Toplam Aramalı		15.454.975	1.338.444.112	199.915.212	1.541.992.421	93.374.413	113.296.890	21.736.584	78.620.418	26.011.470	15.175.274	7.211.951.303	3.713.884.176	960.006.568	321.251.981	1.752.251.616	2.746.197.313	16.705.542.957
Ürün Üzerindeki Net Vergiler		569.214	49.401.140	7.358.819	55.978.052	3.460.354	4.195.739	803.012	2.859.998	963.484	548.415	264.393.217	354.673.165	2.165.774	14.623.119	90.385.806	12.738.281	738.979.362
Net Ara Üretim Arzı		16.024.189	1.387.845.253	207.274.031	1.597.970.473	96.834.767	117.492.629	22.539.596	81.480.415	26.974.954	15.723.689	7.476.344.520	4.068.557.342	962.172.341	335.875.099	1.842.637.422	2.758.935.594	17.444.522.319
L- İşgücü Ödemeleri		41.098.116	459.598.477	37.668.816	172.032.168	12.675.759	18.918.870	58.417.829	19.871.916	115.116.797	44.760.665	2.076.560.034						
B2.g İşletme artışı, gayrisafi / Karma gelir, gayrisafi		221.659.206	797.130.641	86.639.058	395.677.551	29.154.507	43.513.793	134.362.216	45.705.819	264.771.017	102.950.457	4.525.278.648			GSYH - Harcama	7.209.040.465		
B1.g Gayrisafi katma değer (temel fiyatlarla)		262.757.323	1.256.729.119	124.307.874	567.709.719	41.830.266	62.432.662	192.780.045	65.577.736	379.887.814	147.711.122	6.601.838.681			GSYH - Katma Değer	7.209.040.465		
P.1 Toplam üretim (temel fiyatlarla)		278.781.512	2.644.574.372	331.581.905	2.165.680.192	138.665.033	179.925.291	215.319.641	147.058.151	406.862.767	163.434.811	14.078.183.201			TÜİK GSYH	7.209.040.465		
P.7 İthalat (cif)		26.990.459	779.531.880	1.414.454	15.230.036	11.967.179	11.866.711	0	6.173.603	34.227	843.382	2.627.359.755						
Toplam Arz (AS)		305.771.971	3.424.106.252	332.996.358	2.180.910.229	150.632.212	191.792.002	215.319.641	153.231.754	406.896.994	164.278.193	16.705.542.957						

Not: Yazar tarafından hazırlanmıştır.

Leontief Ters Matrisi 2021			ANKARA										İSTANBUL										79 İL									
			A	BCDE	F	GHI	J	K	L	MN	OPQ	RST	A	BCDE	F	GHI	J	K	L	MN	OPQ	RST	A	BCDE	F	GHI	J	K	L	MN	OPQ	RST
ANKARA	A	A- Tarım, ormancılık ve balıkçılık	1,016	0,001	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	BCDE	BCDE - Sanayi	0,026	1,122	0,099	0,080	0,035	0,049	0,017	0,035	0,009	0,001	0,001	0,018	0,025	0,023	0,006	0,069	0,003	0,009	0,003	0,002	0,003	0,044	0,049	0,034	0,027	0,105	0,005	0,019	0,003	0,003
	F	F- İnşaat	0,012	0,035	1,183	0,039	0,027	0,040	0,107	0,043	0,028	0,000	0,000	0,003	0,026	0,006	0,004	0,018	0,006	0,006	0,002	0,001	0,001	0,009	0,070	0,011	0,021	0,030	0,019	0,016	0,006	0,002
	GHI	GHI - Hizmetler	0,042	0,096	0,179	1,185	0,043	0,031	0,032	0,080	0,060	0,002	0,002	0,022	0,030	0,036	0,010	0,028	0,005	0,022	0,007	0,003	0,005	0,041	0,078	0,062	0,039	0,041	0,008	0,046	0,015	0,008
	J	J - Bilgi ve iletişim	0,001	0,003	0,003	0,004	1,034	0,003	0,001	0,005	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,026	0,002	0,000	0,003	0,001	0,000	0,000	0,001	0,002	0,002	0,063	0,003	0,000	0,004	0,000	0,000
	K	K- Finans ve sigorta faaliyetleri	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,011	0,000	0,000	0,000	0,000
	L	L - Gayrimenkul faaliyetleri	0,000	0,001	0,002	0,002	0,001	0,003	1,011	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,001	0,000	0,000
	MN	MN - Mesleki, idari ve destek hizmet faaliyetleri	0,005	0,010	0,030	0,010	0,015	0,011	0,024	1,054	0,003	0,000	0,000	0,001	0,006	0,002	0,002	0,004	0,002	0,004	0,001	0,000	0,000	0,003	0,012	0,004	0,011	0,007	0,005	0,015	0,001	0,001
	OPQ	OPQ - Tarım yönetimi, eğitim, insan sağlığı ve sosyal hizmet faaliyetleri	0,001	0,001	0,003	0,015	0,001	0,001	0,001	0,002	1,003	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,002	0,003	0,001	0,002	0,000	0,001	0,001	0,000
RST	RST - Diğer hizmet faaliyetleri	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
İSTANBUL	A	A- Tarım, ormancılık ve balıkçılık	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	BCDE	BCDE - Sanayi	0,034	0,115	0,139	0,173	0,059	0,053	0,036	0,056	0,014	0,002	0,010	1,125	0,164	0,277	0,044	0,186	0,029	0,088	0,029	0,019	0,012	0,154	0,162	0,280	0,106	0,254	0,022	0,110	0,014	0,030
	F	F- İnşaat	0,005	0,016	0,075	0,025	0,018	0,019	0,041	0,020	0,004	0,000	0,001	0,012	1,176	0,025	0,029	0,038	0,042	0,042	0,015	0,004	0,001	0,015	0,121	0,026	0,060	0,054	0,028	0,046	0,005	0,005
	GHI	GHI - Hizmetler	0,066	0,132	0,275	0,391	0,114	0,187	0,097	0,127	0,033	0,005	0,015	0,149	0,302	1,473	0,124	0,176	0,054	0,242	0,083	0,058	0,021	0,191	0,305	0,542	0,287	0,262	0,046	0,296	0,037	0,079
	J	J - Bilgi ve iletişim	0,002	0,004	0,008	0,008	0,050	0,023	0,002	0,006	0,001	0,000	0,000	0,004	0,009	0,012	1,123	0,020	0,003	0,033	0,004	0,002	0,000	0,005	0,009	0,012	0,245	0,031	0,002	0,033	0,001	0,003
	K	K- Finans ve sigorta faaliyetleri	0,003	0,023	0,028	0,016	0,004	0,009	0,005	0,009	0,003	0,000	0,001	0,018	0,027	0,016	0,006	1,032	0,008	0,011	0,007	0,002	0,001	0,029	0,027	0,017	0,012	0,043	0,006	0,014	0,003	0,002
	L	L - Gayrimenkul faaliyetleri	0,001	0,001	0,004	0,003	0,001	0,005	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000	0,001	0,009	0,005	0,003	0,006	1,010	0,004	0,002	0,001	0,000	0,002	0,006	0,005	0,007	0,008	0,005	0,005	0,001	0,001
	MN	MN - Mesleki, idari ve destek hizmet faaliyetleri	0,006	0,013	0,026	0,022	0,028	0,028	0,014	0,040	0,003	0,001	0,002	0,016	0,052	0,033	0,051	0,043	0,032	1,189	0,014	0,008	0,002	0,018	0,040	0,033	0,106	0,062	0,018	0,199	0,005	0,008
	OPQ	OPQ - Tarım yönetimi, eğitim, insan sağlığı ve sosyal hizmet faaliyetleri	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,002	0,001	0,001	0,010	0,000	0,001	1,018	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,002	0,014	0,000	0,002	0,005	0,000
RST	RST - Diğer hizmet faaliyetleri	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,002	0,001	0,000	0,001	0,000	1,002	0,000	0,000	0,001	0,001	0,003	0,001	0,000	0,001	0,000	
79 İL	A	A- Tarım, ormancılık ve balıkçılık	0,004	0,001	0,002	0,003	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,002	0,001	0,001	0,003	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	1,006	0,003	0,002	0,004	0,001	0,001	0,000	0,002	0,000	0,001
	BCDE	BCDE - Sanayi	0,046	0,120	0,147	0,163	0,043	0,041	0,031	0,053	0,013	0,001	0,008	0,098	0,107	0,216	0,027	0,139	0,016	0,059	0,017	0,012	0,018	1,139	0,135	0,203	0,062	0,075	0,015	0,078	0,011	0,019
	F	F- İnşaat	0,007	0,010	0,063	0,015	0,012	0,010	0,009	0,015	0,002	0,000	0,001	0,004	0,034	0,007	0,003	0,011	0,004	0,006	0,002	0,001	0,002	0,008	1,065	0,010	0,007	0,006	0,005	0,015	0,003	0,002
	GHI	GHI - Hizmetler	0,058	0,064	0,149	0,138	0,029	0,033	0,027	0,063	0,012	0,001	0,010	0,051	0,091	0,118	0,027	0,045	0,015	0,084	0,014	0,009	0,025	0,093	0,174	1,205	0,050	0,057	0,014	0,112	0,014	0,027
	J	J - Bilgi ve iletişim	0,001	0,000	0,001	0,001	0,005	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,004	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	1,004	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
	K	K- Finans ve sigorta faaliyetleri	0,001	0,001	0,000	0,002	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	1,015	0,000	0,000	0,000	0,000
	L	L - Gayrimenkul faaliyetleri	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	1,001	0,000	0,000	0,000
	MN	MN - Mesleki, idari ve destek hizmet faaliyetleri	0,003	0,005	0,009	0,005	0,003	0,005	0,002	0,011	0,001	0,000	0,000	0,002	0,005	0,004	0,002	0,003	0,004	0,010	0,001	0,000	0,001	0,004	0,009	0,005	0,004	0,002	0,001	1,020	0,002	0,001
	OPQ	OPQ - Tarım yönetimi, eğitim, insan sağlığı ve sosyal hizmet faaliyetleri	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,002	0,000
RST	RST - Diğer hizmet faaliyetleri	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,001	0,001

Şekil 2. Türkiye merkez-çevre MRIO modeli, 2021 yılı Leontief ters matrisi

Tablo 5. 2006-2021 döneminde merkez ve çevre bölgelerde sektörel yapısal bağımlaşma değişimi

Matris	Bölge		Matris Katsayılarıdaki Toplam Değişim	Yapısal Bağımlaşmanın En Fazla Arttığı 3 Sektörel Bağlantı			
	Arz Eden	Talep Eden		1. Bağlantı	2. Bağlantı	3. Bağlantı	Düşüş Oranı En Yüksek Sektörel Bağlantı
1	Ankara	Ankara	0,6464	F --> L	F --> F	GHI --> F	GHI --> BCDE
7	79 İl	Ankara	0,5161	GHI --> F	GHI --> GHI	GHI --> MN	BCDE --> RST
9	79 İl	79 İl	0,4933	GHI --> GHI	GHI --> F	F --> F	BCDE --> BCDE
3	Ankara	79 İl	0,3674	BCDE --> K	J --> J	F --> K	GHI --> BCDE
4	İstanbul	Ankara	0,3466	GHI --> K	GHI --> L	GHI --> F	BCDE --> BCDE
8	79 İl	İstanbul	0,2804	GHI --> F	BCDE --> K	GHI --> MN	BCDE --> RST
6	İstanbul	79 İl	0,1433	BCDE --> K	MN --> MN	K --> K	BCDE --> BCDE
2	Ankara	İstanbul	0,1004	BCDE --> K	GHI --> F	F --> K	GHI --> BCDE
5	İstanbul	İstanbul	-0,2356	GHI --> F	F --> F	BCDE --> K	BCDE – BCDE

Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır.

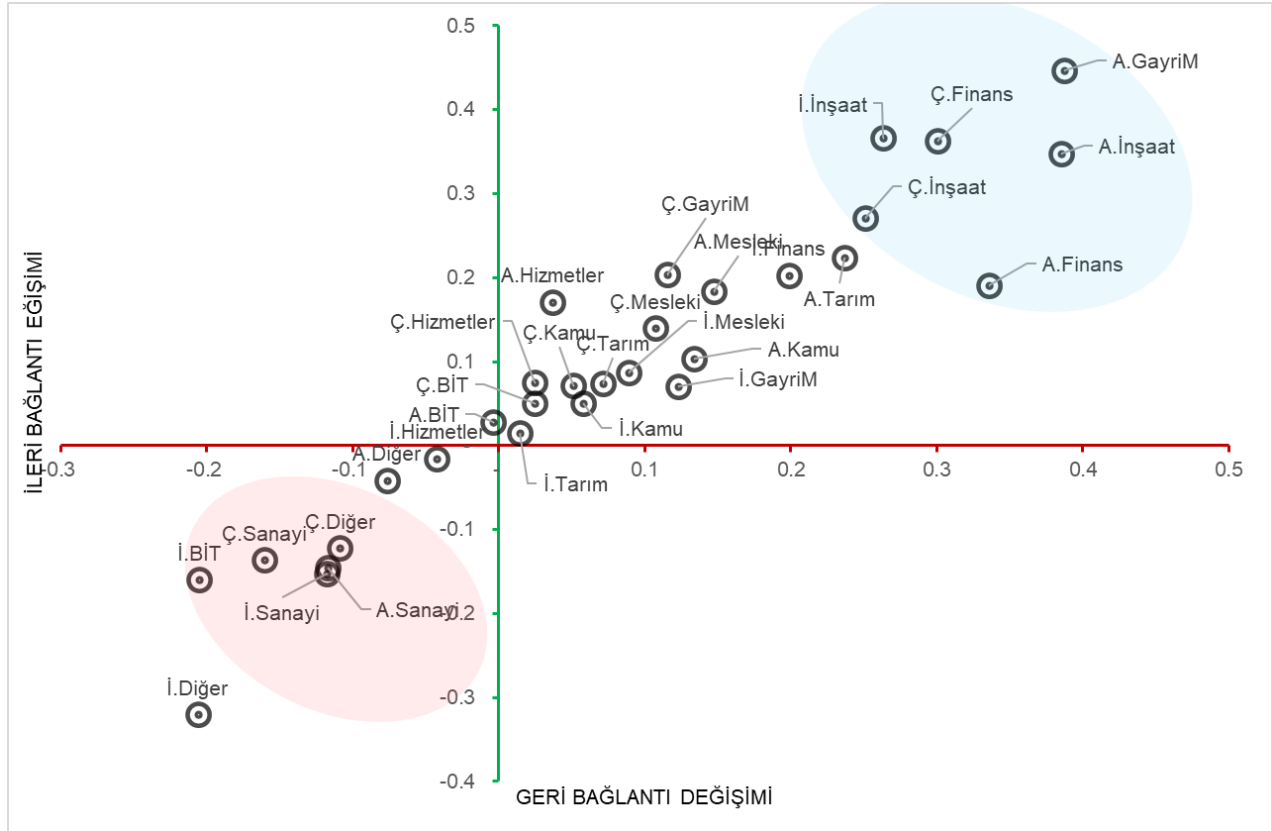
Tablo 6. 2006-2021 döneminde merkez ve çevre bölgelerin toplam bağınlaşmalarındaki değişim

Matris	Arz Eden Bölge	Talep Eden Bölge	Toplam Değişim
1	Ankara	Ankara	0,6464
2	Ankara	İstanbul	0,1004
3	Ankara	79 İl	0,3674
4	İstanbul	Ankara	0,3466
5	İstanbul	İstanbul	-0,2356
6	İstanbul	79 İl	0,1433
7	79 İl	Ankara	0,5161
8	79 İl	İstanbul	0,2804
9	79 İl	79 İl	0,4933

Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır.

İkinci sırada ise çevre iller ile Ankara arasındaki bağınlaşmadaki gelişimi gösteren yedinci matris yer almaktadır. Ankara ihtiyacı olan mal ve hizmetleri 79 ilden 2006 yılına göre daha fazla tedarik eder durumdadır. Bu durum çevre illerin ara malı üretiminde 2006 yılına göre daha rekabetçi olduğunu ifade etmektedir. Çevre iller yine çevre iller için hem önemli bir arz hem de talep merkezi olma yolunda ilerlemektedir. Bu durum, Türkiye’de ekonomik gelişmenin çevre iller lehine ülke coğrafyasına yayıldığına önemli bir kanıtı niteliğindedir. Çevre illerin kendi içinde ve Ankara ile ekonomik entegrasyonu artarken, İstanbul’un üretim merkezi olma hüviyetinden uzaklaştığı, kendi ihtiyacı olan mal ve hizmetleri artık kendi içinden daha az tedarik ettiği de tespit edilmiştir.

Şekil 4’te ise bölgesel ve sektörel yapısal değişim gösterilmektedir. Her üç bölgede de inşaat, gayri menkul ve finans sektörlerinin yapısal bağınlaşma ilişkileri 2021 yılında 2006 yılına göre güçlenirken, sanayi sektörü ile bilgi ve iletişim sektörünün yapısal bağınlaşma ilişkileri zayıflamıştır. Bu durum Türkiye ekonomisi için 2006-2021 dönemindeki yapısal dönüşümün sağlıklı olmadığını göstermekte, merkez ve çevre bölgelerde büyümeyi ve refah artışını kısıtlayan önemli bir faktör olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4. 2006-2021 döneminde merkez ve çevre bölgelerde sektörel yapısal bağınlaşma değişimi

5. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Yeni ekonomik coğrafya teorisine göre gelişmekte olan ülkelerdeki yerel merkezlerin gelişiminin başat nedeni iç talep odaklı üretimin neden olduğu yüksek geri-ileri bağlantılı sektörel yapıdır. Belli birkaç kentin talep merkezi olması, tüketicilerin ağırlıklı bu kentlerde yaşaması³, işletmelerin de bu merkezlerde ve bu merkezlere yakın konumlanması ve üretim değer zincirinin buralarda oluşmasına neden olmaktadır. Diğer kentlere göre daha iyi yaşam koşulları ve görece olarak yüksek ücret sunan talep merkezleri nitelikli işgücünü çekebilmektedir. Yüksek nüfus birikimi büyük ölçekli üretime ve sermayenin merkezileşmesine neden olmaktadır. Ancak, bu merkezleşme belirli düzeyde ve sermayenin marjinal getirisine göre değişiklik arz edebilmektedir. Doygunluk düzeyine kadar imalat sanayi sektöründe çekme etkisi sayesinde biriken bu sermaye, doyum düzeyinin ardından itme etkisi göstermekte ve bu yüksek talep merkezlerinin yakınındaki diğer bölgelere sanayi sektörlerini itmekte, bunun yerine bankacılık, finans, Ar-Ge, yenilikçilik ve ileri teknoloji hizmetleri gibi yüksek katma değerli sektörlerle geçiş süreci başlamaktadır. Yeni ekonomik coğrafya teorisi bu durumu merkezin çekme kuvveti ve merkezin itme kuvveti tanımları ile kavramsallaştırmaktadır. Merkezin çekme kuvveti, dışsal ekonomiler ile geri-ileri bağlantıları, tüketicilerin mekânda yoğunlaşması gibi piyasa etkilerinden oluşmaktadır. Merkezin itme kuvvetleri ise sıkışıklık, çevre kirliliği, arazi fiyatlarının yükselmesi ve özellikle üretim faktörlerinde daha düşük rekabetin yaşandığı bölgelerin çekici hale gelmesi gibi hususlardan oluşmaktadır (Krugman, 1998). Merkez-çevre ilişkileri bağlamında Türkiye ekonomisi için de itme ve çekme etkileri (centrifugal-centripetal effects) kendisini göstermektedir.

Bu çalışma kapsamında elde edilen yapısal bağımlaşma analizi bulgularına göre aşağıdaki sonuçlara ulaşmak mümkündür:

- i. Her üç bölge için geri bağlantı katsayısı artışının olduğu sektörler inşaat, gayrimenkul ve finans faaliyetleri sektörleridir. Ankara merkezli inşaat sektörü hem merkez hem de çevre iller için önemli bir uyarma etkisine sahiptir. Ancak, inşaat sektörünün büyümenin sürdürülebilirliği, kalitesi, merkez ve çevre bölgeler arasındaki refahın dağılımı ile bölüşüm ilişkilerine etkisi bakımından tartışılmalı bir durum arz etmektedir. Çevre illerdeki inşaat sektörü hem çevre illerin altyapı yatırımlarının gerçekleştirilmesi, merkez illerin üretim sektörlerini desteklemesi, hem de düşük nitelikli işgücüne istihdam alanı oluşturması bakımından önemini korumaktadır. Hem merkez hem de çevre illerde inşaat sektörünün önemini artırdığı görülmektedir. İnşaat sektörünün gelişimini etkileyen diğer faktörler ise kentleşmenin hızlanması, konut sahipliğinin artması, çevre illerden merkez illere olan göçler ile çevre illerin il merkezlerine olan bölge içi nüfus transferleridir. Merkez illerde ve çevre illerin merkezlerinde artan konut talebi inşaat sektörünün itici gücü olmuştur.
- ii. Diğer yandan, sanayi sektörünün yapısal bağımlaşma ilişkileri her üç bölgedede zayıflamıştır. Bu durum inşaat sektörü ile birlikte değerlendirildiğinde 2006-2021 döneminde Türkiye'nin merkez ve çevre bölgeler için istenen sanayileşme seviyesinde olmadığı, ülke kaynakların üretkenliği düşük inşaat sektörüne aktarılmaya devam edildiğini kanıtlamaktadır.
- iii. Ağırlıklı olarak toptan ve perakende ticareti içeren hizmetler sektöründe İstanbul'un geri bağlantı etki katsayısı 2006-2021 döneminde sabit kalmıştır. Buna karşın, çevre illerde bu göstergedeki artış oranı %32, Ankara'da ise %10 düzeyindedir. Toplam etki katsayıları incelendiğinde GHI hizmetler sektörünün hem merkez ve çevre bölgelerde hem de Türkiye ekonomisi için kilit sektör olduğu görülmektedir. Bu durum Türkiye'de ulusal ve yerel ekonomik büyüme için gerekli iç talebin yeterli olduğunu göstermektedir. Çevre illerdeki GHI (Hizmetler) sektörü nüfusun %74'ünü barındıran çevre illerin hanehalkı tüketim taleplerini karşılamakla birlikte merkez illerin üretim sektörleri üzerinde güçlü bir uyarma etkisine sahiptir. İstanbul GHI (Hizmetler) sektörü ülke nüfusunun %18,3'ünü barındıran ve Türkiye için en önemli talep merkezi olan İstanbul hane halkı tüketim talebini karşılamakta ve aynı zamanda diğer bölgelerin üretim sektörlerini desteklemektedir.
- iv. Çevre illerdeki finans ve sigorta hizmetleri sektörü bölgesel yatırım teşviklerinin de etkisiyle çevre illerde yeni yatırım ve istihdam alanlarının açılmasını desteklemektedir. Finans ve sigorta faaliyetleri sektörü ile yatırımlar arasında güçlü bir bağ vardır. Yatırımların finansmanı finans sektörü tarafından karşılanmakta, bu nedenle de yatırım talebi yüksek olan bölge ve sektörlerde bu sektörün uyarma etkisi yüksek düzeyde olmaktadır. Çevre illerde sanayileşme iştahını destekleyecek finansmana olan talebin giderek yükseldiği görülmektedir. Çevre illerde yatırımların önünü açacak uygun finansman modellerinin uygulanmasına yönelik politikalar geliştirilmelidir. Özellikle, son dönemde artan faiz oranları çevre illerin sanayi sektöründeki gelişimini engelleyen risklerin başında gelmektedir.
- v. Türkiye'de arz ve talep ilişkileri bakımından yapısal bağımlaşmanın en fazla güçlendiği bölge Ankara olmuştur. Ankara ekonomisi kendi sektörleri için gerekli mal ve hizmetleri daha fazla üretir ve kendi bölgesinden tedarik eder hale gelmiştir. Aynı zamanda, çevre iller ile Ankara arasındaki yapısal ve

³ Ekonomik merkez İstanbul (15,8 milyon) ile siyasi, idari Ankara'nın (5,8 milyon) toplam nüfusu Türkiye nüfusunun yaklaşık olarak %25'dir.

sektörel bağınlaşmalar da gelişmiştir. Ankara ihtiyacı olan mal ve hizmetleri 79 ilden 2006 yılına göre daha fazla tedarik eder durumdadır. Bu durum çevre illerin ara malı üretiminde 2006 yılına göre daha rekabetçi olduğunu ifade etmektedir. Çevre iller yine çevre iller için hem önemli bir arz hem de talep merkezi olma yolunda ilerlemektedir. Bu durum, Türkiye’de ekonomik gelişmenin çevre iller lehine ülke coğrafyasına yayıldığına önemli bir kanıtı niteliğindedir.

- vi. Çevre illerin kendi içinde ve Ankara ile ekonomik entegrasyonu artarken, İstanbul’un üretim merkezi olma hüviyetinden uzaklaştığı, kendi ihtiyacı olan mal ve hizmetleri artık kendi içinden daha az tedarik ettiği de tespit edilmiştir.
- vii. Her üç bölgede de inşaat, gayri menkul ve finans sektörlerinin yapısal bağınlaşma ilişkileri 2021 yılında 2006 yılına göre güçlenirken, sanayi sektörü ile bilgi ve iletişim sektörünün yapısal bağınlaşma ilişkileri zayıflamıştır. Bu durum Türkiye ekonomisi için 2006-2021 dönemindeki yapısal dönüşümün sağlıklı olmadığını göstermekte, büyümeyi ve refah artışını kısıtlayan önemli bir faktör olduğu düşünülmektedir.

Türkiye’de merkez-çevre bölgeler arasındaki yapısal bağınlaşma ilişkilerden kaynaklanan negatif dışsallıklar, yanlış sektör seçimleri Türkiye’nin ekonomik gelişmesini de olumsuz yönde etkilemektedir. Refahın bölgeler arasında adil bölüşümünde yaşanan problemlerin temelinde büyüme ve kalkınmanın faydalarının bölgeler arasında eşit olarak dağıtılmasını sağlayacak mekanizmaların eksikliği yatmaktadır.

Türkiye’de çok bölgeli girdi-çıkı tablolarına ve analizlerine olan ihtiyaç devam etmektedir. Çok bölgeli girdi-çıkı tablolarının oluşturulmasındaki kısıtların başında veri eksikliği, resmi girdi-çıkı tablolarının üretilmesi ve yayımlanmasındaki gecikmeler gelmektedir. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı sorumluluğunda işletilen Girişimci Bilgi Sistemi çok bölgeli girdi-çıkı tablolarının oluşturulmasında önemli bir veri altyapısı sunmaktadır. Girişimci Bilgi Sistemine dayalı dinamik bir MRIO modelinin Türkiye için oluşturulması ihtimal dahilindedir. Türkiye MRIO modelinin kurulması ile makro ekonomi, imalat sanayi, tarım, istihdam, bölgesel gelişme, enerji ve çevre politikalarının birbiriyle tutarlı bir şekilde geliştirilmesi mümkün olabilecektir.

Yazar Katkıları / Author Contributions

Kamil Taşçı: Literatür Taraması, Kavramsallaştırma, Metodoloji, Veri Derleme, Analiz, Makale Yazımı- orijinal taslak Mutlu Yılmaz: Kavramsallaştırma, Literatür Taraması, Makale Yazımı-inceleme ve düzenleme

Kamil Taşçı: Literature Review, Conceptualization, Methodology, Data Curation, Analysis, Writing-original draft Mutlu Yılmaz: Conceptualization, Literature Review, Writing-review and editing

Çatışma Beyanı / Conflict of Interest

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

Fon Desteği / Funding

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

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

Etik Standartlara Uygunluk / Compliance with Ethical Standards

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

Etik Beyanı / Ethical Statement

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

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



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

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


KAYNAKÇA

- Akita, T. ve Kataoka, M. (2002). "Interregional Interdependence and Regional Economic Growth: An Interregional Input-Output Analysis of the Kyushu Region," *Review of Urban and Regional Development Studies*, 14, 18-40.
- Akyüz, G. (2018). "Su Kullanımı Açısından Turizm Sektörünün Sürdürülebilirliği: Çevresel Girdi-Çıktı Modeli Çerçevesinde Bir Analiz", Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Antalya.
- Alp, E. (2016). "Türkiye İmalat Sanayinin Üretim Yapısının Girdi-Çıktı Analizi Yardımıyla İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Bursa.
- Altan, Ş. (1996). "Girdi-Çıktı Analizinde Girdi Katsayılarının Tahmininde Değişik Bir Yöntem ve Uygulaması", Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Aracı, L.D. (2019). "Birleştirilmiş Ekonometrik Girdi-Çıktı Modeli İle Türkiye Sektörel Enerji Tüketim Öngörüsü: 2018-2026", Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Avınca, E. (2019). "Türkiye'de Enerji Sektörü: Girdi-Çıktı Analizi", Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Aydın, S. (2001). "Türkiye İmalat Sanayinin Üretim Yapısı (1973-1990) Girdi-Çıktı Analizi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bayrak, R. (2010). "Markov Zinciri İle Girdi-Çıktı Analizi: Türkiye Üzerine Bir Uygulama", Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Beyers, W. B. (1980). "Migration and the Development of Multiregional Economic Systems", *Economic Geography*, 56, 320-334.
- Bhutto, N.A. (2007). "Building Environmental Input-Output Model for Turkey with Special Focus on Agri-Food Sectors", Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Chenery, Hollis B. (1953). "Regional Analysis", *The Structure and Growth of the Italian Economy*, (Editörler: Chenery, H.B., Clark, P.G. ve Pinna, V.C.) US Mutual Security Agency, Rome, 97-129.
- Cole, S. (1999). "In the Spirit of Miyazawa: Multipliers and the Metropolis," *Understanding and Interpreting Economic Structure*, (Editörler: Hewings, G.J.D., Sonis, M., Madden, M. ve Kimura, Y.), Springer, Berlin, 263-286.
- Çakır, M. (1996). "İmalat Sanayi Tarihsel Gelişimi, Kilit Sektör Belirlenmesi ve İmalat Sanayi Sektörlerinin İthalata Bağımlılığının Çözülmesi -Girdi-Çıktı Yaklaşımıyla", Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Çakır, M. (1999). "Türkiye'de İmalat Sanayinin Sektörel Bazda İncelenmesi -Girdi Çıktı Yaklaşımıyla", Doktora Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Aydın.
- Çalışkan, A. (2022). "Depremlerin Ekonomik Etkilerinin Belirlenmesinde Girdi-Çıktı Modelinin Kullanımı: Kocaeli İli Örneği", Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Çınar, O. (1993). "Türkiye'de Petrol ve Petrol Sektörünün Girdi-Çıktı Analizi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Dalkılıç, F. (1999). "Girdi-çıktı Analizi ve Hedef Programlama", Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Demir, N. (2019). "Adana Bölgesi İçin Girdi-Çıktı Analizi", Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Adana.
- Dilber, İ. (2004). "Tekstil Sanayinin Endüstrilerarası Bağıllık ve Ekonomik Etkilerinin Girdi-Çıktı Analizi Yardımıyla Değerlendirilmesi (1980 Sonrası)", Doktora Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Manisa.
- Ekşioğlu, Ş.Z. (2012). "Kültürel Sermaye ve Ekonomik Kalkınma Arasındaki İlişkinin Girdi Çıktı Analizi ve Fayda Maliyet Analizi Yöntemleri ile Türkiye İçin Değerlendirilmesi", Doktora Tezi, Kadir Has Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Erkök, B. (2016). "Türkiye'de 1980 Sonrası Dönemde Girdi Çıktı Analizi ile Otomotiv Sektörünün Konumu", Doktora Tezi, Atılım Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Ersungur, Ş.M. (1996). "Erzurum Alt Bölgesi Girdi-Çıktı Analizi", Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Erzurum.
- Ertürk, M. (2018). "Türk Turizm Sektörünün Ekonomik Etkilerinin Girdi-Çıktı Yöntemiyle Analizi", Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Isparta.
- Gordon, P. ve J. Ledent. (1981). "Towards an Interregional Demoeconomic Model," *Journal of Regional Science*, 21, 79-87.
- Guilhoto, J., Legoff, G., Strassner, E., Borga, M. ve Pegoue, A. (2023). "The MARIO Project - Multi-Analytical Regional Input-Output Model", International Monetary Fund, *29th Meeting of the London Group on Environmental Accounting*, 11-14 Eylül, Pretoria, South Africa.

- Guo, J., Zhang, Z. and Meng, L. (2012). "China's Provincial CO₂ Emissions Embodied in International and Interprovincial Trade", *Energy Policy*, 42, 486-497.
- Güngör, V. (2019). "An Examination of Turkey's Environmental Policies with Environmentally Extended Input-Output Analysis Approach", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Gürgök, Y. T. (1996). "An Experiment with Two Different Methods of Updating Input-Output Matrices with Turkish Empirical Data (1979-1985)", Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Hartwick, J.M. (1971). "Notes on the Isard and Chenery-Moses Interregional Input-Output Models," *Journal of Regional Science*, 11, 73-86.
- Hewings, G.J.D., Okuyama, Y. ve Sonis, M. (2001). "Economic Interdependence within the Chicago Metropolitan Area: A Miyazawa Analysis", *Journal of Regional Science*, 41, 195-217.
- Hirschman, A.O. (1958). "The Strategy of Economic Development", Yale University Press, New Haven.
- Isard, W. (1951). "Interregional and Regional Input-Output Analysis: A Model of a Space Economy," *Review of Economics and Statistics*, 33, 318-328.
- İlhan, B. (2008). "Türk İnşaat Sektörünün Girdi-Çıktı Analizi ve İthalata Bağımlılığı", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- İloğlu, H. (1993). "Kilit Sektör Belirlemesi ve Türk Ekonomisine Uygulaması -Girdi-Çıktı Çözümlemesiyle", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Jannadoust, A. (2023). "Türkiye-İran Dış Ticaretinin Girdi-Çıktı Modeliyle Araştırılması", Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Erzurum.
- Kahvecioğlu, N. (2023). "Türkiye On Birinci Kalkınma Planındaki Öncelikli İmalat Sanayi Sektörlerinin Girdi-Çıktı Analizleri Işığında Bir Stratejik Teşvik Modeli Önerisi", Doktora Tezi, İstanbul Medipol Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Kara, A.S. (1996). "The Sources of Gross Output Between 1985 and 1990: An Input-Output Analysis for Turkey", Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Kıvrak, M. (2019). "Dünyada Bölgelerarası Kilit Sektörlerdeki Değişimin Girdi- Çıktı Yöntemiyle Analizi", Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Koç, E. (2015). "Türkiye Turizm Sektörünün İkincil Ekonomik Etkilerinin Çarpan ve Girdi-Çıktı Analizi Yöntemi İle İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Krugman, P. (1998). "What's New About the New Economic Geography?", *Oxford Review of Economic Policy*, 14, 7-17.
- Kutlu, O. (2019). "Türkiye Otomotiv Sektörü İhracatı Üzerine Bir Değerlendirme: 2012 Yılı Girdi-Çıktı Tablolarından Hareketle Nominal Döviz Kurundaki Yükselişlerin Otomotiv Sektörü İhracat Fiyatına Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ankara.
- Küçükiremitçi, O. (2013). "Türkiye ve Avrupa Birliği Üyesi Ülkelerin Üretim Yapılarının Girdi-Çıktı Analizi ve Benzeşme Testleri Yöntemiyle Karşılaştırılması", Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Leontief, W. (1936). "Quantitative Input And Output Relations In the Economic System of the United States", *Review of Economics and Statistics*, 18(3), 105-128.
- Malizia, Emil ve Daniel L. Bond. (1974). "Empirical Tests of the RAS Method of Interindustry Coefficient Adjustment," *Journal of Regional Science*, 14, 355-365.
- Miller, R.E. ve Blair, P.D. (2009). "Input-Output Analysis: Foundations and Extensions" (Second Edition), Cambridge University Press, New York.
- Moses, L.N. (1955), "The Stability of Interregional Trading Pattern and Input-Output Analysis", *American Economic Review*, 45(5), 803-832.
- Mumcu, S. (2022). "An Input-Output Analysis of Water Consumption and Intersectoral Water Usage in Turkey", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Namlı, M. (2016). "Elâzığ Organize Sanayi Bölgesi Sektörler Arası Girdi-Çıktı Analizi", Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sivas.
- Ocakverdi, E. (2003). "Türkiye Ekonomisi'nin Dışarıya Bağımlılığının Girdi-Çıktı Yöntemi İle İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özcanlı, P. (2011). "Türkiye'de Ulaştırma Hizmetleri ve Ulaştırma Araçları Üretimi Sektörlerinin İki Gruplu Girdi-Çıktı Analizi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

- Özışık, İ. (2009). "Hizmetler sektöründe Çarpan Katsayılarının Girdi-Çıktı Analiz Yöntemiyle Belirlenmesi: Türkiye Üzerine Bir Uygulama", Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Zonguldak.
- Polenske, K.R. (1980), "The US Multiregional Input-Output Accounts and Model", Lexington Books, Lexington, MA.
- Polenske, K.R. (1997). "Current Uses of the RAS Technique: A Critical Review", *Prices Growth and Cycles: Essays in Honour of András Bródy*, (Editörler: Simonovits, A. ve Steenge, A.E.), Macmillan, London, 55-88.
- Rasmussen, P.N. (1956). "Studies in Inter-sectoral Relations", North-Holland, Amsterdam.
- Sarıoğlu, A.A. (2012). "Ekonomik Çarpan Katsayılarının Girdi-Çıktı Analizi ile Hesaplanması ve Türkiye Uygulaması", Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Schinnar, A.P. (1976). "A Multi-Dimensional Accounting Model for Demographic and Economic Planning Interactions," *Environment and Planning A*, 8, 455-475.
- Sel, A. (2015). "Sivas İli Temel Sektörlerinin Girdi-Çıktı Yöntemiyle Analizi", Yüksek Lisans Tezi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sivas.
- Sel, A. (2019). "Bulanık Girdi Çıktı Analizi İle Doğrusal ve Hedef Programlama: Türkiye Örneği", Doktora Tezi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sivas.
- Stone, R. (1961). "Input-Output and National Accounts", Organization for Economic Cooperation and Development, Paris.
- Şahin, G.Ç. (2008). "AB Ülkeleri İle Türkiye'nin Ekonomik Yapılarının Karşılaştırılması: Girdi-Çıktı Çözümlemesi", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Tokpunar, S. (2015). "Veri Zarflama Analizi İle Girdi Çıktı Tablosu Kullanılarak Sektörel Etkinliğinin Belirlenmesi: Türkiye Örneği", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Topcuoğlu, A. (2015). "Ardahan ve Iğdır İllerinin Karşılaştırmalı Yapısal Analizi: Statik Girdi - Çıktı Modeli İle Bir Uygulama", Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Erzurum.
- Topçu, E. (1992). "Girdi-Çıktı Tabloları İle Türkiye'de İnşaat Sektörünün Analizi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Toraman, A. (1973). "Doğu Marmara Bölgesi Girdi-Çıktı Analizi", Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Erzurum.
- Wallerstein, I. (2013). "Sosyal Bilimleri Düşünmemek: 19. Yüzyıl Paradigmalarının Sınırları", (Çev. Taylan Doğan), Bgst Yayınları, İstanbul.
- Wiedmann T., Wilting H.C., Lenzen M., Lutter S. ve Palm V. (2011). "Quo Vadis MRIO? Methodological, Data and Institutional Requirements for Multi-Region Input-Output Analysis", *Ecological Economics*, 70(11), 1937-1945.
- Yamano, N. (2012). "On OECD I-O Database and Its Extension to ICIO Analysis, Frontiers of International Input-Output Analysis", Asian International Input-Output Series No. 80, IDE-JETRO, Chiba, March 2012.
- Yenilmez, C. (2021). "Türkiye ve İzmir Bölgesinde (TR31) İhracatın İthalata Bağımlılığının Gelişimi: Girdi-Çıktı Modeli İle Bir Analiz", Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.

Hemşirelerin İş Gücü Verimliliğine İlişkin Tutumları ve Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi

Berra Yılmaz Kuşaklı¹ 

ÖZET

Amaç: Bu çalışmanın amacı, hemşirelerin iş gücü verimliliğine ilişkin tutumları ve etkileyen faktörlerin incelenmesidir.

Yöntem: Tanımlayıcı tipteki bu çalışmaya 321 hemşire dahil edilmiştir. Araştırma verileri "Katılımcı Tanıtım Formu" ile Özkoç (2005) tarafından geliştirilen "Hastanelerde İşgücü Verimliliğine Etki Eden Faktörler ve Çalışanların İşgücü Verimliliği Konusundaki Tutumları" anket formu ile toplanmıştır.

Bulgular: Araştırmaya katılan hemşirelerin %44,86'sının 20-25 yaş grubunda, %87,8'sinin kadın, %53,28'nin bekar, %85,5'inin lisans mezunu olduğu saptanmıştır. Hemşirelerin %45,79'unun 1 yıl ve altında çalışma yılına sahip olduğu ve %43,5'inin dahili birimlerde ve %65,4'ünün vardiyalı çalıştığı, %51'nin iş gücü verimliliği ile ilgili kendisini "iyi" seviyede değerlendirdiği bulunmuştur. İş gücü verimliliğini etkileyen en önemli faktörler; "diğer, kişisel, organizasyonel ve ergonomik" faktörler olduğu bulunmuştur. Hemşirelerde iş gücü verimliliğini etkileyen faktörler incelendiğinde; cinsiyet, eğitim düzeyi, çocuk sahibi olma durumu ve çalışma yılı ile çalışılan birim durumu arasında anlamlı bir farklılık bulunmuştur (p<0.05). Ayrıca hemşirelerin iş gücü verimliliğini en fazla motivasyon düzeyi (%25,9), çalışma ortamı (%25), iş yükü (%17) ve ücret (%15,2) konularının etkilediği bulunmuştur.

Özgünlük: Hemşirelerin iş gücü verimliliğini etkileyen kişisel ve mesleki özelliklerine ilişkin birçok faktörün olduğu saptanmıştır. Bu çalışmanın, hemşirelerin iş gücü verimliliğini artırmak amacıyla hemşire yöneticilerin düzenlemeler yapması ve stratejiler belirlemesi için bir kaynak olabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelime: Hemşire, İş Gücü Verimliliği, Sağlık, Verimlilik.

JEL Kodları: I10, J4, J8, J24.

Nurses' Attitudes to Labor Productivity and Investigation of Influencing Factors

ABSTRACT

Purpose: The aim of this study is to investigate the attitudes of nurses towards labor productivity and the factors affecting them.

Methodology: This descriptive study included 321 nurses. The research data were collected with "Participant Introduction Form" and "Factors Affecting Labor Productivity in Hospitals and Attitudes of Employees on Labor Productivity" Questionnaire Form developed by Özkoç (2005).

Findings: It was found that 44.86% of the nurses who participated in the study were in the age group of 20-25 years, 87.8% were female, 53.28% were single, and 85.5% were undergraduate graduates. It was found that 45.79% of the nurses had a working year of 1 year or less and an average working year of 4.65±3.50, 43.5% worked in internal units and 65.4% worked in shifts, and 51% evaluated themselves at the "good" level regarding labor productivity. The most important factors affecting labor productivity were found to be "other, personal, organizational and ergonomic" factors. When the factors affecting labor productivity in nurses were examined, a significant difference was found between gender, education level, having children, years of employment and the unit of employment (p<0.05). In addition, it was found that motivation level (25.9%), working environment (25%), workload (17%) and wage (15.2%) affected the labor productivity of nurses the most.

Originality: It has been found that there are many factors related to personal and professional characteristics of nurses that affect their labor productivity. This study is thought to be a resource for nurse managers to make arrangements and determine strategies to increase the labor productivity of nurses.

Keywords: Nurse, Labour Productivity, Health, Productivity.

JEL Codes: I10, J4, J8, J24

¹ İstanbul Esenyurt Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Hemşirelik Bölümü, İstanbul, Türkiye

Sorumlu Yazar-Corresponding Author: Berra Yılmaz Kuşaklı, berrayilmazkusakli@esenyurt.edu.tr

DOI: 10.51551/verimlilik.1434115

Araştırma Makalesi / Research Article | Geliş / Submitted: 08.02.2024 | Kabul / Accepted: 10.06.2024

Atıf/Cite: Yılmaz Kuşaklı, B. (2024). "Hemşirelerin İş Gücü Verimliliğine İlişkin Tutumları ve Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi", *Verimlilik Dergisi*, 58(3), 399-412.

EXTENDED ABSTRACT

When evaluated at the international level, nurses, who have an important place in the provision of safe, quality and efficient health services, play an important role in terms of being the health professional group closest to the patient as well as their numerical majority (Göktepe & Baykal, 2012; Nantsupawat et al., 2022). It is known that the nursing profession, which is indispensable for health services, is faced with low satisfaction levels, high turnover rates, high workloads, intense stress, and often the difficulty of intense working conditions, especially today (Moloney, 2020). This situation prevents effective nursing care and negatively affects health outcomes (Moloney, 2020; Blštáková & Palenčárová, 2021). In the face of this working environment, nurses feel emotionally and physically exhausted (Moloney, 2020). Especially nowadays, a serious shortage of nurses is predicted, which will increase the demand for nurses and intensify staff burnout and turnover intentions (Brunetto et al., 2016; Moloney et al., 2018). Therefore, it becomes important to ensure workforce efficiency by making nurses resistant to negativities (Aburn, 2016; Moloney, 2020). The concept of productivity, which measures how well an organization uses its available resources, stands out as a concept that most organizations emphasize, attach importance to and address with different dimensions (Durmaz Talay & Harmancı Seren, 2022; Yıldırım, 2023). Studies have found that nurses' attitudes towards productivity are generally positive and some variables affect the level of attitude (Xue and Tuttle 2017; Özgörü, 2019:222). When the factors affecting nurses' attitudes towards productivity were examined, it was found that the working environment was especially related to productivity attitude. Doğan and Tatlı (2010) found that situations such as lack of communication, work stress, inadequate wages, inadequate training, and not utilizing the technology needed cause a decrease in the labor productivity of nurses. When all these studies are evaluated, it is revealed that it is necessary to examine the processes related to productivity to provide quality care service of nurses and maintain this service. In this direction, organizations should primarily determine the workforce productivity of nurses and the factors affecting it due to the responsibility they assume and their active role in maintaining the organizational structure (Göktepe & Baykal, 2012). With this study, it is thought to be important in terms of drawing the attention of nurses and nursing services managers to the issue, developing an awareness of the concept of labor productivity and preparing the ground for planning professional initiatives to increase productivity in nursing services. In this context, it is thought that the data to be obtained on the factors affecting the workforce productivity of nurses, which are limited in this context, will provide significant contributions to the managers and nurse managers in health institutions in terms of personal, organizational, ergonomic and other factors in terms of workforce productivity of working nurses. In addition, this study is expected to shed light on other studies on productivity.

This study is a descriptive cross-sectional study conducted to examine nurses' attitudes toward labor productivity and the factors affecting it. This descriptive study included 321 nurses. The research data were collected with the "Participant Introduction Form" and "Factors Affecting Labor Productivity in Hospitals and Attitudes of Employees on Labor Productivity" Questionnaire Form developed by Özkoç (2005). It was found that 44.86% of the nurses who participated in the study were in the age group of 20-25 years, 87.8% were female, 53.28% were single, and 85.5% were undergraduate graduates. It was found that 45.79% of the nurses had a working year of 1 year or less and an average working year of 4.65 ± 3.50 , 43.5% worked in internal units and 65.4% worked in shifts, and 51% evaluated themselves at the "good" level regarding labor productivity. The most important factors affecting labor productivity were found to be "other, personal, organizational and ergonomic" factors. When the factors affecting labor productivity in nurses were examined, a significant difference was found between gender, education level, having children, years of employment, and the unit of employment ($p < 0.05$). In addition, it was found that motivation level (25.9%), working environment (25%), workload (17%), and wage (15.2%) affected the labor productivity of nurses the most.

It was found that there are many factors related to the personal and professional characteristics of nurses that affect their labor productivity. It was determined that the most important factors affecting the labor productivity of nurses were motivation, working environment, high workload and wage. In this direction, when the propositions that nurses find most important to increase labor productivity are evaluated, it is recommended that various strategies be developed to increase the motivation levels of nurses, to develop programs to create or improve healthy working environments, to determine the workload of nurses by performing workload analysis and to plan the appropriate number of nurses, and to improve the wages to meet the needs of the employees by considering the possibilities. It is recommended that nurse managers should support nurses in terms of work-life balance and work towards job enrichment. It is also recommended that managers should pay attention to abusive supervision behaviors and develop intervention strategies to prevent such behaviors. It has been determined that there are not enough studies on this subject in the field of nursing, and this field should be enriched with future studies in the light of these findings.

1. GİRİŞ

Uluslararası düzeyde değerlendirildiğinde sağlık hizmetlerinin güvenli, kaliteli ve verimli hizmet sunulmasında önemli bir yere sahip olan hemşireler, sayısal çoğunluğunun yanı sıra hastaya en yakın olan sağlık meslek grubu olmaları yönünden önemli bir rol üstlenmektedir (Göktepe ve Baykal, 2012; Nantsupawat ve diğerleri, 2022). Sağlık hizmetleri için vazgeçilmez konumda olan hemşirelik mesleğinin özellikle günümüzde, düşük memnuniyet düzeyi, yüksek işten ayrılma oranları, iş yüklerinin fazla olması, yoğun stres, sıklıkla yoğun çalışma koşullarının zorluğu ile karşı karşıya kaldığı bilinmektedir (Moloney, 2020). Bu durum etkili hemşirelik bakımını engellemekte ve sağlık sonuçlarını olumsuz etkilemektedir (Moloney, 2020; Blštáková ve Palenčárová, 2021). Bu çalışma ortamı karşısında hemşireler, duygusal ve fiziksel olarak tükenmiş hissetmektedirler (Moloney, 2020). Özellikle günümüzde hemşirelere olan talebi artıracak ve personelin tükenmişliğini ve ayrılma niyetini yoğunlaştıracak ciddi bir hemşire açığı öngörülmektedir (Brunetto ve diğerleri, 2016; Moloney ve diğerleri, 2018). Bu sorunların Covid-19 pandemi süreci ile daha da arttığı görülmektedir (Labrague ve Santos, 2020a; Labrague ve Santos, 2020b). Bu nedenle hemşirelerin olumsuzluklara karşı dirençli hale getirilerek iş gücü verimliliğini sağlamak önemli hale gelmektedir (Aburn, 2016; Moloney, 2020).

Bir kurumun mevcut kaynaklarını ne kadar iyi kullandığını ölçen verimlilik kavramı, çoğu örgütün üzerinde durduğu, önem verdiği ve farklı boyutlarıyla ele aldığı bir kavram olarak öne çıkmaktadır (Durmaz Talay ve Harmancı Seren, 2022; Yıldırım, 2023). En basit anlamıyla verimlilik, girdiler ve çıktılar arasındaki ilişkiyi tanımlar ve çıktının girdilerle karşılaştırılmasıyla ölçülür (Yıldırım, 2023). Sahney ve Warden (1989) verimliliğin çıktının girdiye oranı olarak tanımlanmasının kısıtlı bir tanım olduğunu savunmakta ve verimliliği kurumsal hedeflere ulaşma sürecinde kalite, zamanlama ve maliyet-etkililik olarak tanımlamaktadır (Kavuncubaşı ve Yıldırım, 2022:554). Bu anlamda verimlilik sadece sistemin fiziksel çıktılarına bağlı değildir. Başka bir deyişle, üretilen çıktı miktarı değişmese bile, çıktının kalitesinin artırılması üretkenliği de artıracaktır (Yıldırım, 2023). Tüm sistemlerde olduğu gibi sağlık sisteminin de başarısının artırılmasında verimlilik ön koşullardan birini oluşturmaktadır. Sağlık hizmetlerinin talebini hizmet alan kişilerin belirleyemediği, profesyonel bir emekle üretildiği, stoklamanın yapılamadığı ve taleplerin artıyor olması gibi özellikleri de göz önünde bulundurulduğunda rekabet ortamında verimlilik kavramının önemi de her geçen gün artmaktadır (Kılıçarslan ve Güçlü, 2019; Durmaz Talay ve Harmancı Seren, 2022).

Başarılı kurumlar, altyapıyı yenileme ve yeni teknolojilere yatırım yapma yoluyla kaliteyi artırmak için daha fazla kaynak ayırmaktadır. Buna karşılık, başarısı düşük kurumlar, kalite geliştirme çabalarına yönelik harcamaları kısarak operasyonel verimliliği artırmaya çalışmaktadır. Operasyonel verimliliği artırmak amacıyla maliyetleri düşürmek için kurumlar personel seviyelerini (özellikle hemşirelik personeli) azaltma, yeni teknolojilere yatırım harcamalarını kısma ve hizmet standartlarını düşürme yoluna gitmektedir (Malliaris ve diğerleri, 2021; Yıldırım, 2023). Bu noktada örgütlerin etkili verimlilik yaklaşımları geliştiremediği, oldukça klasik bir yaklaşımla az insanla çok iş üretmeye odaklandığı görülmektedir (Kılıçarslan ve Güçlü, 2019; Durmaz Talay ve Harmancı Seren, 2022). Personel seviyelerinin düşürülmesi ciddi bir şekilde iş gücü verimliliğinin düşmesine neden olmakta ve kalite sorunları yaratmaktadır. Örneğin, hemşire sayısının azaltılması hemşire başına düşen hasta sayısının artmasına, bu durumda enfeksiyon oranlarının, istenmeyen tıbbi hataların ve ölüm oranlarının sıklığının artmasına yol açmaktadır (Bayer ve Çevik, 2019; Malliaris ve diğerleri, 2021; Yıldırım, 2023). Oysaki verimliliğin artırılabilmesi için; sağlık sektöründe de tıpkı diğer sektörlerde olduğu gibi, etkili insan kaynakları politikalarının benimsenmesi ve uygulanması gerekmektedir (Sunter, 2019; Durmaz Talay ve Harmancı Seren, 2022).

Yapılan çalışmalarda hemşirelerin verimlilik ile ilgili tutumları genel olarak pozitif olduğu ve bazı değişkenlerin tutum düzeyini etkilediği bulunmuştur (Xue ve Tuttle 2017; Özgörü, 2019: 222). Hemşirelerin verimliliğe yönelik tutumlarını etkileyen faktörler incelendiğinde, özellikle çalışma ortamının verimlilik tutumu ile ilişkili olduğu bulunmuştur. Doğan ve Tatlı (2010) ise iletişim eksikliği, iş stresi, yetersiz ücret, yetersiz eğitim, ihtiyaç duyulan teknolojiden yararlanılmaması gibi durumların hemşirelerin işgücü verimliliğinin azalmasına neden olduğunu bulmuştur. Tüm bu çalışmalar değerlendirildiğinde hemşirelerin kaliteli bakım hizmetini sağlamak ve bu hizmetin sürdürülebilmesi için verimliliğe ilişkin süreçlerin incelenmesi gerekliliği ortaya konulmaktadır. Bu doğrultuda örgütler öncelikli olarak gerek üstlendiği sorumluluk ve gerekse örgütsel yapının sürdürülmesinde aldığı aktif rol nedeniyle hemşirelerin iş gücü verimliliğini ve etkileyen faktörleri belirlemelidir (Göktepe ve Baykal, 2012). Bu çalışma ile hemşirelerin ve hemşirelik hizmetleri yöneticilerinin konuya dikkatinin çekilmesi, iş gücü verimlilik kavramına yönelik bir farkındalık geliştirilmesi ve hemşirelik hizmetlerinde verimliliği artırmaya yönelik profesyonel girişimlerin planlanmasına zemin hazırlanması açısından önemli olduğu düşünülmüştür. Bu bağlamda sınırlı olan hemşirelerin iş gücü verimliliğini etkileyen faktörlere ilişkin elde edilecek verilerin çalışan hemşirelerin iş gücü verimliliği açısından sağlık kurumlarındaki yöneticilere ve yönetici hemşirelere kişisel, organizasyonel, ergonomik ve diğer faktörler açısından ele alınarak son derece önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca bu çalışmanın verimlilik üzerinde yapılacak diğer çalışmalara ışık tutması beklenmektedir. Yukarıda verilen

kuramsal bilgiler çerçevesinde bu çalışma ile hemşirelerin iş gücü verimliliğine ilişkin ulusal alan yazınına katkı sunulması hedeflenmektedir.

2. YÖNTEM

Bu çalışma, hemşirelerin iş gücü verimliliğine ilişkin tutumları ve etkileyen faktörleri incelemek amacıyla yürütülmüş tanımlayıcı tasarımda kesitsel bir araştırmadır. Çalışma kapsamında aşağıdaki araştırma sorularına yanıt aranmaktadır:

- Hemşirelerin iş gücü verimliliklerine ilişkin tutumları nasıldır?
- Hemşirelerin iş gücü verimliliğe ilişkin tutumlarını hangi demografik ve mesleki faktörler etkilemektedir?

Araştırmanın evrenini, İstanbul ilinde Avrupa yakası batı bölgesinde yer alan iki yıldır hizmet vermekte olan ikinci basamak bir kamu hastanesinde çalışan 350 hemşire oluşturmaktadır. Örneklem seçimine gidilmemiş, tüm evrene ulaşılması hedeflenmiş ve tamsayım yöntemi kullanılarak tüm hemşireler çalışma kapsamına alınmıştır. Tam sayım örnekleme yöntemi, evrenin sınırlı olduğu, evrene ulaşmada kısıtların olmadığı durumlarda ve evrenin araştırmaya konu aktivitelerinin derinlemesine elde edilmesine olanak tanıyan, spesifik bir teknik olarak nitelenmektedir (Lin, 1976). Hastanede uyum sürecini tamamlamış (6 ay ve üzeri) olan ve araştırmaya katılmaya gönüllü olan 321 hemşire ile çalışma gerçekleştirilmiştir. (Yanıtlama oranı=%91,71'dir).

Araştırma verilerinin toplanmasında "Katılımcı Tanıtım Formu" ile "Hastanelerde İşgücü Verimliliğine Etki Eden Faktörler ve Çalışanların İşgücü Verimliliği Konusundaki Tutumlarını" içeren bir anket kullanılmıştır.

Katılımcı Tanıtım Formu: Araştırmacı tarafından literatür doğrultusunda geliştirilen form; araştırmaya katılan hemşirelerin yaş, cinsiyeti, eğitim düzeyi, çalışma pozisyonu, meslekte ve kurumda çalışma süresi, çalıştığı birim vb. sosyodemografik ve mesleki özelliklerle beraber "İş gücü verimliliğinizi etkileyen en önemli faktörler nelerdir?" şeklinde açık uçlu soruları içeren toplam 18 sorudan oluşmaktadır.

Hastanelerde İşgücü Verimliliğine Etki Eden Faktörler ve Çalışanların İşgücü Verimliliği Konusundaki Tutumları: Özkoç (2005) tarafından geliştirilen anket, hastane çalışanları üzerinde uygulanmıştır. Anket, 5'li Likert tipi bir öz-değerlendirme ölçüm aracıdır. Ankette iş gücü verimliliğini etkileyen faktörler; kişisel (17 madde), organizasyonel (30 madde), ergonomik (11 madde) ve diğer faktörler (6 madde) olmak üzere dört boyutta ele alınmaktadır. 64 maddelik ankette, her bir madde için; "Katılmıyorum", "Kesinlikle Katılmıyorum", "Kararsızım", "Katılıyorum" ve "Kesinlikle Katılıyorum" seçeneklerinden birisinin işaretlenmesi istenmektedir. Buna göre iş gücü verimliliğine etki eden madde puanlarının 5'e yaklaşması anketteki ifadelerle katılım düzeyinin yükseldiğini, işgücü verimliliğine etkisinin fazla olduğunu 1'e yaklaşması katılım düzeyinin düştüğünü yani iş gücü verimliliğine etkisinin az olduğunu göstermektedir. Genel puan hesaplamasında her önermenin eşit ağırlığı olduğu kabul edilerek önermede verilen puanların toplamı değişken sayısı olan 64'e bölünerek genel puan elde edilmektedir. Orijinal ölçüm aracının toplam Cronbach's Alpha güvenilirlik kat sayısı 0,89 olarak saptanmıştır (Özkoç, 2005:146). Bu çalışmadaki örneklem grubu için toplam Cronbach's Alpha güvenilirlik kat sayısı ise 0,95 olarak bulunmuştur.

Araştırmanın Etik Boyutu: Anketin kullanılması ile ilgili geliştiren yazardan e-posta ile izin alınmıştır. Araştırmanın etik kurul izni İstanbul Mehmet Akif Ersoy Göğüs Kalp ve Damar Cerrahi Eğitim ve Araştırma Hastanesi'nin (Karar Tarih:17.12.2019, karar no:86). Araştırmaya başlamadan önce kurum izni alınmıştır. Araştırmaya davet edilen hemşirelere araştırma ile ilgili bilgi verilmiş, en az 6 aydır hemşire olarak çalışan ve gönüllü olduğuna dair yazılı onam verenler çalışmaya dahil edilmiştir. Veri toplama formlarında hemşirelerin kimlik bilgileri yazılmamıştır.

Verilerin Toplanması ve Değerlendirilmesi: Araştırma 15.10.2020 ile 15.12.2020 tarihleri arasında çalışmaya katılmaya gönüllü olan hemşirelere anketler ulaştırılmış ve anketleri doldurduktan sonra araştırmacı tarafından doldurulan anketler toplanmıştır. Veriler, SPSS.20 programı kullanılarak analiz edilmiştir. Verilerin değerlendirilmesinde tanımlayıcı istatistikler (sayı, yüzde, ortalama, standart sapma vb.), parametrik (bağımsız gruplarda t-testi ve tek yönlü varyans analizi) ve parametrik olmayan (Kruskall Wallis Testi) istatistik analizleri kullanılmıştır.

3.BULGULAR

Tablo 1'de hemşirelerin iş gücü verimliliği ve alt boyutları, madde sayısı ile Cronbach's Alpha güvenilirlik katsayısı verilmiştir. Hemşirelerin iş gücü verimliliği ve alt boyutları incelediğinde, kişisel faktörler, organizasyonel faktörler, ergonomik faktörler ve diğer faktörün ortalamasının altında olduğu bulunmuştur. En fazla iş gücü verimliliğini etkileyen faktörün ise en yüksek puan ortalamasına sahip olan diğer faktörler ($2,25 \pm 0,59$) olduğu saptanmıştır. Hemşirelerin iş gücü verimliliği, alt boyutları ve Cronbach Alpha güvenilirlik katsayıları iş gücü verimliliğinin $\alpha=0,950$, kişisel faktörler $\alpha=0,801$, organizasyonel faktörler $\alpha=0,938$, ergonomik faktörler $\alpha=0,891$ ve diğer faktörler $\alpha=0,828$ olarak saptanmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. Hemşirelerin iş gücü verimliliği ve alt boyutları

<i>İş Gücü Verimliliği ve Alt Boyutları</i>	<i>Ort.±ss</i>	<i>Min.</i>	<i>Max.</i>	<i>Cronbach Alpha</i>	<i>Madde Sayısı</i>
Kişisel Faktörler	2,21±0,42	1,00	3,53	0,801	17
Organizasyonel Faktörler	2,11±0,48	1,03	3,63	0,938	30
Ergonomik Faktörler	2,04±0,58	1,00	3,82	0,891	11
Diğer Faktörler	2,25±0,59	1,00	4,67	0,828	6
İş Gücü Verimliliği	2,21±0,43	1,02	3,58	0,950	64

Araştırmaya katılan hemşirelerin bazı demografik özelliklerine göre iş gücü verimliliğini etkileyen faktörlerin puan ortalamalarının karşılaştırılması Tablo 2’de verilmiştir. Araştırmaya katılan hemşirelerin demografik özellikleri incelendiğinde; hemşirelerin %87,8’sinin kadın, %40,2’sinin 25 yaş ve altında, yaş ortalamasının 30,05±7,15 olduğu, %53,28’nin bekar, %35,51’inin çocuk sahibi olduğu; %85,5’inin lisans mezunu olduğu bulunmuştur (Tablo 2).

Tablo 2. Hemşirelerin iş gücü verimliliği ölçek ve alt boyut puanlarının demografik özelliklere göre karşılaştırılması

<i>Değişken</i>	<i>Grup</i>	<i>N</i>	<i>%</i>	<i>İş gücü verimliliği</i>	<i>Kişisel Faktörler</i>	<i>Organizasyonel Faktörler</i>	<i>Ergonomik Faktörler</i>	<i>Diğer Faktörler</i>
				<i>Ort.±ss</i>	<i>Ort.±ss</i>	<i>Ort.±ss</i>	<i>Ort.±ss</i>	<i>Ort.±ss</i>
Yaş	≤25 yaş	129	40,2	2,22±0,44	2,47±0,39	2,12±0,48	2,09±0,65	2,24±0,57
	26-30yaş	81	25,2	2,28±0,45	2,54±0,55	2,18±0,50	2,12±0,55	2,34±0,60
	≥31 yaş	111	34,6	2,155±0,38	2,49±0,45	2,04±0,44	1,93±0,48	2,20±0,61
İstatistik				F=2,151 p=0,118	F=0,656 p=0,52	F=2,094 p=0,125	F=3,318 p=0,037*	F=1,352 p=0,26
Cinsiyet	Kadın	282	87,8	2,19±0,41	2,48±0,45	2,09±0,47	2,00±0,54	2,24±0,60
	Erkek	39	12,2	2,36±0,48	32,59±0,46	2,25±0,53	2,30±0,74	2,32±0,50
	İstatistik				t=-2,30 p=0,022*	t=-1,498 p=0,135	t=-2,019 p=0,044*	t=-3,044 p=0,003*	t=-0,765 p=0,445
Medeni Durum	Evli	153	47,7	2,23±0,41	2,61±0,44	2,08±0,45	2,01±0,57	2,29±0,68
	Bekar	168	52,3	2,20±0,45	2,39±0,44	2,14±0,50	2,07±0,58	2,22±0,50
	İstatistik				t= 0,575 p=0,566	t=-4,444 p<0,001*	t=-1,117 p=0,265	t=-0,84 p=0,402	t=1,016 p=0,310
Çocuk Sahibi Olma Durumu	Evet	114	35,5	2,13±0,32	2,48±0,46	2,01±0,36	1,87±0,43	2,23±0,60
	Hayır	207	64,5	2,26±0,47	2,50±0,45	2,16±0,52	2,13±0,62	2,26±0,59
	İstatistik				t=-2,535 p=0,011*	t=-0,315 p=0,753	t=-2,836 p=0,005*	t=-4,073 p<0,001*	t=-0,347 p=0,729
Eğitim Durumu	SML	6	1,9	197,75	239,00	194,75	119,75	182,75
	Ön Lisans	21	6,5	200,64	210,29	201,93	165,50	158,86
	Lisans	264	82,2	163,06	158,70	164,10	163,83	166,44
	Lisans üstü	30	9,3	107,75	131,15	98,30	141,20	110,30
İstatistik				X _{KW} =14,789 p=0,002*	X _{KW} =13,451 p=0,004*	X _{KW} =18,889 p<0,001*	X _{KW} =2,856 p=0,414	X _{KW} =10,324 p=0,016*

*p<0,05; ort.: ortalama, ss: standart sapma, t: bağımsız gruplarda t-testi, F: Tek yönlü varyans analizi (ANOVA), X_{KW}: Kruskal Wallis Test MR: Mean Rank:Sıra ortalaması

Hemşirelerde işgücü verimliliğini etkileyen faktörler; yaş ve medeni durumuna göre farklılık göstermezken (p>0.05), cinsiyet, çocuk sahibi olma durumu, eğitim düzeyine göre anlamlı olarak farklılık göstermektedir (p<0.05). Kişisel faktörler ile medeni durum ve eğitim durumuna göre anlamlı olarak farklılık göstermektedir (p<0.05). Organizasyonel faktörler ile medeni durum, cinsiyet, çocuk sahibi olma durumu, eğitim düzeyine göre anlamlı olarak farklılık göstermektedir (p<0.05). Ergonomik faktörlerin yaş, cinsiyet, çocuk sahibi olma durumu arasında anlamlı bir farklılık bulunmuştur (p<0.05). Diğer faktörler ile eğitim durumu arasında anlamlı bir farklılık bulunmuştur (p<0.05).

Araştırmaya katılan hemşirelerin mesleki özelliklerine göre iş gücü verimliliğini etkileyen faktörlerin puan ortalamalarının karşılaştırılması Tablo 3’de verilmiştir. Hemşirelerin %55,76’sinin 1 yıl ve altında çalışma yılına sahip ve çalışma yılı ortalamasının 4,65±3,50 olduğu, kurumda çalışma yıl ortalamasının 1,12±0,52 olduğu ve %43,30’nun dahili birimlerde ve %65,42’sinin vardiyalı çalışma şeklinde görev yaptığı

bulunmuştur. Hemşirelerin %47,66'sının iş gücü verimliliği ile ilgili kendisini "iyi" seviyede değerlendirdiği belirtilmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Hemşirelerin iş gücü verimliliği ölçek ve alt boyut puanlarının mesleki özellikleri ve iş gücü verimliliği algısının karşılaştırılması

Değişken	Grup	N	%	İş gücü	Kişisel	Organizasyonel	Ergonomik	Diğer
				verimliliği	Faktörler	Faktörler	Faktörler	Faktörler
				Ort.±ss	Ort.±ss	Ort.±ss	Ort.±ss	Ort.±ss
Çalışma Yılı	≤1 yıl	179	55,76	2,32±0,31	2,55±0,44	2,24±0,47	2,17±0,57	2,39±0,61
	2-5 yıl	73	22,74	2,12±0,47	2,45±0,53	2,02±0,55	1,93±0,66	2,03±0,59
	≥6	69	21,5	2,02±0,24	2,40±0,40	1,86±0,24	1,82±0,38	2,14±0,44
	İstatistik			F=15,469	F=2,966	F=19,24	F=11,461	F=11,810
				p<0,001*	p=0,053	p<0,001*	p<0,001*	p<0,001*
Çalışılan Birim	İdari	41	12,77	2,19±0,39	2,59±0,46	2,08±0,54	1,91±0,41	2,11±0,48
	Dahili birimler	139	43,3	2,17±0,41	2,45±0,44	2,09±0,45	1,93±0,56	2,25±0,55
	Acil servis	48	14,95	2,13±0,38	2,42±0,44	1,98±0,38	2,05±0,49	2,23±0,57
	Cerrahi birimler	93	28,97	3,32±0,46	2,54±0,47	2,22±0,52	2,25±0,64	2,33±0,69
	İstatistik			F=3,177	F=1,794	F=1,118	F=6,941	F=1,322
			p=0,024*	p=-0,148	p=0,237	p<0,001*	p=0,267	
Çalışma Şekli	Sürekli	111	34,58	2,25±0,41	2,60±0,41	2,15±0,51	2,02±0,56	2,17±0,49
	Gündüz							
	Vardiyalı	210	65,42	2,19±0,43	2,44±0,46	2,08±0,46	2,05±0,58	2,30±0,64
	İstatistik			t=1,115	t=-3,067	t=-1,186	t=-0,533	t=-1,889
				p=0,27	p=0,002*	p=0,237	p=0,595	p=0,06
Değişken	Grup	N	%	MR	MR	MR	MR	MR
İş Gücü Verimliliği Algısı Durumu	Çok zayıf	3	0,93	131	72,5	168,5	198,5	93,50
	Zayıf	15	4,67	143,30	108,20	170,00	174,20	84,20
	Orta	84	26,17	150,77	142,25	157,14	157,57	159,45
	İyi	153	47,66	166,24	171,62	163,94	157,88	175,09
	Çok iyi	66	20,56	167,27	176,27	156,70	167,89	150,84
	İstatistik			X _{KW} =2,67	X _{KW} =14,828	X _{KW} =0,602	X _{KW} =1,1449	X _{KW} =16,396
				p=0,615	p=0,005*	p=0,963	p=0,836	p=0,003*

*p<0,05; ort.: ortalama, ss: standart sapma, t: bağımsız gruplarda t-testi, F: Tek yönlü varyans analizi (ANOVA); X_{KW}: Kruskal Wallis Test

Hemşirelerde işgücü verimliliğini etkileyen faktörler incelendiğinde; çalışma şekli ve kendi iş gücü verimliliğini algılama durumları arasında anlamlı bir farklılık bulunmamakla birlikte, çalışma yılı ve çalışılan birim durumuna göre anlamlı bir farklılık bulunmuştur (p<0.05). Kişisel faktörler ile çalışma şekli ve iş gücü verimliliği algısı arasında anlamlı bir farklılık bulunmuştur (p<0.05). Organizasyonel ve Ergonomik faktörler ile çalışma yılı, çalışılan birim arasında anlamlı bir farklılık bulunmuştur (p<0.05). Diğer faktörler ile çalışma yılı ve iş gücü verimliliği algısı arasında anlamlı bir farklılık bulunmuştur (p<0.05).

Araştırmaya katılan hemşirelerin iş gücü verimliliğini etkileyen faktörlerden alınan en yüksek üç puan ortalamaları incelendiğinde; Kişisel faktör ifadelerden 3. madde "Gözlemlerime/deneyimlerime göre evlilik iş gücü verimliliğini olumsuz etkiliyor" (3,26±1,11), 5. madde "Bu işyerinde uzun zamandır çalışan kişiler iş değiştirmeyi düşünmüyor" (3,12±1,12) ve 11. madde "İşimden memnun olmazsam sık sık istifa etmeyi ve işe gelmeme yollarını düşünürüm" (3,08±1,34) ifadeleri ile ilgili tutumlarının daha yüksek bir katılma düzeyinde olduğu görülmüştür (Tablo 4).

Tablo 4. Hemşirelerin iş gücü verimliliğini etkileyen kişisel faktörlerin dağılımı

No	1-Kişisel Faktörler	Ort.±ss
1	Çalıştığım birimde çalışma arkadaşlarıma göre daha verimli olduğumu düşünüyorum	2,20±0,94
2	Çalıştığım birimde iş yükü fazlalığı nedeni ile çoğu zaman işlerimi yetiştirmekte zorlanıyorum	2,69±1,15
3	Gözlemlerime/deneyimlerime göre evlilik iş gücü verimliliğini olumsuz etkiliyor	3,26±1,11
4	Mesleki deneyimsizlik, iş yoğunluğu ve hata yapma oranını artırıyor	1,90±0,82
5	Bu işyerinde uzun zamandır çalışan kişiler iş değiştirmeyi düşünmüyor	3,12±1,12
6	Sahip olduğum yeteneklerin altında bir pozisyonda çalışmak verimliliğimi düşürür	1,96±0,90
7	Yöneticilerimin davranışları benim davranışlarıma model oluşturur	2,19±0,96
8	Kişisel değerlerim ile kurumumun değerleri çatışırsa kendi değerlerimi tercih ederim	2,66±0,91
9	Hasta, hasta yakını ya da iş arkadaşım hakkında duygu ve düşüncelerim verimliliğimi etkiler	2,62±1,02
10	İş tatminim olmazsa hasta ve hasta yakınlarına verdiğim hizmetin kalitesi düşer	2,51±1,15
11	İşimden memnun olmazsam sık sık istifa etmeyi ve işe gelmeme yollarını düşünürüm	3,08±1,34
12	Kendimi organizasyonun bir parçası olarak görmemek verimliliğimi olumsuz etkiler	2,08±0,84
13	Gözlemlerime/deneyimlerime göre kişiliğine uygun olmayan pozisyonlara getirilenler gereken performansı gösterememektedir	1,72±0,73
14	Çalıştığım hastanenin değerleri kişisel değerlerimle uyuşmadığı zaman iş verimim düşer	2,49±1,02
15	Hastalarımın durumu kötüleştiği zaman/acil yapılması gereken işler ortaya çıktığı zaman duygularımı kontrol edemezsem verimliliğim düşer	2,79±1,18
16	Davranışlarıma ve verimliliğime etki eden, gerçeklerden çok onları nasıl algıladığımdır	2,79±0,96
17	Motivasyonum kırıldığı zaman canım hiç çalışmak istemez	2,33±0,92

Araştırmaya katılan hemşirelerin iş gücü verimliliğini etkileyen organizasyonel faktörlerden alınan en yüksek üç puan ortalamaları incelendiğinde; 25. madde "Sürekli aynı tarz işlere/hastalara bakmak verimliliğimi olumsuz etkiler" (3,33±0,99), 21. madde "Amirlerimin işlerimi yakından kontrol etmesi her an yakınımda olması verimliliğimi olumsuz etkiler" (3,10±1,11) ve 28. madde "Yaptığım işin bütünün küçük bir parçası olması beni işime yabancılaştırır" (2,95±0,97) ifadeleri ile ilgili tutumlarının daha yüksek bir katılma düzeyinde olduğu görülmüştür (Tablo 5).

Araştırmaya katılan hemşirelerin iş gücü verimliliğini etkileyen Ergonomik faktörlerden alınan en yüksek üç puan ortalamaları incelendiğinde; 58. madde "Gece çalışmalarında gündüz çalışmalarına oranla verimliliğim daha düşük olmaktadır" (2,78±1,15), 50. madde "Çalışma alanım dar olması verimliliğimi olumsuz etkiliyor" (2,35±1,05) ve 57. madde "Gece vardiyasında sabah 04'den sonra verimliliğim daha düşük olur" (2,29±1,09) ifadeleri ile ilgili tutumlarının daha yüksek bir katılma düzeyinde olduğu görülmüştür (Tablo 6).

Araştırmaya katılan hemşirelerin iş gücü verimliliğini etkileyen diğer faktörlerden alınan en yüksek üç puan ortalamaları incelendiğinde; 60. madde "Ülkemizdeki işsizlik oranının %10'larda olması iş güvencesi verimliliğimi arttırmaktadır" (2,55±0,95), 62. madde "Yeni İş Kanunu'nun getirdiği esnek çalışma saatleri ve telafi edici çalışma uygulaması verimliliğimi azaltır" (2,34±0,92) ve 59. madde "Ülkenin ekonomik durumunun kötü olması iş verimliliğimi olumsuz etkilemektedir" (2,29±0,99) ifadeleri ile ilgili tutumlarının daha yüksek bir katılma düzeyinde olduğu görülmüştür (Tablo 7).

Tablo 5. Hemşirelerin iş gücü verimliliğini etkileyen organizasyonel faktörlerin dağılımı

No	2-Organizasyonel Faktörler	Ort.±ss
18	Birimimin uzmanlaştığı konu dışındaki işlere/hastalara bakarken zorlandığım için bu durumlarda verimliliğim düşük olur	2,47±0,92
19	Diğer departmanların işlerini doğru yapmaması işimi aksatıp verimliliğimi düşürür	2,02±0,79
20	Hastanemiz en üst yöneticisine kadar tüm yöneticilere rahatlıkla sorunumu iletemiyor olmak benim iş verimliliğimi olumsuz etkiler	2,07±0,90
21	Amirlerimin işlerimi yakından kontrol etmesi her an yakınımda olması verimliliğimi olumsuz etkiler	3,10±1,11
22	Hastanemizde tüm kararların en üst yönetim tarafından alınması verimliliğimi azaltır	2,47±0,98
23	Hastane genelinde yapılan işlerin standart olmaması verimliliğimi düşürür	2,24±0,86
24	Bağlı olduğum üstlerimin kararlarındaki çelişki verimliliğimi olumsuz etkiler	1,95±0,81
25	Sürekli aynı tarz işlere/hastalara bakmak verimliliğimi olumsuz etkiler	3,33±0,99
26	Belirli aralıklarla rotasyon yapılması verimliliğimi olumsuz etkiler	2,63±1,13
27	Mevcut yetki ve sorumluluklarımın artırılmaması verimliliğimi olumsuz etkiler	2,93±0,99
28	Yaptığım işin bütünün küçük bir parçası olması beni işime yabancılaştırır	2,95±0,97
29	Çalıştığım kurumun dışarıdaki imajının değersiz olması verimliliğimi olumsuz etkiler	2,58±1,04
30	Çalıştığım kurumun kültürüne yabancı olmak verimliliğimi olumsuz yönde etkiler	2,61±0,97
31	Yeni işe alınan elemanların işe uygun olmaması iş yükümü artırıp verimimi azaltır	2,21±0,97
32	Bölümümdeki personel sayısının yetersizliği iş yükümü artırır ve verimliliğimi azaltır	1,72±0,82
33	İşe ve iş yerine alışmak için bir programa tabi tutulmadan işe başlamadan stres yaratır ve verimliliğimi olumsuz etkiler	2,07±0,92
34	Ücretin düşük olması verimliliğimi olumsuz etkiler	1,61±0,87
35	Eşit işe eşit ücret verilmemesi verimliliğimi olumsuz etkiler	1,55±0,76
36	Uzun çalışma saatleri ve düzensiz çalışma moral ve verimliliğimi olumsuz etkiler	1,64±0,83
37	Terfi sisteminin liyakat yerine kişisel ilişkilere dayanması verimliliğimi düşürür	1,59±0,81
38	Performansımın haksız olarak düşük değerlendirilmesi motivasyonumu/verimliliğimi azaltır	1,54±0,76
39	Toplam Kalite yönetimi ve sürekli iyileştirme çerçevesinde veri toplanması fakat düzeltici önlemlerin alınmaması verimliliğimi olumsuz etkiler	1,69±0,70
40	Yöneticilerin görüş ve önerilerimi dikkate almaması verimliliğimi olumsuz etkiler	2,00±0,00
41	Kuruluş içindeki iletişim araçlarının yetersizliği verimliliğimi olumsuz etkiler	1,89±0,80
42	Çalışma arkadaşlarım ile ilişkilerimin iyi ve uyumlu olması verimliliğimi artırır	1,60±0,73
43	Prosedür ve talimatların sık değişmesi uyum sağlamamı zorlaştırır ve stres yaratır	1,82±0,88
44	Hastanede güvenli çalışma koşulları konusunda eğitilmek verimliliğimi artırır	1,82±0,66
45	İş kazalarının önlenmesi için alınan önlemler verimliliğimi artırır	1,69±0,62
46	Kullandığım cihazların sık sık bozulması verimliliğimi olumsuz yönde etkiler	1,74±0,73
47	Kullandığım bilgisayarın sık sık bozulması verimliliğimi olumsuz etkiler	1,74±0,77

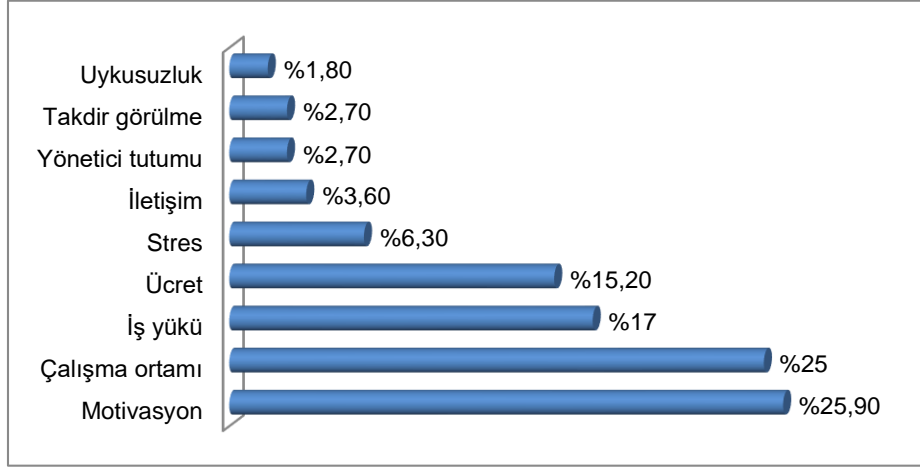
Tablo 6. Hemşirelerin iş gücü verimliliğini etkileyen ergonomik faktörlerin dağılımı

No	3- Ergonomik Faktörler	Ort±ss
48	Çalıştığım yerdeki masa ve sandalyenin beden ölçülerime uygun olmaması sağlık sorunu yaratmaktadır	1,98±0,96
49	Hastaya pozisyon verirken/bir yük kaldırırken bedenim zorlandığı için sağlık sorunları yaşıyorum	2,09±0,87
50	Çalışma alanım dar olması verimliliğimi olumsuz etkiliyor	2,35±1,05
51	İşlerimi bitirdiğimde dinlenecek yerimin olmaması verimliliğimi olumsuz etkiler	2,11±1,04
52	Dinlenmek için çalışma ortamından uzaklaşmak verimliliğimi artırır	2,03±0,88
53	Çalışma alanımın temiz olmaması ve dağınıklığı verimliliğimi olumsuz etkiler	1,61±0,65
54	Çalışma ortamındaki gürültü sağlığımı ve verimliliğimi olumsuz etkiler	1,70±0,74
55	Çalıştığım yerdeki aydınlatmanın uygun olmaması gözlerimi yorar, uyku hali ve dikkatsizliğe sebep olur	1,77±0,84
56	Gece vardiyasının üst üste iki günden fazla olması verimliliğimi olumsuz etkiler	1,75±0,74
57	Gece vardiyasında sabah 04'den sonra verimliliğim daha düşük olur	2,29±1,09
58	Gece çalışmalarında gündüz çalışmalarıma oranla verimliliğim daha düşük olmaktadır	2,78±1,15

Tablo 7. Hemşirelerin iş gücü verimliliğini etkileyen diğer faktörlerin dağılımı

No	4-Diğer Faktörler	Ort.±ss
59	Ülkenin ekonomik durumunun kötü olması iş verimliliğimi olumsuz etkilemektedir	2,29±0,99
60	Ülkemizdeki işsizlik oranının %10'larda olması iş güvencesi verimliliğimi arttırmaktadır	2,55±0,95
61	Kanunlar getirilen iş güvencesi verimliliğimi olumlu yönde etkilemektedir.	2,19±0,86
62	Yeni İş Kanunu'nun getirdiği esnek çalışma saatleri ve telafi edici çalışma uygulaması verimliliğimi azaltır.	2,34±0,92
63	İş sözleşmemin belirli süreli olması stres yaratır ve verimliliğimi olumsuz etkiler	2,10±0,84
64	Hastane yönetiminin çalışanlarla ilgili kararlarında çalışanları temsilen bazı kişilerin görüşlerini alması verimliliğimi olumlu etkiler	2,05±0,90

Araştırmaya katılan hemşirelerin "İş gücü verimliliğinizi etkileyen en önemli faktörler nelerdir?" sorusuna verdiği cevaplar Şekil 1'de sunulmuştur.

**Şekil 1. Hemşirelerin iş gücü verimliliğini etkileyen etkenler**

Bu faktörler incelendiğinde en yüksekten başlanarak sırasıyla motivasyon düzeyi (%25,9), çalışma ortamı (%25), iş yükü (%17), ücret (%15,2), işten kaynaklanan stres (6,3), iletişim eksikliği (%3,6), yönetici tutumu (%2,7), takdir görme (%2,7), uykusuzluk (%1,80) iş gücünün verimliliğini etkileyen faktörler olarak tespit edilmiştir.

4. TARTIŞMA

Bu araştırmada öncelikle çalışmaya katılan hemşirelerin kişisel ve mesleki özellikleri değerlendirilmiştir. Benzer çalışmalarda olduğu gibi katılımcıların çoğunlukla kadın, genç yaşta olduğu, lisans mezunu hemşirelerin örneklem grubunu oluşturduğu görülmektedir (Göktepe ve Baykal, 2012; Yeo ve diğerleri, 2014; Durmaz Talay ve Harmancı Seren, 2022). Araştırmaya katılan hemşirelerin kişisel özelliklerine göre, 26-30 yaş arasındaki hemşirelerin iş gücü verimliliğinde ergonomik faktörlerden daha fazla etkilendiği, erkeklerin iş gücü verimliliği, organizasyonel faktörler ve ergonomik faktörlerden daha fazla etkilendiği, medeni durumu evli olan hemşirelerin kişisel faktörlerden daha fazla etkilendiği, çocuk sahibi olmayan hemşirelerin iş gücü verimliliği, organizasyonel faktörler ve ergonomik faktörlerden daha fazla etkilendiği, eğitim durumu sağlık meslek lisesi ve ön lisans mezunu hemşirelerin iş gücü verimliliği, kişisel, organizasyonel faktörler ve diğer faktörlerden daha fazla etkilendiği görülmektedir. Ayrıca kişisel faktörlerden alınan en yüksek puan olan "Gözlemlerime/deneyimlerime göre evlilik iş gücü verimliliğini olumsuz etkiliyor." ifadesi ile medeni durumu evli olan hemşirelerin kişisel faktörlerden daha fazla etkilendiği bulgusu ile benzerlik göstermektedir. Bu durum evli hemşirelerin iş-yaşam dengesinde kişisel faktörlerde zorlanıldığı ve iş gücü verimliliğinin azaldığını düşündürmektedir. Literatürdeki bir çalışma eğitim düzeylerine göre verimlilik tutumları açısından araştırma bulgularımızı desteklemektedir (Göktepe ve Baykal, 2012). Bayer ve Gölbaşı'nın (2021) çalışmasında hemşirelerin eğitim düzeyine göre verimlilik tutumlarının değişmediği, Durmaz Talay ve Harmancı Seren'in (2022) çalışmalarında ise lise mezunlarının verimlilik tutumlarının daha olumlu olduğunu belirtmiştir.

Araştırmaya katılan hemşirelerin mesleki özelliklerine göre, bir yıl ve daha az bir süredir çalışma hayatı olan hemşirelerin iş gücü verimliliği organizasyonel faktörler, ergonomik faktörler ve diğer faktörlerden daha fazla etkilendiği, çalışılan birim açısından cerrahi birimde çalışan hemşirelerin işgücü verimliliği ve ergonomik

faktörlerden daha fazla etkilendiği belirlenmiştir. Dikmen ve diğerlerinin (2016) bildirdiği organizasyonel ve ergonomik faktörler ile mesleki çalışma süresi ilişkisini desteklemektedir. Araştırma bulgularından farklı olarak Göktepe ve Baykal'ın (2012) çalışması ile Durmaz Talay ve Harmancı Seren'in (2022) çalışmalarında özellikle birimlerde ve çalışma yılı kısa olan hemşirelerin daha olumlu verimlilik tutumuna sahip oldukları görülmektedir.

Hemşirelerin çalışma şekli incelendiğinde ise sürekli gündüzde çalışan hemşirelerin iş gücü verimliliğinin kişisel faktörlerden daha fazla etkilendiği düşünülerek çalışma şeklinin verimliliği etkilediği saptanmıştır. Araştırma bulgularımızdan farklı olarak Dikmen ve diğerlerinin (2016) çalışmasında vardiyalı çalışan hemşirelerin iş gücü verimliliğinde organizasyonel ve ergonomik faktörlerden etkilendiği ve vardiyalı çalışanların verimlilik tutumlarının daha düşük olduğu görülmektedir. Durmaz Talay ve Harmancı Seren'in (2022) çalışmasındaki bulgular gündüz çalışan hemşirelerin vardiyalı çalışan hemşirelere göre daha olumlu verimlilik tutumuna sahip oldukları tespit edilmiştir (Durmaz Talay ve Harmancı Seren, 2022). Göktepe ve Baykal (2012) tarafından yapılan çalışmada da hemşirelerin çalışma şeklinin verimlilik tutumları üzerinde etkili olduğu, sürekli gündüz çalışan hemşirelerin verimlilik tutumlarının daha olumlu olduğu belirtilmiştir. Bu sonuçlar araştırma bulgularımız ile farklılık göstermektedir.

Hemşirelerin yarısına yakın bir bölümünün iş gücü verimliliği algısını iyi seviyede değerlendirmesi, genel olarak kendilerinin verimli olarak gördüklerini düşündürmektedir. İş gücü verimliliği algısının kişisel ve diğer faktörlerle anlamlı ilişkisi bu bulguyu desteklenmektedir. Hemşirelerde işgücü verimliliği tutumları ve etkileyen faktörler; diğer faktörler, kişisel faktörler, organizasyonel faktörler ve ergonomik faktörler olarak sıralanmaktadır. Hemşirelerin iş gücü verimliliğini etkileyen birinci faktör olan diğer faktörler; ekonomi, sağlık politikaları, hukuksal süreç ve sendikalar gibi kavramları ile ilgilidir (Özkoç, 2005:137). Araştırmaya katılan hemşirelerin "Ülkemizdeki işsizlik oranının %10'larda olması iş güvencesi verimliliğimi arttırmaktadır" maddesine katılım oranlarının yüksek olması bir kamu hastanesinde kadrolu olarak istihdam edilen hemşireler için bir iş güvencesi olması nedeniyle iş gücü verimliliğini arttıran bir durum olduğunu göstermektedir. Hemşirelerin iş gücü verimliliğini etkileyen ikinci faktör olan kişisel faktörler arasında; medeni durum ve memnuniyet düzeyi olduğu belirlenmiştir. Medeni durumu evli olan hemşirelerin iş gücü verimliliğinin kişisel faktörlerden daha fazla etkilendiği düşünülmektedir. Bu iki bulgu birbirini desteklemektedir. Ayrıca çalışanların memnuniyet düzeyi açısından değerlendirildiğinde çalıştıkları kurumdan memnun oldukları fikrine katıldıklarını ve kurumdan ayrılmayı düşünmediklerini sonucuna ulaşılmaktadır. Çalışan memnuniyeti, kalite yönetim yaklaşımlarının üzerinde durduğu önemli bir konudur. Çalışanların iç müşteri olarak tanımlandığı bu süreçte hemşirelerin memnuniyetinin sağlanması, dış müşteri olarak tanımlanan hastaların memnuniyetinin sağlanmasında büyük önem taşımaktadır (Göktepe ve Baykal, 2012). Bu bulgular, hemşirelerin kendi istedikleri ve severek çalıştıkları birimlerde istihdam edilmelerinin verimlilik tutumlarını olumlu etkileyeceğini düşündürmektedir.

Hemşirelerin iş gücü verimliliği etkileyen faktörler incelendiğinde; motivasyon düzeyi, çalışma ortamının uygunluğu, iş yükünün fazla olması ve alınan ücretin yetersizliği en önemli faktörler olduğu belirtilmiştir. Bu sonuçlar, insan kaynakları uygulamalarında önemli bir yere sahip olan motivasyon, çalışma ortamı, iş yükü ve ücret kavramları çalışma koşullarıyla yani organizasyonel faktörlerle ilgili olup verimlilik üzerindeki etkisinin büyük olduğunu göstermektedir. Çalışma ortamı, iş yükünün doğru planlanması ve doğru ücret politikaları çalışan motivasyonunu da arttıracığından birbirleri ile ilişkilidir. Motive olmuş çalışanlar, iş hedeflerine ulaşılmasına yardımcı olmanın yanı sıra kuruluşun genel verimliliğini de artırır (Apex-Apeh ve diğerleri, 2020; Dutta, 2020). Farklı örneklem grupları ile gerçekleştirilen çalışmalarda ücret ve işgücü planlaması en önemli faktörler olması araştırma bulgularımızı desteklemektedir (Dikmen ve diğerleri, 2016, Durukan ve diğerleri, 2011, Karahan, 2009, Halter ve diğerleri, 2017; Şahan Öztürk ve Akbulut, 2011). Bae (2023) tarafından yapılan çalışmada, ücret ve çalışma ortamının hemşirelerin sağlık sektöründen ayrılmasında etkisi incelenmiştir. Elde edilen çalışma sonuçlarında ücret kadar çalışma şartlarının da sektörden ayrılmalarda etkili olduğu bildirilmiştir.

Ayrıca organizasyonel faktörlerden alınan en yüksek alınan puan "Sürekli aynı tarz işlere/hastalara bakmak verimliliğimi olumsuz etkiler" ve "Amirlerimin işlerimi yakından kontrol etmesi her an yakınımda olması verimliliğimi olumsuz etkiler" ifadeleri ile çalışma ortamı ve dolayısıyla motivasyon faktörleri ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Literatürde hemşirelerin çalışma alanlarında iş zenginleşme stratejilerinin geliştirilmesi önerilmektedir. İş zenginleştirme, ek iş desteğinin entegre edilmesini, grup uyumu ve iş birliğine dayalı bir kültürün geliştirilmesini, uzman ve branşlaşmış ekiplerin kullanılmasını, rol rotasyonunu ve işi zenginleştirmenin bir yolu olarak çalışanlar arasında eleştirel düşünmeyi geliştirmeye yönelik özel çabayı kapsar (Malik ve Shankar, 2023). Hemşirelerin iş zenginleştirme ile güçlendirilmesi ve yapılan işten kazanılan doyumun artırılarak iş gücü verimliliğinin arttırılacağı düşünülmektedir. Ayrıca yapılan çalışmalar istismarcı denetim gibi olumsuz yönetim davranışlarının çalışanlar üzerindeki etkili rolünü giderek daha fazla kabul etmekte ve organizasyon verimliliğine zarar verdiğini göstermektedir (Kilic ve Günsel, 2019; Shih ve diğerleri, 2023). Shih ve diğerlerinin (2023) çalışmasında istismarcı denetimin çalışanların refahı ile olumsuz yönde ilişkili olduğunu ortaya koymuştur. Bu doğrultuda yönetici hemşirelerin denetimlerinin

çalışan ve kurum faydasına yararlı ve iş gücü verimliliğini arttırmaları yararlı olacağı düşünülmektedir. Dolayısıyla çalışma sonuçları ve bu çalışmanın bulguları ile birlikte değerlendirildiğinde kişisel, organizasyona dair tutumların ve çalışma koşullarının iş gücü verimliliğini etkilediği söylenebilir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Çalışmanın bulguları ilgili hastanede çalışan hemşireler ile sınırlıdır. Bu çalışma sonucuna göre, hemşirelerin iş gücü verimliliğini etkileyen kişisel ve mesleki özelliklerine ilişkin birçok faktörün olduğu saptanmıştır. Hemşirelerin iş gücü verimliliğini etkileyen en önemli etkenin motivasyon, çalışma ortamı, iş yükünün fazla oluşu ve ücret konularının olduğu belirlenmiştir. Bu doğrultuda hemşirelerin iş gücü verimliliğinin arttırmak için en önemli bulduğu önermeler değerlendirildiğinde, hemşirelerin motivasyon düzeylerinin artırılmasına, sağlıklı çalışma ortamları oluşturmaya veya iyileştirmeye yönelik programlar geliştirilebilmesi, iş yükü analizleri yapılarak hemşirelerin iş yüklerinin belirlenmesi ve uygun sayıda hemşire planlamasının gerçekleştirilmesi ve olanaklar göz önünde bulundurularak ücretin çalışanların gereksinimlerini karşılayacak şekilde iyileştirilmesi noktasında çeşitli stratejilerin geliştirilmesi önerilir. Hemşire yöneticilerin, iş-yaşam dengesi açısından hemşireleri destekleyerek iş zenginleşmesine yönelik çalışmaları yapması önerilmektedir. Ayrıca yöneticilerin istismarcı denetim davranışlarına dikkat edilerek bu tür davranışların önlenmesine yönelik müdahale stratejileri geliştirmesi önerilmektedir. Hemşirelik alanında bu konu ile ilgili yeterli çalışmanın bulunmadığı saptanmış olup, bu bulgular ışığında gelecekte yapılacak çalışmalar ile bu alan zenginleştirilmelidir.

Gelecek çalışmalarda bugüne kadar hemşirelerin verimlilik tutumları ile ilişkisi değerlendirilmiş olan çalışmalarda ele alınan konulardan farklı parametrelere odaklanılması, özellikle de oldukça farklı istihdam koşullarında çalışılan kamu, üniversite ve özel sektör hastanelerinde çalışan hemşirelerin iş gücü verimlilik tutumları ve etkileyen faktörlerin incelenmesine dönük araştırmaların planlanmasının yararlı olacağı düşünülmektedir.

Çatışma Beyanı / *Conflict of Interest*

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

Fon Desteği / *Funding*

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

Etik Standartlara Uygunluk / *Compliance with Ethical Standards*

Bu çalışma için (İstanbul Mehmet Akif Ersoy Göğüs Kalp ve Damar Cerrahi Eğitim ve Araştırma Hastanesi Etik Kurulu'nun (17.12.2019) tarihli ve (86) numaralı kararı ile onay alınmıştır.
For this study, the approval of the Ethics Committee (Name of the Institution) was obtained with the decision dated (Date) and numbered (Number).

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 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

- Aburn, G., Gott, M. ve Hoare, K. (2016). "What Is Resilience? An Integrative Review of The Empirical Literature", *Journal of Advanced Nursing*, 72, 980-1000, DOI:10.1111/Jan.12888
- Apex-Apeh, C.O., Ujoatuonu, I.V., Ugwu, J.I. ve Olowu, C.T. (2020). "Motivation and Work Environment as Predictors of Job Performance Among Nurses", *Nigerian Journal of Psychological Research*, 16(1), 65-72.
- Bae, S.H. (2023). "Association of Work Schedules with Nurse Turnover: A Cross-Sectional National Study". *International Journal of Public Health*, 68, 1605732.
- Bayer, E. ve Çevik, G. (2019). "Investigation of the Effects of Nurses' Patient Safety Attitudes on Patient Safety Culture: A Case of A Research and Application Hospital", *Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi*, 22(3), 653-676.
- Blišťáková, J. ve Palenčárová J. (2021). "Current Problems of the Corporate Sector, Human Resource Management in Healthcare", *SHS Web of Conferences*, 115, 03003, DOI:10.1051/Shscnf/202111503003
- Brunetto, Y., Rodwell, J., Shacklock, K., Farr-Wharton, R. ve Demir, D. (2016). "The Impact of Individual and Organizational Resources on Nurse Outcomes and Intent to Quit", *Journal of Advanced Nursing*, 72, 3093-3103.
- Dikmen, Y., Yılmaz, D.K., Başaran, H. ve Filiz N.Y., (2016). "Hemşirelerde İşgücü Verimliliğini Etkileyen Faktörlerin Belirlenmesi", *Journal of Contemporary Medicine*, 6(4) 334-342.
- Doğan, E.M. ve Tatlı, H., (2010). "İşgücü Verimliliğini Etkileyen Faktörler: Bingöl Devlet Hastanesinde Hemşireler Üzerine Bir Uygulama", *Verimlilik Dergisi*, 4.
- Durmaz Talay, S. ve Harmancı Seren, A. (2022). "Hemşirelerin Verimlilik Tutumlarının Farklı Vardiyalar İle Bireysel ve Mesleki Özelliklerine Göre Karşılaştırılması". *Verimlilik Dergisi*, 4, 771-782.
- Durukan, S., Dikmetaş, E. ve Coşkun, E. (2011). "Bir Kamu Hastanesinde Tıbbi Sekreterlerin İşgücü Verimliliğine İlişkin Algılamalarına Yönelik Bir Araştırma", *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 20(2), 433-456.
- Dutta, S. (2020). "Employee Motivation-A Comprehensive Guide", www.blog.vantagecircle.com, (Erişim Tarihi: 02.02.2023).
- Göktepe, N. ve Baykal, Ü. (2012). "Hemşirelerin Verimliliğe İlişkin Tutumları ile Hastanelerin Örgütsel Ve Yönetmel Yapılarına İlişkin Özelliklerinin Karşılaştırılması", *Hemşirelikte Eğitim ve Araştırma Dergisi*, 9(1), 16-22.
- Halter, M., Boiko, O., Pelone, F., Beighton, C., Harris, R., Gale, J., Gourlay, S. ve Drennan, V. (2017). "The Determinants and Consequences of Adult Nursing Staff Turnover: A Systematic Review of Systematic Reviews". *BMC Health Services Research*, 17,824, DOI:10.1186/s12913-017-2707-0
- Karahan, A. (2009). "Demografik Farklılıkların İş Gücü Verimliliğine Etkisi", *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 21, 269-281.
- Kavuncubaşı, Ş. ve Yıldırım S. (2022). "Hastane ve Sağlık Kurumları Yönetimi", 6. Baskı, Siyasal Kitabevi, Ankara.
- Kilic, M. ve Günsel, A. (2019). "The Dark Side of the Leadership: The Effects of Toxic Leaders on Employees", *European Journal of Social Sciences*, 2(2), 51-56, DOI:10.26417/ejss-2019.v2i2-64
- Kılıçarslan, M. ve Güçlü, A. (2019). "İstanbul'da Bulunan Sağlık Bakanlığı Hastanelerinin Verimlilik Analizi", *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 16, 552-558.
- Labrague, L.J. ve De Los Santos, J.A.A. (2020a). "COVID-19 Anxiety Among Front-Line Nurses: Predictive Role of Organisational Support", *Personal Resilience and Social Support*", *Journal of Nursing Management*, 2020, 20, 1653-1661, DOI:10.1111/jonm.13121
- Labrague, L.J. ve De Los Santos, J.A.A. (2020b). "Fear of COVID-19, Psychological Distress, Work Satisfaction and Turnover Intention among Frontline Nurses", *Journal of Nursing Management*, 1-9, DOI:10.1111/jonm.13168
- Malik, E. ve Shankar, S. (2023). "Empowering Nurses: Exploring Self-Managed Organizations in Indian Healthcare", *BMC Nursing*, 22(1), 477.
- Malliaris, A.P., Phillips, J. ve Bakerjian, D. (2021). "Nursing and Patient Safety", <https://psnet.ahrq.gov/primer/nursing-and-patient-safety>, (Erişim Tarihi: 25.12.2023).
- Moloney, W., Fieldes, J. ve Jacobs, S. (2020). "An Integrative Review of How Healthcare Organizations Can Support Hospital Nurses to Thrive at Work", *International Journal of Environmental Research and Public*, 17(23), 8757, DOI:10.3390/ijerph17238757
- Moloney, W., Gorman, D., Parson, M. ve Cheung, G., (2018). "How to Keep Registered Nurses Working in New Zealand Even as Economic Conditions Improve", *Human Resources for Health*, 16, 45, DOI:10.1186/S12960-018-0312-X.
- Nantsupawat, A., Poghosyan L., Wichaikhum O-A., Kunaviktikul W., Fang Y., Kueakomoldej S., Thienthong, H. ve Turale, S. (2022). "Nurse Staffing, Missed Care, Quality of Care and Adverse Events: A Cross-Sectional Study". *Journal of Nursing Management*, 30(2),447-454.
- Özgörü, H. (2019). "Hemşirelerin Örgütsel Bağlılık Düzeyleri ve Verimlilik Tutumları", Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Özkoç, Ö., (2005). "Hastanelerde İşgücü Verimliliğine Etki Eden Faktörler ve Çalışanların İşgücü Verimliliği Konusundaki Tutumlarını Ölçmeye Yönelik Bir Hastanede Yapılan Araştırma", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Sahney, V.K. ve Warden, G.L. (1989). "The Role of Management in Productivity and Performance Management" *Productivity and Performance Management in Health Care Institutions*, (Editör: McDougall, M.D.), American Hospital Publishing, Boston.
- Shih, F.C., Yeh, S.C.J. ve Hsu, W. L. (2023). "Abusive Supervision and Employee Well-Being of Nursing Staff: Mediating Role of Occupational Stress", *Journal of Advanced Nursing*, 79(2), 664-675.
- Sunter, M. (2019). "Sağlık Kurumlarında İnsan Kaynakları Yönetiminin Önemi", *Verimlilik Dergisi*, 3, 143-160.
- Şahan Öztürk, N. ve Akbulut, Y. (2011). "Hemşirelerin İş Gücü Verimliliğini Etkileyen Örgütsel Faktörler Konusundaki Tutumlarının Belirlenmesi", *Ankara Üniversitesi Dikimevi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 10(1), 19-30.
- Xue, Y. ve Tuttle J., (2017). "Clinical Productivity of Primary Care Nurse Practitioners in Ambulatory Settings", *Nursing Outlook*, 65(2), 162-171.
- Yeo, A.R., Lee, H. ve Jin, H. (2014), "Factors Associated with Customer Orientation and Nursing Productivity", *Journal of Korean Academy of Nursing Administration*, 20(2), 167-175, DOI:10.11111/jkana.2014.20.2.167
- Yıldırım, S., (2023). "Internal Environmental Analysis in Health Institutions". *German International Journal of Modern Science*, 66, 75-95, DOI:10.5281/zenodo.10021868

Zombi Şirketlerin Sektör Verimliliği Üzerine Etkisi ve Türkiye Uygulaması*

Zeynep Kaplan¹ , Emine Ebru Aksoy² 

ÖZET

Amaç: Bu makalenin amacı, normal koşullar altında rekabetçi piyasadan çekilmesi gereken, ancak çeşitli desteklerle hayatta tutulan zombi şirketlerin, ekonomik büyümenin itici gücü olan sektörel verimlilik üzerinde meydana getirdiği etkinin araştırılmasıdır.

Yöntem: Çalışmada, Girişimci Bilgi Sisteminden elde edilen 2007-2022 dönemine ait mikro verilerden yararlanılarak; üç yıl üst üste faiz karşılama oranı birden az ve yatırım oranı brüt olarak yüzde 10'dan daha düşük şirketler zombi şirket olarak sınıflandırılmıştır. Zombi şirketlerin sektörel verimliliğe etkisi ise, Ulusal Verimlilik İstatistiklerinden sağlanan verimlilik verilerinin bağımlı değişken olduğu tek değişkenli sabit etkili panel regresyon analizi yoluyla 2009-2022 dönemi için tahmin edilmiştir.

Bulgular: Kimyasal ürünler, ulaşım araçları, tekstil ve gıda imalatında bulunan şirketler arasında daha yüksek; buna karşın metal ve makine-ekipman imalatı sektörlerinde yer alan şirketler arasında daha az zombi şirkete rastlanılmıştır. Ayrıca sektördeki zombi şirket payındaki artışın, sektörün katma değer cinsinden hesaplanan ortalama verimliliğini anlamlı bir şekilde azalttığı, brüt çıktı cinsinden hesaplanan verimliliği üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

Özgünlük: Bu çalışma, Türkiye'de zombi şirketlerin sektör ortalama verimliliğine etkisini inceleyen ve zombi şirketler konusunda Girişimci Bilgi Sistemi mikro verilerinden yararlanan ilk çalışmadır. Ayrıca, zombi şirketlerin belirlenmesinde yeni bir yöntem geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Zombi Şirketler, Verimlilik, Kaynak Tahsisinde Etkinsizlik.

JEL Kodları: D24, E22, G32, O47.

The Effect of Zombie Companies on Sector Productivity and an Application in Türkiye

ABSTRACT

Purpose: The purpose of this article is to investigate the effect of zombie companies on productivity, the driving force of economic growth.

Methodology: Using micro-level data for the period 2007-2022 obtained from the Enterprise Information System database, companies with an interest coverage ratio less than one and an investment ratio less than 10 percent for three consecutive years were classified as zombie companies. The possible effect of zombie shares on sector productivity was estimated with fixed-effect panel regression analysis for the period 2009-2022.

Findings: The share of zombie companies are higher in the chemical industry, transportation vehicles, textile, food manufacturing sectors and less in the metal and machinery-equipment manufacturing sectors. An increase in the share of zombie companies in an industry significantly reduces productivity of that industry calculated in terms of added value but does not significantly affect the average productivity calculated in terms of gross output.

Originality: It is the first study in Türkiye to examine the effect of zombie companies on the sector productivity and to use Entrepreneur Information System database about zombie companies. Additionally, a new method was developed to identify zombie companies.

Keywords: Zombie Companies, Productivity, Misallocation.

JEL Codes: D24, E22, G32, O47.

* Bu çalışma, Zeynep Kaplan tarafından Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nde Prof. Dr. Emine Ebru Aksoy danışmanlığında yürütülen "Zombi Şirketlerin Karakterleri, Belirleyicileri ve Ekonomi Üzerine Etkileri" başlıklı Doktora Tezi'nden türetilmiştir.

¹ Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Muhasebe-Finansman Bölümü, Ankara, Türkiye

² Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Ankara, Türkiye

Sorumlu Yazar-Corresponding Author: Zeynep Kaplan, zeynep.kaplan@hbv.edu.tr

DOI: 10.51551/verimlilik.1471332

Araştırma Makalesi / Research Article | Geliş / Submitted: 20.04.2024 | Kabul / Accepted: 13.06.2024

Atıf/Cite: Kaplan, Z. ve Aksoy, E.E. (2024). "Zombi Şirketlerin Sektör Verimliliği Üzerine Etkisi ve Türkiye Uygulaması", *Verimlilik Dergisi*, 58(3), 413-428.

EXTENDED ABSTRACT

It has been observed that productivity growth, which has a significant impact on the economic growth of countries, has gradually decreased in recent years. Research at the company-level reveals that companies that should exit in a competitive market under normal conditions tend to hinder resource allocation. This situation narrows the growth opportunities of productive companies and negatively affects the average productivity of the sector. In the literature, companies that exhibit such harmful behavior are referred to as zombie companies and are defined as companies that cannot cover interest payments from current profits over an extended period yet kept alive with supports.

The existence of zombie companies reduces the average productivity of the sector, both directly by operating with lower efficiency and indirectly by preventing more efficient companies in the same sector from accessing resources. Based on this idea, the existence of zombie companies in Turkish manufacturing sub-sectors and their possible effects on sectoral productivity are examined for the period 2009-2022 in this study.

Using company-level data obtained from the Enterprise Information System (EIS) database, which contains several datasets of all businesses of Türkiye, companies with an interest coverage ratio less than one and an investment ratio less than 10 percent for three consecutive years are classified as zombie companies. The possible effect of the share of capital sunk in zombie companies on sector productivity is also determined with fixed-effect panel regression model.

According to the empirical findings, the share of zombie companies in the Turkish manufacturing sector, which was 3.61 percent in 2009, increased in the post-global financial crisis period and reached 3.94 percent in 2010, the highest level of the sample period. With the recovery after 2010, the share of zombie companies managed to decrease to 2.71 percent in 2014, but it constantly increased in the period between 2014 and 2019, accompanied by economic and political problems experienced in Türkiye and globally. This share followed a horizontal course at 3.52 percent in 2019 and 2020, the pandemic period when quarantine measures caused a decrease in income and liquidity shortage and moved downwards after this year.

When the shares of zombie companies are examined by manufacturing sub-sectors, it is seen that, the prevalence of zombie companies are higher in the chemical industry, transportation vehicles, textile, food manufacturing sectors and less in the metal and machinery-equipment manufacturing sectors. An increase in the share of capital sunk in zombie companies in an industry significantly reduces productivity of that industry calculated in terms of added value but does not significantly affect the average productivity calculated in terms of gross output. Evidence that zombie companies have negative effects on sector productivity; are consistent with those in Caballero et al. (2008), Kwon et al. (2015), Papava (2010), Dai et al. (2019), Tan et al. (2016), Gouveia and Osterhold (2018), Carreira et al. (2021), McGowan et al. (2017), Banerjee and Hofmann (2018), Andrews and Petroulakis (2017) and Dinçer et al. (2023). Based on the results, it is recommended that policymakers take measures to reduce the prevalence of zombies for productivity and economic growth.

This study differs from previous similar studies in many aspects. It is the first study in Türkiye to examine the direct effect of zombie companies on the sector productivity. Likewise, the use of the Entrepreneur Information System database, is an important difference. Considering that the pioneering studies in the literature, mainly focused on listed companies with fewer observation opportunities, it can be said that the findings obtained in this study, which analyzes more observations, have a higher ability to represent the reality of the Turkish economy. This study also provides a methodological contribution to the definition of zombie companies. The zombie classification used by McGowan et al. (2017) is followed, but the criticism that this method only focuses on the past performance of the companies is overcome by the investment criterion.

In this study, the effects of zombie companies on sector productivity are examined only for manufacturing sub-sectors, but whether there are similar effects in other sectors is not examined due to data limitations. Further studies may contribute to the literature on this subject.

1. GİRİŞ

Verimlilik, ülke ekonomilerinin genel görünümüne ilişkin en bilgilendirici göstergelerden biri kabul edilmekte ve gelecekteki performansının bir öngörüsü olarak ele alınmaktadır (Gregory ve diğerleri, 2022: 1). Bunun temel nedeni, çıktının (üretilen mal ve hizmet miktarı) çıktıyı üretmek için kullanılan girdi sayısı ile karşılaştırıldığı bir ekonomik performans ölçüsü olan verimlilikte yaşanan artışların, ekonomik büyümenin uzun dönemli temel faktörü olmasıdır (Logarusic ve Kristic, 2022). Nitekim 2000'li yıllardan itibaren, bilgi ve iletişim teknolojilerindeki ilerlemelere, şirketlerin küresel değer zincirine artan katılımına ve her zamankinden daha iyi eğitilmiş işgücüne rağmen, gelişmiş ülkeler başta olmak üzere dünyanın büyük bölümünde, verimlilik artışında yaşanan azalmayla birlikte ekonomik büyümenin oldukça yavaşladığı görülmektedir (Gouveia ve Osterhold, 2018: 185; Gregory ve diğerleri, 2022: 1).

Genel ekonomik faaliyetler üzerinde olumlu katkısı bulunan verimlilik artışı (Belullo ve diğerleri, 2017), emek ve sermayenin yanlış tahsis nedeniyle büyük ölçüde sınırlanmaktadır. İyi performans gösteren şirketler ihtiyaç duydukları tüm çalışanları işe almakta zorlanırken, daha az verimli olan diğer şirketler gereğinden fazla işçi çalıştırmaktadır. Benzer şekilde, bazı parlak girişimciler, ihtiyaç duydukları kaynağa ulaşım uygun koşullarda finansman sağlayamadıkları için devrim niteliğindeki fikirlerden vazgeçebilirken, bazıları da katma değeri az olan projelere yatırım yapmaya devam etmektedirler (Gregory ve diğerleri, 2022: 12).

Klasik iktisat teorisine göre, bir kaynağın marjinal maliyeti marjinal getirisine eşit olduğunda, bu kaynak şirket içerisinde optimal olarak tahsis edilmektedir. Böyle bir eşdeğerlikten sapma ise, marjinal maliyet ile marjinal getiri arasında bir fark olduğu, diğer bir ifadeyle girdinin ya çok fazla ya da çok az kullanıldığı anlamına gelmektedir. Bu eşdeğerliğin sektördeki tüm şirketler için geçerli olması halinde, sektör içerisinde kaynak tahsis etkinliği sağlanmış olmaktadır. Dolayısıyla, şirketler arasında serbestçe dolaşan kaynaklar, bunları en verimli şekilde kullanacak şirketlere geçmektedir (Gregory ve diğerleri, 2022: 2). Böylece, verimli olmayan şirketler yavaş yavaş girdilerini kaybederek piyasadan çıkmakta, aynı zamanda yeni ve daha verimli şirketlerin kaynakları elde ederek büyüme fırsatları yakaladığı bir yaratıcı yıkım süreci işlerlik kazanmaktadır. Nihayetinde bu süreç, sektör ve dolayısıyla tüm ekonomi için kaynak kullanımında verimliliği ve toplam refah kazanımlarını artırmaktadır (Gouveia ve Osterhold, 2018: 186; Carreira ve diğerleri, 2021).

Şirket düzeyinde yapılan çalışmalar, normal koşullarda rekabetçi piyasalarda faaliyetlerini durdurması gereken şirketlerin, rekabeti ve kaynakların etkin tahsisini engelleme eğilimi içerisinde olduklarını ortaya koymaktadır (Carreira ve diğerleri, 2021). Bu durum verimli şirketlerin büyüme olanaklarını daraltmakta ve sektörün ortalama verimliliğini olumsuz etkilemektedir (Logarusic ve Kristic, 2022). Literatürde bu tür zararlı davranışları gösteren şirketler zombi şirketler olarak ifade edilmekte ve olağan faaliyetlerinden elde ettikleri karlarla bu faaliyetlerinin finansmanında kullandıkları yabancı kaynakların faizini dahi ödemeyi başaramamaları sebebiyle piyasadan çekilmesi gereken, ancak çeşitli kurumsal desteklerle hayatta tutulan şirketler olarak tanımlanmaktadır (Silva ve Gonçalves, 2022).

Kurumsal destek alamadığında piyasadan çekilmek durumunda kalacak zombi şirketlerin verimliliği düşük şirketler olduğu kabul edilmektedir. Nitekim Türkiye'nin On Birinci Kalkınma Planı'nda da zombi şirketlerden bahsedilmekte ve bu şirketler; "Finansal sistemden temin edilen krediler ile yaşamayı sürdüren ancak verimlilik ve istihdam açısından ekonomiye katkıları yok denecek kadar düşük olan ve ilerisi için yüksek kredi riski taşıyan KOBİ'ler" olarak tanımlanarak, verimsiz şirketler olduklarının altı çizilmektedir (T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2019: 66). Dolayısıyla bu şirketlerin varlığı, hem doğrudan daha düşük verimlilikle faaliyetlerini sürdürerek hem de dolaylı olarak sektördeki daha verimli şirketlerin finansmana ve insan sermayesine erişimini dışlayarak, sektörün ortalama verimliliğini düşürmektedir (Caballero ve diğerleri, 2008). Bu tespitten yola çıkılarak, bu çalışmada zombi şirketlerin faaliyet gösterdikleri sektörün ortalama verimliliği üzerindeki etkisi tespit edilmeye çalışılacaktır.

Çalışmanın amacı, Türkiye'de yaşanan ekonomik problemlerin arkasındaki potansiyel itici güçlerden birisine ışık tutabilmek için, zombi şirketlerin sektörel verimlilik üzerindeki muhtemel etkilerinin tespit edilmesidir. Bu kapsamda ilk olarak, imalat alt sektörlerinde faaliyet gösteren zombi şirketlerin ağırlıkları hesaplanacaktır. Daha sonra bu sektörler itibarıyla zombi şirketlerin varlık ağırlıklı payları ve farklı açılardan hesaplanmış sektörel işgücü verimlilikleri ele alınarak, 2009-2022 dönemi için sektördeki zombi şirket paylarındaki yüzdelik değişimin o sektörün verimliliğini nasıl etkilediği tek değişkenli sektör ve yıl sabit etkili panel regresyon analizi yoluyla tahmin edilecektir.

Bu çalışma daha önce yapılan benzer çalışmalardan çeşitli açılardan farklılıklar içermekte ve böylece çalışmanın literatüre önemli katkılar sağlaması hedeflenmektedir. Öncelikle, Türkiye'de yerleşik borsaya kayıtlı olan veya olmayan tüm şirket verilerinin yer aldığı geniş ve yeni bir veri seti olan Girişimci Bilgi Sistemi (GBS) veri tabanının kullanılmış olması önemli bir farklılıktır. Literatürdeki öncü çalışmalarda (Caballero vd., 2008; Banerjee ve Hofmann, 2020) ağırlıklı olarak, daha az gözlem imkânı sağlayan, borsada işlem gören şirketlere odaklanılmış olduğu düşünüldüğünde; GBS veri seti kullanılarak elde

edilecek ampirik bulguların, Türkiye ekonomisinin gerçekliğini temsil etme kabiliyetinin son derece yüksek olması beklenmektedir. Çalışmanın bir diğer farkı, Türkiye’de zombi şirketler ile sektör verimliliği arasındaki doğrudan ilişkinin daha önce incelenmemiş olmasıdır. Bu şirketlerin ekonomik etkilerinin araştırıldığı tek çalışmada Dinçer ve diğerleri (2023), aynı sektörde faaliyet gösteren sağlıklı şirketlerin verimliliği üzerindeki etkiyi incelemişlerdir. Çalışmanın diğer bir farkı ise, zombi şirket belirleme kriterlerine sağlanan metodolojik katkıdır. McGowan ve diğerleri (2017) tarafından kullanılan yöntemden hareket edilmiş, ancak bu yöntemin sadece geçmiş performans odaklandığına yönelik eleştirileri dikkate alınarak, faiz karşılama oranı kriterine yatırım şartı eklenmiştir. Böylece ileride nakit akışı yaratması beklenen yatırım projelerini hayata geçiren hem genç şirketlerin hem de yaşam döngülerinin ileri aşamalarında bulunan büyüyen şirketlerin hatayla zombi kategorisine dahil edilmesi engellenmeye çalışılmıştır.

Makale beş bölümden oluşmaktadır. Girişi izleyen ikinci bölümde zombi şirketlerin verimlilik üzerindeki etkilerini inceleyen mevcut çalışmalara ilişkin literatür taraması yer almaktadır. Üçüncü bölümde veri setinin ve kullanılan değişkenlerinin tanıtılmasının ardından, zombi şirketlerin belirlenmesi ve sektör verimliliği etkisine yönelik ampirik model sunulmaktadır. Dördüncü bölümde ampirik analiz sonuçları verildikten sonra, beşinci ve son bölümde çıkarımlar ve değerlendirmeler bulunmaktadır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Zombi şirketlerin verimlilik üzerinde yarattığı olumsuz etkilere yönelik bulgular sağlayan akademik çalışmaların başlangıcı, Japonya’daki bankaların kredilendirme politikalarının 1990’lardaki makroekonomik durgunluğun uzamasındaki rolünü inceleyen Caballero ve diğerleri (2008) tarafından hazırlanan makaleye kadar uzanmaktadır. Zombi şirketlerin verimlilik üzerinde neden olduğu bozulmaların sektör düzeyinde kanıtlarını içeren çalışmada, bankaların iflasın eşğine gelmiş verimsiz şirketlere kredi vermeye devam ederek, bu şirketlerin hayatta kalmalarını sağladıklarını ve piyasadan çıkmalarını engellediklerini tespit etmişlerdir. Böylece bu şirketlerin varlığı hem doğrudan faaliyetlerini sürdürerek hem de dolaylı olarak daha verimli şirketlerin büyüme olanaklarını daraltarak sektörün ortalama verimliliğinin düşmesine neden olmaktadır. Dolayısıyla sektördeki zombi şirket payındaki bir artışın toplam verimlilikte azalmaya ve zombi şirketler ile sağlıklı şirketler arasındaki verimlilik açığında artışa neden olduğu görülmüştür. Nitekim 1990’dan 2000’lere kadar zombi şirketlerin yoğun bulunduğu sektörlerin, ortalama toplam faktör verimliliği büyümesi en başarısız olan sektörler olduğu yönündeki bulgu, çalışmanın çarpıcı sonuçlarından birisidir.

Caballero ve diğerleri (2008) tarafından Japonya’da elde edilen tespitlere paralel olarak Kwon ve diğerleri (2015)’de zombi şirketlerin sektör verimliliği üzerindeki olumsuz etkisini ortaya çıkarmışlardır. Eğer 1990’larda bankalar zombi şirketlere kredi sağlamamış olsaydı, o dönem Japon ekonomisinin yıllık toplam verimlilik artışının gerçekleşenden yüzde bir puan daha fazla olacağı tahmin edilmiştir. Benzer şekilde Papava (2010) da Japonya’da özellikle uygun şartlarda sağlanan kredilerle desteklenen zombi şirketlerin sermaye ve işgücü kaynağını haksız yere ellerinde tutarak daha verimli şirketlerin sektöre girişini engellediklerini ve böylece tüm ekonominin verimliliğini azalttığını saptamıştır.

Zombi şirketlerin verimlilik üzerinde meydana getirdikleri azaltıcı etkilerin Japonya dışındaki diğer ekonomiler için de büyük bir problem teşkil ettiğine yönelik, farklı ülke ekonomilerine ait verilerin incelendiği çalışmalarda, Japonya’da elde edilen bulguları destekleyen sonuçlar elde edilmiştir. 1998’den 2013’e kadar Çin imalat şirketlerini inceleyen Dai ve diğerleri (2019), sektördeki zombi şirket paylarındaki her yüzde birlik artışın, diğer şirketlerin ortalama toplam faktör verimliliğini yüzde 2,41 oranında azalttığını bulmuşlardır. Çin ekonomisi üzerine benzer tespitler 2005-2007 dönemini inceleyen Tan ve diğerleri (2016) tarafından da elde edilmiştir.

Zombi şirketlerin kaynakların etkin tahsisini engelleyerek verimlilik artışını yavaşlattığına yönelik tespitlerin elde edildiği bir başka ülke örneği Portekiz’dir. Carreira ve diğerleri (2021), 2004-2017 dönemini kapsayan Portekiz imalat ve hizmet şirketlerinden oluşan bir panele dayanarak analiz yapmışlardır. Analizden hem toplam faktör verimliliği hem de iş gücü verimliliği açısından, zombi şirketlerin sağlıklı şirketlerden daha az verimli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Elde edilen bulgulara göre zombi şirket ağırlığındaki yüzde birlik bir düşüş, sektör toplam faktör verimliliğinde yüzde 0,5, iş gücü verimliliğinde ise yüzde 3,1’lik bir artışa yol açmaktadır. Gouveia ve Osterhold (2018), 2006-2015 dönemini kapsayan Portekiz şirket verilerini inceleyerek, Carreira ve diğerleri (2021) çalışma bulgularını teyit etmişlerdir.

Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (OECD) üyesi ülkelerden oluşan geniş bir örneklem üzerinde inceleme yapan McGowan ve diğerleri (2017), zombi şirketlerin sektördeki verimlilik artışını yavaşlatmaya sebep olduğunu saptamışlardır. Bu olumsuz etkinin nedenleri olarak; zombi şirketlerin kendilerinin ortalama olarak sağlıklı şirketlerden daha düşük verimlilik sergilemeleri, sektördeki mevcut verimli şirketlerin istihdam ile yatırım olanaklarını dışlamaları ve dinamik şirketlerin sektöre girişini engellemeleri gösterilmiştir. McGowan ve diğerleri (2017) gibi 14 gelişmiş ülke ekonomisine ait geniş bir örneklemde yararlanan Banerjee ve Hofmann (2018) çalışmasında, zombi şirketlerde ortalama emek verimliliğini ve toplam faktör verimliliğini sağlıklı şirketlere nazaran daha düşük bulmuşlardır. Tahminler, bir ekonomide zombi şirket payı

yüzde bir arttığında, verimlilik artışının yaklaşık yüzde 0,3 puan düştüğünü göstermiştir. Andrews ve Petroulakis (2017) de 11 Avrupa ülkesi için yinededikleri analizde 2001-2014 dönemini ele alarak önceki çalışmalarla uyumlu sonuçlar elde etmişlerdir.

Türkiye’de zombi şirketlerin sağlıklı şirketlerin ekonomik faaliyetleri üzerindeki etkisini analiz eden tek bir çalışma yer almaktadır. Türkiye İstatistik Kurumu yıllık sanayi ve hizmet istatistikleri veri tabanı ile dış ticaret istatistikleri veri tabanından yararlanılarak 2012-2015 döneminin analiz edildiği çalışmada Dinçer ve diğerleri (2023), bir sektörde sermaye cinsinden hesaplanan zombi payı arttıkça, aynı sektörde faaliyet gösteren sağlıklı şirketlerin verimlilik artışının azaldığını bulmuşlardır. Sektörün ortalama verimliliği üzerindeki doğrudan etkinin incelenmediği çalışmadan elde edilen bulgulardan yola çıkılarak, zombi şirketlerin kendilerinin verimsiz olmaları ve aynı sektörde yer alan sağlıklı şirketlerin verimlilik artışlarını da sınırlamaları nedeniyle sektör verimliliğini azaltıcı etkilerinin bulunduğu dolaylı olarak tahmin edilebilir. Ayrıca bahsi geçen çalışmada kullanılan veri setinin yaratmış olduğu kısıttan dolayı dört yıllık kısa bir dönem analiz edilebilmiştir. Çalışmamızın, daha uzun ve günümüze yakın bir süreyi içermesi nedeniyle, yerli literatüre önemli bir katkısının olacağı düşünülmektedir.

3.YÖNTEM

Bu çalışmada Türk imalat sektöründe faaliyet gösteren şirketler arasında zombi şirket varlığı araştırılmış ve bu şirketlerin buldukları sektörün verimliliğine olan etkileri analiz edilmiştir. Bu amaçla, Türk şirketlerinin kendine özgü durumu ve kullanılan veri setinin sağladığı bilgiler dikkate alınarak, bir şirketin zombi olarak sınıflandırılması amacıyla kullanılacak kriterler belirlenmiştir. Daha sonra, belirlenen kriterlere uygun olarak tespit edilen zombi şirketlerin, buldukları sektörde aktif büyüklükleri cinsinden hesaplanan paylarındaki değişikliklerin, ilgili sektörün verimliliği üzerindeki muhtemel etkilerini incelemek amacıyla, tek değişkenli sektör ve yıl sabit etkili panel regresyon modeli kullanılmıştır.

3.1. Veri Seti ve Değişkenler

Zombi şirketlerin belirlenmesinde kullanılan şirketlere özgü mikro veriler için, T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Stratejik Araştırmalar ve Verimlilik Genel Müdürlüğü (Genel Müdürlük) tarafından düzenlenen Girişimci Bilgi Sistemi (GBS) veri tabanından yararlanılmıştır. GBS; kurumlar vergisi mükellefleri ile ticari kazanç elde eden gelir vergisi mükelleflerine ait farklı kurum ve kuruluşların idari kayıtlarında yer alan ekonomik faaliyet verilerini içermektedir. Bu veriler; finansal tablolar, istihdam, dış ticaret değerleri, fikri ve sınai mülkiyet hakları, kurulu kapasiteler, fiili üretim miktarları gibi alanlardan oluşmaktadır. Zombi şirketlerin sektörel verimliliğe olan etkilerinin analizinde yer alan verimlilik değişkenlerinin elde edilmesinde ise, Genel Müdürlük tarafından ulusal verimlilik istatistikleri adı altında hazırlanıp yayımlanan üç aylık, yıllık ve ölçeğe göre verimlilik istatistiklerinden yararlanılmıştır. Söz konusu istatistiki verilere GBS üzerinden erişim mümkündür. Bununla beraber, zombi şirket payları ve bu şirketlerin sektörel verimlilik üzerindeki etkileri 2009-2022 dönemi için analiz edilmiştir.

Çalışma kapsamına alınan şirketlerin tabi oldukları sektörler, Avrupa Topluluğu’nda Ekonomik Faaliyetlerin İstatistik Sınıflaması Nace Rev. 2’ye göre iki haneli olarak kategorize edilen imalat alt sektörleridir (Nace 10-33, 12 ve 19 hariç). İmalat dışı sektörlerdeki şirketlerin özellikle üretim faaliyetlerinin finansmanında farklı karakteristik özellikler göstermeleri ve verimlilik ölçümlerinde kullanılan verilerin genel itibarıyla imalat sektörlerine yönelik hesaplanıyor olmaları, bu seçimin yapılmasını gerekli kılmıştır. İmalat alt sektörleri içerisinde ise, tütün ürünleri imalatı (Nace 12) ile kok kömürü ve rafine edilmiş petrol ürünleri imalatı (Nace 19), gerek yıllık örneklem sayılarının düşük olması ve bu nedenle bazı yıllar zombi şirketlere rastlanılmaması gerekse de verimlilik verilerinde eksik gözlemlerin olması sebebiyle kapsam dışı bırakılmıştır. Analize tabi tutulan sektörlerin toplam şirket sayılarına göre dağılımı ekte yer alan Tablo A1’de sunulmuştur.

Veri setinin analize hazır hale getirilmesi amacıyla öncelikli olarak, bir dizi düzeltme işlemi yapılmıştır. Bu kapsamda bankalarla kredi ilişkisi olmadığından finansman gideri kaydı olmayan, faaliyet karı ile sabit kıymetlerin hesaplanmasında kullanılan finansal tablo hesaplarında eksik verisi olan ve makul görülmeyen değerlere sahip (örneğin negatif faiz gideri) gözlemler silinmiştir (Gouveia ve Osterhold, 2018: 17; Storz ve diğerleri, 2017: 13). Aynı zamanda, zombi şirketlerin belirlenmesi için aranan kriterlerin en az üç yıl üst üste sağlanması gerektiğinden, üç yıl üst üste verisi bulunmayan şirketler de veri setinden çıkarılmıştır. Tablo 1’de analizlerde kullanılan değişkenler ve bu değişkenlere ilişkin açıklamalara yer verilmiştir.

Tablo 1. Analizlerde kullanılan değişkenlerin tanımları ve açıklamaları

Değişken	Açıklama	Kaynak
Faiz karşılama oranı	Faaliyet karının finansman giderine oranı	Finansal tablolar
Yatırım oranı	Sabit kıymetlere yapılan yatırımın önceki dönem sabit kıymetler tutarına oranı	Finansal tablolar
Sabit kıymet	Arsa ve arazi, yeraltı ve yerüstü düzenleri, binalar, tesis-makine-cihazlar, demirbaşlar, yapılmakta olan yatırımlar, haklar, araştırma ve geliştirme giderleri, özel maliyetler, verilen avanslar toplamı	Finansal tablolar
Çalışan başına katma değer	Faktör maliyetiyle katma değer (TL), hesaplanan çalışanlar sayısına oranı	GBS yıllık verimlilik istatistikleri
Emek maliyeti başına katma değer	Faktör maliyetiyle katma değer (TL), ücretli çalışanlara ve iş sahibi, ortaklar ile ücretsiz çalışan aile fertlerine ödenen maaş ve ücretler toplamına oranı	GBS ölçeğe göre verimlilik istatistikleri
Çalışan başına üretim	Brüt çıktının (miktar), işgücü girdisine (çalışan sayısı) oranı	GBS üç aylık verimlilik istatistikleri
Çalışılan saat başına üretim	Brüt çıktının (miktar), işgücü girdisine (çalışılan saat) oranı	GBS üç aylık verimlilik istatistikleri
Katma değer üretim değerine oranı	Faktör maliyetiyle katma değer (TL), üretim değerine oranı	GBS ölçeğe göre verimlilik istatistikleri
Sektörel zombi payı	Bir sektördeki zombi şirketlerin aktif toplamının, o sektördeki tüm şirketlerin aktif toplamına oranı	Finansal tablolar

Not: Faktör maliyetiyle katma değer verileri, TÜİK tarafından yayımlanan yurt içi üretici fiyat endeksi (2010=100) kullanılarak deflate edilmiştir. Tüm değişkenlerin yıllık değerleri dikkate alınmıştır.

3.2. Zombi Şirketlerin Belirlenmesi

Zombi şirketlerin varlığı ile verimlilik üzerindeki etkilerinin tespit edilebilmesi için, tüm şirketlerin zombi ve zombi olmayan şirket kategorilerine ayırılmalarının doğru ve pratik bir şekilde yapılması önemlidir. Bu şirketlerin tespit edilmesinde uygulanacak kriterlerin seçiminin, araştırma sonuçlarını önemli ölçüde etkileyebileceği düşünülmektedir. Literatürde, bu tür şirketlerin, başarısız performans göstermelerine rağmen finansal destek alarak faaliyetlerini sürdürdükleri yönünde bir görüş birliği sağlanmış olsa da bu tarifi nicel bir tanıma dönüştürülmesinde fikir birliği sağlanamadığı görülmektedir (Gouveia ve Osterhold, 2018: 8). Önceki çalışmalar, yararlanılan veri tabanına ve incelenen ülke ekonomilerindeki farklılıklara bağlı olarak, zombi şirketlerin belirlenmesinde genel itibarıyla kendine özgü sınırlılıklara, avantaj ve dezavantajlara sahip iki yaklaşım etrafında toplanmıştır. Bu yaklaşımlardan ilki sübvansiyonlu banka kredisi kullanan şirketlere (Caballero ve diğerleri, 2008), diğeri ise finansal açıdan kalıcı zayıflık gösteren şirketlere (McGowan ve diğerleri, 2017) odaklanmaktadır.

Caballero ve diğerleri (2008) tarafından ortaya konulan ilk yaklaşımda; şirketlerin fiilen ödedikleri faiz tutarı, kredibilitesi yüksek şirketlere uygulanan faiz oranı üzerinden hesaplanan minimum faiz ödemeleri ile karşılaştırılmaktadır. Eğer bir şirket tarafından fiilen ödenen faiz tutarı, hesaplanan minimum faiz tutarından daha düşükse (Caballero ve diğerleri, 2008: 1949); bir diğer ifadeyle bir şirket kredibilitesi yüksek müşterilerden daha düşük bir maliyetle kredi sağlamışsa (Wang ve Zhu, 2020) zombi şirket olarak sınıflandırılmaktadır.

Zombi şirketlerin hayatta kalabilmek için önemli ölçüde faiz indirimi almış olmaları gerektiği fikrine dayanan ilk yaklaşım, bu şirketlerin sübvansiyonlu kredi kullanmalarının her zaman asgari seviyeden daha düşük bir faiz oranından kredi sağladıkları anlamına gelmemesi (Rashid ve diğerleri, 2022), piyasada geçerli faiz oranlarından vade ötelemesi yoluyla da destek sağlanabileceği (Wang ve Zhu, 2020), kredibilitesi yüksek müşterilerin de bankalarla uzun süreli ilişkileri nedeniyle asgari seviyeden daha düşük bir faiz oranından borçlanabilmelerinin mümkün olması (Carreira ve diğerleri, 2021) ve özellikle zombi şirket tanımında finansal performansın ihmal edilmesi nedenleriyle sıkça eleştirilmiştir. Bu sebeple yaklaşımın zombi şirketleri belirlemede yetersiz kaldığı yanları; Fukuda ve Nakamura (2011), Hoshi ve Kim (2012), Imai (2016), Wang ve Zhu (2020) ile Geng ve diğerleri (2021) tarafından ilave bazı kriterler eklenerek geliştirilmiştir.

Zombi şirketlerin belirlenmesinde kullanılan ikinci yaklaşım ise, faaliyet karlarının faiz ödemelerini karşılamada yetersiz kalması durumunu, zombi şirketlerin temel karakteristik özelliği olarak dikkate almaktadır. Bu yaklaşımın temelini oluşturan McGowan ve diğerleri (2017) çalışmalarında bir şirketin zombi olarak belirlenmesi için, faiz karşılama oranının birbirini izleyen üç yıl boyunca birden az olması ve şirketin 10 yaşında ya da daha büyük olması gerektiğini belirtmişlerdir. Oranın üç yıl üst üste birin altında olması

şartı, konjonktürel etkilerden kaynaklı tek bir dönemlik geçici bozulmaları dikkate almamayı; yaş şartı ise, yatırımlarının getiri sağlaması için daha zamana ihtiyacı olan, bu nedenle kolayca negatif faaliyet karı elde edebilecek genç ve dinamik şirketlerin hatayla zombi olarak sınıflandırılmalarını engellemeyi amaçlamaktadır (McGowan ve diğerleri, 2017: 16).

McGowan ve diğerleri (2017) tarafından ortaya konulan ikinci yaklaşım, sadece geçmiş dönemlerde elde edilen düşük performansa odaklandığından, Banerjee ve Hofmann (2020) zombi şirket belirleme kriterlerine Tobin Q oranının sektör medyanının altında olması şartını eklemişlerdir. Bu oran, şirket varlıklarının piyasa değerinin varlıkların defter değerine oranını temsil etmektedir. Böylece, yatırımcıların gözünde zombi şirketlerin sadece geçmişte değil gelecekte de düşük karlılık ve büyüme potansiyeline sahip şirketler olarak değerlendirileceği ifade edilmiştir. Çünkü düşük Tobin Q oranının temsil ettiği düşük öz sermaye değerlemesi, şirketin gelecekteki büyüme potansiyelinin düşük beklendiğini göstermektedir. Aynı zamanda, kar elde etmek için biraz ısınma süresine ihtiyaç duyan ve piyasa tarafından gelecekte karlı olacağı beklenen genç şirketlerin zombi olarak hatalı sınıflandırılmalarını önlemeye yardımcı olmak amacıyla da Tobin Q oranının kullanılmasının yeterli olacağı fikrini savunmuş ve zombi şirket tanımlama kriterlerinden 10 yaş şartını çıkarmışlardır (Banerjee ve Hofmann, 2020). 10 yaş şartının hatalı tanımlamalara neden olabileceği fikrinden yola çıkılan bir başka çalışmada Storz ve diğerleri (2017), geçici olarak faiz ödemelerinden daha düşük getiri sağlayan genç ve büyüyen sağlıklı şirketlerin hatayla zombi olarak sınıflandırılmalarını engellemek amacıyla, net yatırımların üst üste iki yıl negatif olması koşulunu literatüre kazandırmışlardır.

Sübvansiyonlu kredi kullanmaya odaklanan ilk yaklaşımın GBS veri setine uygulanması; tüm şirketlerin farklı borç türleri için gerçek faiz ödemeleri hakkında ayrıntılı bilgiye ihtiyaç duyulması ve bu veri setinde ilgili bilgilerin yer almaması nedeniyle mümkün bulunmamaktadır. Aynı zamanda, şirketlerin fiilen yerine getirdikleri faiz ödemelerinin karşılaştırılacağı referans faiz oranının da tespit edilmesi, bu çalışmanın örneklemine oluşturan farklı ölçekli şirketler için güç görünmektedir. Nitekim bu yaklaşımın öncülerinden olan Caballero ve diğerleri (2008) ile Fukuda ve Nakamura (2011), bu tür bilgilerin daha kolay erişilebilir olmasını sağlayan ve benzer finansman yapılarına sahip borsada işlem gören şirketlerden oluşan gözlemler üzerinde analizlerini gerçekleştirmişlerdir.

Bu çalışmada zombi şirketlerin belirlenmesinde kullanılan yaklaşım, şirketlerin karlılık seviyesini ve finansal riskini aynı anda hesaba katan faiz karşılama oranının temel alındığı ikinci yaklaşımdır. Ancak şirketlerin sadece kuruluşunu takip eden yıllarda değil büyüme, olgunlaşma dönemlerinde de rekabeti yakalamak ya da korumak amacıyla yatırım yapmak zorunda kalmaları sonucu, geçici olarak hem borç yükündeki artışa bağlı finansman giderlerinin artması hem de faaliyet karlarının yetersiz kalabilmesi sebebiyle faiz karşılama oranının birin altına düşmesi muhtemeldir. Dolayısıyla hem 10 yaşından küçüklerin tanım gereği zombi olma olasılığının dışlanması hem de zarar eden daha yaşlı şirketlerin yüksek büyüme potansiyeline sahip olabileceklerinin göz ardı edilmesi sebebiyle, ikinci yaklaşımın öncü çalışması olan McGowan ve diğerleri (2017)'de yer alan 10 yaş kuralı zombi ve zombi olmayan şirketleri ayırmada yeterli görülmemektedir.

Banerjee ve Hofmann (2020) tarafından kullanılan yöntemde 10 yaş kriteri, gelecekte büyüme potansiyeli bulunan genç ve büyüyen şirketlerin yüksek Tobin Q oranı yoluyla tespit ediliyor olması sebebiyle kaldırılmıştır. Ancak GBS veri setinde yer alan bilgilerle Tobin Q oranı hesaplanamamaktadır. Bu nedenle çalışmada, Storz ve diğerleri (2017) takip edilerek, önceki yıla göre yatırımları brüt olarak yüzde 10^{3*} ve daha fazla artan şirketler büyüyen şirket olarak değerlendirilmekte ve faiz karşılama oranı birin altına düşse dahi zombi olarak sınıflandırılmamaktadır. Fakat hesaplamalarda, her şirketin amortisman politikalarının farklı olabileceği düşüncesinden hareket edilerek, her bir varlığın amortisman payları düşülmeden önceki toplam değeri dikkate alınmaktadır. Storz ve diğerleri (2017) çalışmasında ise, zombi şirketlerin iki yıl üst üste net yatırım tutarının negatif olması koşulu aranmıştır. Bu koşul, sağlıklı şirketlerden, en az amortisman tutarı kadar ilave yatırım yapmalarının beklenilmesi sebebiyle getirilmiştir. Ancak, ilave yatırım yapmayan ve hiç amortisman ayırmayan zombi şirketlerin net yatırım tutarı negatif olmayacağından, sağlıklı şirket olarak sınıflandırılması hatasına düşülebilir. Bu nedenle, bu çalışmada brüt yatırımlara odaklanılmaktadır. Aynı zamanda, genç şirketlerin yatırım projelerinin getiri sağlaması için daha zamana ihtiyaçları bulunmaktadır (McGowan ve diğerleri, 2017: 16). Ancak yatırım kriteri bu sorunu aştığından yaş koşulunun kullanılmasına gerek duyulmamaktadır.

Önceki yıllarda yoğun yatırım harcaması yapan ve bu yatırım harcamalarını hızlı bir şekilde amortismanına tabi tutan şirketlerin faiz karşılama oranı azalacağından, hatayla zombi şirket olarak sınıflandırılma ihtimali

* Yatırımdaki artışın yüzde 10 ve daha fazla olması şartı, kapasitede belirgin bir artışın hedeflenmesi sebebiyle getirilmiştir. Diğer taraftan, yatırım artışında sadece sabit varlıklara odaklanılmış, cari varlıklarla ilgilenilmemiştir. Gelecekte nakit akışı sağlayacak olan şirketler elenmek istenildiğinden, gelecekte hasılat ve nakit sağlayacak olan üretimi artıracak varlıklar dikkate alınmıştır.

artmaktadır. Bu sebeple faaliyet ölçüsü olarak faiz, amortisman ve vergi öncesi karların kullanılması gerektiği de savunulmaktadır (Rodano ve Sette, 2019: 6). GBS'de, ilgili yılda ayrılmış amortisman gideri bilgileri yer almadığından; faiz, amortisman ve vergi öncesi kar tutarı hesaplanamamaktadır. Ancak, zombi belirleme modelinde yatırım harcamalarının bir kriter olarak ele alınmasıyla, yüksek yatırım yapan ve dolayısıyla ayırdıkları amortisman tutarı yüksek olan şirketler zombi şirket olarak sınıflandırılmayacağından, amortisman sebebiyle faiz karşılama oranının azalmasının, analiz sonuçlarını zayıflatıcı herhangi bir etkisinin bulunmayacağı söylenebilir.

Sonuç olarak, bir şirketin zombi şirket olarak sınıflandırılabilmesi için, üç yıl üst üste; faiz karşılama oranının birden az olması ve yatırım oranının brüt olarak yüzde 10'dan daha düşük olması şartları aranmaktadır. Diğer yandan, mikro veri setinin başlangıç yılı 2007 ve en son verilerin açıklandığı yıl 2022 olduğundan, zombi şirket payları 2009-2022 dönemi için hesaplanabilmektedir. Bir diğer ifadeyle, bir şirket 2007, 2008 ve 2009 yıllarında belirtilen şartları sağlamışsa, 2009 yılında zombi şirket olarak sınıflandırılmaktadır. Dolayısıyla ilk zombi şirket varlığının tespit edilebildiği yıl 2009 ve son yıl 2022'dir.

3.3. Zombi Şirketlerin Verimlilik Üzerine Etkileri

Zombi şirketlerin varlık ağırlıklı paylarındaki artışın, sektörün ortalama verimliliği üzerindeki etkisinin incelendiği analizde kullanılan tek değişkenli sektör ve yıl sabit etkili panel regresyon modeli aşağıdaki gibidir:

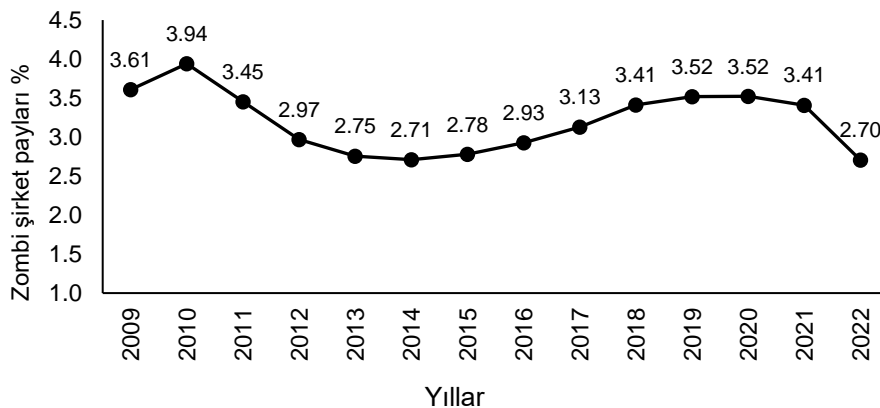
$$Y_{it} = \alpha_i + \beta X_{it} + \delta_t + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

Eşitlik 1'de Y sektör verimliliğini temsil eden bağımlı değişkeni (sektör verimliliğinin doğal logaritması), α sabit katsayısı, β eğim katsayısını, X sektördeki varlık ağırlıklı zombi payından oluşan bağımsız değişkeni, δ tüm sektörleri aynı şekilde etkileyen zamana özgü etkileri, μ sektöre özgü etkileri ve ε hata terimini temsil etmektedir. Ayrıca, alt indis i yatay kesit boyutunu göstermekte olup, bu modelde sektörleri; t ise zaman serisi boyutu olup, yılı ifade etmektedir. Analizlerde kullanılan bağımlı ve bağımsız değişkenlerin tanımları ve açıklamaları Tablo 1'de yer almaktadır.

Analizde ilgilenilen temel katsayı β katsayısı olup, sektördeki zombi payı (X) arttıkça Y değişkeni ile temsil edilen sektör verimliliğindeki esnekliği ölçmektedir. Sektörde varlık ağırlıklı zombi payındaki artış hem verimli şirketlerin sektöre girişini hem de sektördeki mevcut verimli şirketlerin finansmana ve insan sermayesine erişimini dışlayacağından (McGowan ve diğerleri, 2017: 20), söz konusu sektördeki ortalama verimliliğin azalması beklenmektedir. Aynı zamanda zombi şirketlerin kendilerinin de verimliliği düşük şirketler olmaları nedeniyle, bu şirketlerin payındaki artışın, düşük verimlilikle faaliyetlerini sürdürmeleri sonucu sektörün ortalama verimliliğini düşüreceği tahmin edilmektedir (Caballero ve diğerleri, 2008). Bu sebeple tüm bağımlı değişkenler için gerçekleştirilen analiz sonuçlarında, β katsayısının işaretinin negatif elde edilmesi beklenmektedir.

4. BULGULAR

Türk imalat sektöründe (Nace 10-33, 12 ve 19 hariç) analiz dönemi boyunca (2009-2022) hesaplanan zombi şirket paylarının seyri Şekil 1'de verilmiştir. Burada zombi şirket payı, zombi şirket belirleme kriterlerine uygun olarak tespit edilen zombi şirket sayısının toplam şirket sayısına oranını vermektedir.



Şekil 1. Türk imalat sektöründe zombi şirket payları

Şekil 1 incelendiğinde, ilk tespit yapıldığı yıl olan 2009'da yüzde 3,61 düzeyinde gerçekleşen zombi şirket payının küresel finansal kriz sonrası dönemde artarak, 2010 yılında örneklem döneminin en yüksek seviyesi olan yüzde 3,94'e yükseldiği görülmektedir. Bu durum, küresel finansal krizin imalat sanayi şirketlerinin finansal performansı üzerinde olumsuz bir etki meydana getirdiğine işaret edebilir. Ancak paylar 2010

yılından sonra yaşanan toparlanmayla beraber, 2014 yılında yüzde 2,71 seviyesine kadar inmeyi başarmıştır. Bu yıldan sonra zombi şirket payları yeniden yukarı doğru hareket etmeye başlamıştır. Türkiye’de 2014 sonrası dönemde yaşanan olumsuz jeopolitik gelişmeler, darbe girişimi, küresel piyasalardaki ekonomik ve politik belirsizlikler ülke içerisindeki ekonomik faaliyetlerin aksamasına neden olmuştur. Bu olumsuz tabloyla mücadele amacıyla, yurt içi talebi ve ekonomiyi canlandırmaya yönelik aktif maliye politikası izlenmiştir. Bu çerçevede çeşitli vergi kolaylıkları, SGK primlerinin ertelenmesi, şirketlerin finansmana erişim imkânlarının kolaylaştırılması gibi makro ihtiyati tedbirler uygulamaya konulmuştur (T.C. Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2019: 21) Bütün bu destekler zombi şirketlerin hayatta tutulmasını sağladığından, zombi şirket paylarındaki artış eğilimini açıklayabilir.

Türk imalat sektöründe 2014 sonrası yükselmeye başlayan zombi şirket payları, 2019 ve 2020 yıllarında yüzde 3,52 düzeyinde yatay bir seyir izlemiş ve bu yıldan sonra yeniden düşüş eğilimine girmiştir. Bu dönemin pandeminin yaşandığı ve etkilerinin görüldüğü yıllar olduğu göz önünde bulundurulduğunda; paylarda görülen aşağı yönlü seyrin sebebinin, pandemiyle mücadele etmek için diğer ülkelerde olduğu gibi Türkiye’de de benimsenen sıkı karantina politikasının, birçok şirketin faaliyetleri üzerinde daraltıcı bir etki meydana getirmesinden kaynaklı olabileceği söylenebilir. Bu kısıtlamaların neden olduğu satışlardaki ve gelirlerdeki düşüşün ardından, likidite sıkıntısı çeken birçok şirket iflas etmek durumunda kalmıştır (Schivardi ve diğerleri., 2020: 569). Bu durumun ve ilave olarak Türkiye’de borçlanma faiz oranlarının nispeten yüksek seyretmesinin, zombi şirketlerin ağırlığında bir azalma yaratması muhtemel görünmektedir.

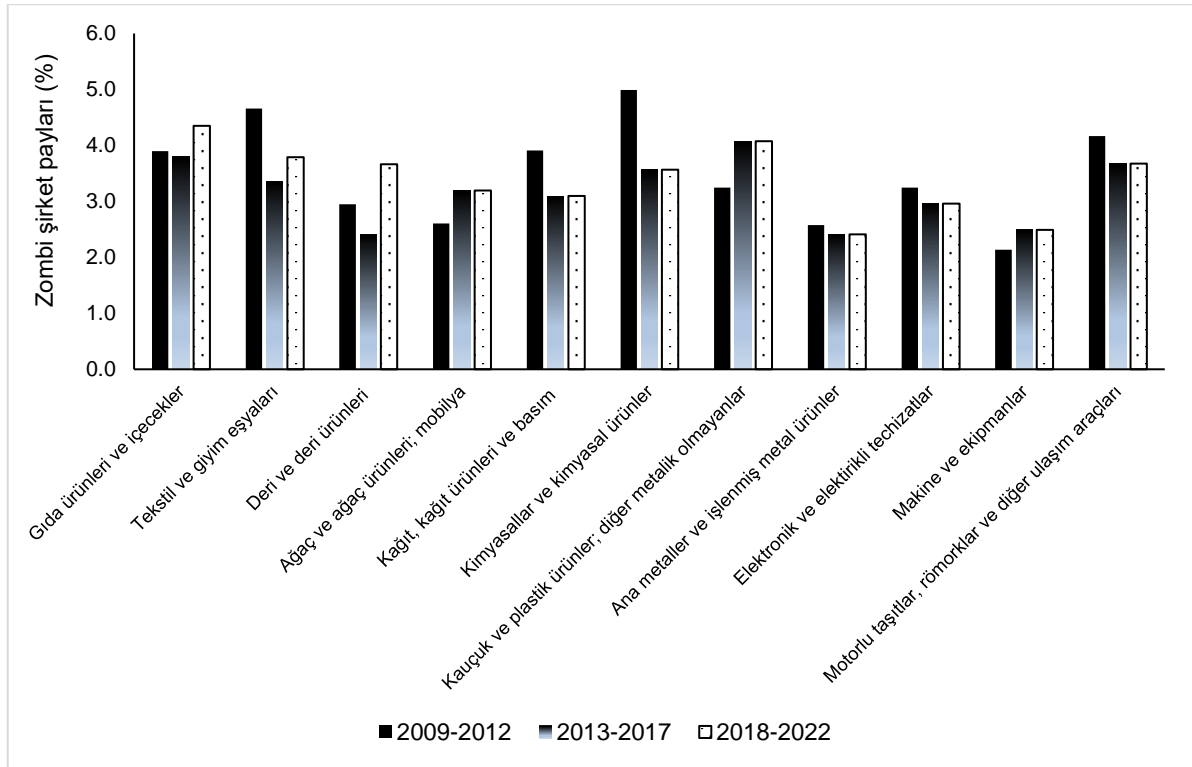
Zombi şirket belirleme modeline uygun olarak tespit edilen zombi şirketlerin imalat alt sektörleri itibarıyla dağılımı Şekil 2’de yer almaktadır. Zombi şirket paylarının görünümünü kolaylaştırmak amacıyla, 14 yıllık analiz dönemi (2009-2022), farklı dilimlere ayrılarak, her bir dilimdeki ortalamalar verilmiştir. Aynı zamanda benzer nitelikli alt sektörler gruplandırılmıştır.

Zombi şirketlerin imalat alt sektörleri bazında payları incelendiğinde; Türkiye’de kimya sanayi başta olmak üzere, ulaşım araçları imalatı, gıda imalatı ile tekstil ve giyim eşyaları sektörlerinde faaliyet gösteren şirketlerin nispeten daha yüksek payının zombi şirket statüsünde olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar, Çin ekonomisi üzerinde sektörel araştırma yapan Geng ve diğerleri (2021)’nin bulgularıyla uyumludur. Özellikle gıda imalatıyla tekstil ve giyim eşyaları gibi emek yoğun sektörlerde daha yüksek zombi şirket paylarının yakalanmasında, istihdamı korumaya yönelik destek ve teşviklerin etkisi bulunabilir. Ulaşım araçları imalatı ve kimya sanayinde yer alan şirketlerin de varlık açısından büyük olabilecekleri göz önünde bulundurulduğunda, bu şirketlerin hem bankalarla kredi ilişkilerinin daha güçlü olabileceği hem de paydaşlara verebilecekleri zararlar nedeniyle iflas etmeleri istenmeyeceğinden (Gouveia ve Osterhold, 2018: 8) zombi şirket haline gelmelerinin daha kolay olabileceği söylenebilir. Türkiye örneği üzerinde çalışma gerçekleştiren Dinçer ve diğerleri (2023) de gıda, tekstil ve hazır giyim gibi düşük teknoloji imalat alt sektörlerinde daha fazla zombi şirketin barındığını saptamışlardır. Bu sektörlerin Türkiye’nin en büyük ve ihracat yoğun imalat sektörlerini kapsadığı dikkate alındığında, zombi şirketlerin olası zararlı etkilerinin ülkenin ekonomik büyüme görünümü açısından sorun teşkil edebileceği de dile getirilmiştir.

Şekil 2 ayrıca, analiz dönemi olan 2009-2022 boyunca ortalama olarak metal ve makine-ekipman imalatı sektörlerinde daha az zombi şirket paylarının olduğunu göstermektedir. Metal sanayinin kısıtlı doğal kaynaklara bağımlı olması nedeniyle fiyat dalgalanmalarına açık olmasına rağmen inşaat ve alt yapı gibi sektörlerde önemli bir girdi sağlaması, özellikle artan kamu ve inşaat yatırımları nedeniyle bu sektörün olumsuz koşullardan daha az etkilenmesini sağlamış olabilir. Bu durum, metal sanayinde daha az zombileşmeyi açıklayabilir. Makine imalatı alanında faaliyet gösteren şirketlerin de görece küçük ve orta ölçekli işletmeler olduğu düşünüldüğünde, kaynaklara erişim açısından dezavantajlı durumda olan bu grupta daha az zombi şirket oluşması mümkündür.

Türkiye’de zombi şirket payları ilk dönemde yüzde 5,0 seviyesinden sonraki dönemlerde yüzde 3,6 seviyesine düşerek en fazla azalışın yaşandığı sektör kimya sanayii olmuştur. Dönemler boyunca zombi şirket paylarında en fazla artış ise ilk dönemde yüzde 3,2’den sonraki dönemlerde yüzde 4,1’e yükselen plastik imalatı sektöründe yaşanmıştır.

Zombi şirketlerin faaliyet gösterdikleri sektörlerin ortalama verimliliği üzerindeki etkilerinin incelendiği panel veri analizlerinde, tesadüfi veya sabit etkiler modellerinden hangisinin kullanılacağına karar verebilmek için açıklayıcı değişkenlerle birim etki arasında korelasyon olup olmadığının tespiti amacıyla Hausman testi yapılmıştır. Her bir verimlilik ölçüsünü temsil eden bağımlı değişkenlerin farklı olduğu regresyon modelleri için gerçekleştirilen Hausman testi sonuçları Tablo 2’de sunulmuştur. Test sonuçlarını takiben, tesadüfi etkiler modelinin daha uygun olduğunu varsayan H_0 hipotezi reddedilerek ($p < 0.05$), sabit etkili panel modellerin kullanılmasına karar verilmiştir.



Şekil 2. Türk imalat alt sektörleri itibariyle zombi şirket payları

Tablo 2. Model seçimi için Hausman testi sonuçları

Bağımlı Değişken	Ki-kare İstatistik Değeri	(P) Olasılık Değeri
Çalışan başına katma değer	3,27	0,0077
Emek maliyeti başına katma değer	6,40	0,0114
Çalışan başına üretim	3,31	0,0069
Çalışılan saat başına üretim	3,71	0,0053
Katma değer in üretim değerine oranı	3,69	0,0000

Regresyon analizlerinin temel varsayımlarından biri, farklı gözlemler için aynı hata terimleri arasında korelasyon olmamasıdır. Eğer hata terimleri birbirleri ile korelasyonlu ise bu durum otokorelasyon olarak adlandırılmaktadır. Otokorelasyon için yapılan Wooldridge test sonuçları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Otokorelasyon için Wooldridge test sonuçları

Bağımlı Değişken	F Değeri	(P) Olasılık Değeri
Çalışan başına katma değer	24,471	0,0001
Emek maliyeti başına katma değer	58,857	0,0000
Çalışan başına üretim	1295,83	0,0000
Çalışılan saat başına üretim	74,437	0,0000
Katma değer in üretim değerine oranı	13,78	0,0000

Tablo 3 incelendiğinde, olasılık (p) değerlerinin 0,05'ten küçük olduğu görülmektedir. Bu nedenle yüzde beş anlamlılık düzeyinde hata terimleri arasında otokorelasyon olmadığını ileri süren H_0 hipotezi reddedilerek hata terimleri arasında otokorelasyon olduğu kabul edilmektedir. Regresyon analizlerinin bir diğer temel varsayımı ise, hata terimlerinin varyansının bütün örneklem için sabit kalması, bir diğer ifadeyle sabit varyans durumudur. Panel veri setinde değişen varyans olup olmadığı değiştirilmiş Wald testi ile araştırılmış olup, sonuçlar Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4. Değişen varyans için değiştirilmiş Wald testi

Bağımlı Değişken	Ki-kare İstatistik Değeri	(P) Olasılık Değeri
Çalışan başına katma değer	1043,18	0,0000
Emek maliyeti başına katma değer	4003,44	0,0000
Çalışan başına üretim	1295,83	0,0000
Çalışılan saat başına üretim	1036,00	0,0000
Katma değer in üretim değerine oranı	667,61	0,0000

Tablo 4'ten olasılık (p) değerlerinin 0,05'ten küçük olduğu görülmektedir. Bu sonuca istinaden, yüzde beş anlamlılık düzeyinde hata terimleri arasında değişen varyans olmadığını ileri süren H_0 hipotezi reddedilerek, hata terimleri arasında değişen varyans olduğu kabul edilmektedir.

Panel veri setinde otokorelasyon ve değişen varyans olması halinde standart hataların, t ve F istatistiklerinin, R^2 değerinin ve güven aralıklarının geçerliliği etkilenmektedir. Bu nedenle söz konusu varsayımlardan sapmanın ya standart hatalar düzeltilerek (dirençli standart hatalar elde edilmeli) ya da uygun yöntemlerle tahmin yapılarak gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir. Tüm analizlerde Stata 14 programından yararlanılmış olup, bu programda "cluster" komutu ile otokorelasyon ve değişen varyansa dirençli standart hatalar kullanılmıştır (Tatoğlu, 2021: 79). Diğer yandan yatay kesit bağımlılığı uzun dönemli zaman serilerinden (20-30 yıl) oluşan makro paneller için bir problem olarak görüldüğünden (Torres-Reyna, 2007) önemli kabul edilmemiş ve test edilmemiştir.

Tablo 5. Tanımlayıcı istatistikler

<i>Değişken</i>	<i>Gözlem Sayısı</i>	<i>Ortalama</i>	<i>Std. Sapma</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maksimum</i>
Çalışan başına katma değer	308	10,76809	0,615182	9,584229	12,39874
Emek maliyeti başına katma değer	284	0,673031	0,300806	0,122218	1,985131
Çalışan başına üretim	308	4,612156	0,136461	4,087991	5,034612
Çalışılan saat başına üretim	308	4,630276	0,174272	4,063885	5,116256
Katma değer in üretim değerine oranı	277	4,689848	0,149106	4,146146	5,361668
Varlık ağırlıklı zombi payı	308	0,061193	0,088984	0,001002	0,648727

Tablo 5 tanımlayıcı istatistikleri içermektedir. Bazı alt sektörler için bazı yıllara ait verimlilik verileri mevcut olmadığından, değişkenlerin gözlem sayıları farklılık gösterebilmektedir. Tablo 6 ise, varlık ağırlıklı zombi payının bağımsız değişken ve verimliliği temsil eden çalışan başına katma değer, emek maliyeti başına katma değer, çalışan başına üretim, çalışılan saat başına üretim ve katma değer in üretim değerine oranının bağımlı değişken olduğu Eşitlik 1'e ait beş farklı test sonucunu vermektedir.

Tablo 6. Panel regresyon sonuçları

<i>Değişkenler</i>	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	<i>Çalışan Başına Katma Değer</i>	<i>Emek Maliyeti Başına Katma Değer</i>	<i>Çalışan Başına Üretim</i>	<i>Çalışılan Saat Başına Üretim</i>	<i>Katma Değer in Üretim Değerine Oranı</i>
Varlık Ağırlıklı Zombi Payı	-0,475***	-0,517***	-0,136	-0,134	-0,446***
Sabit	(0,100)	(0,0745)	(0,0820)	(0,0824)	(0,128)
Gözlem Sayısı	10,54***	0,640***	4,460***	4,410***	4,672***
R^2	(0,0453)	(0,0339)	(0,0313)	(0,0284)	(0,0351)
	308	284	308	308	277
	0,712	0,599	0,466	0,698	0,426

Not: ***, **, * sembolleri sırasıyla yüzde 1, yüzde 5 ve yüzde 10 anlamlılık düzeyinde istatistiksel geçerliliği ifade etmektedir.

Tablo 6'nın bir, iki ve beş numaralı sütunlarından görüldüğü üzere, katma değer (TL) cinsinden hesaplanan verimlilik ölçülerinin kullanıldığı tüm regresyon analizleri sonucunda zombi payı (x) değişkeninin yanındaki β katsayısının işareti negatif tespit edilmiştir. Bu sonuç, varlık ağırlıklı zombi payındaki yüzdelik artışın, sektörün ortalama verimliliğini anlamlı bir şekilde azalttığını göstermektedir. Ancak üç ve dört numaralı sütunlar, varlık ağırlıklı zombi paylarındaki yüzdelik artışın, brüt çıktı (miktar) cinsinden ele alınan sektör verimliliği üzerinde anlamlı bir etkisinin bulunmadığını ortaya koymaktadır.

Daha detaylı bir incelemede, bir numaralı sütundan takip edileceği gibi, katsayısı -0,475 olan varlık ağırlıklı zombi payı bağımsız değişkenine ait olasılık değerinin yüzde bir seviyesinde istatistiksel olarak anlamlı olması, varlık ağırlıklı zombi payının çalışan başına katma değeri negatif yönlü etkilediğini göstermektedir. Bir başka ifadeyle, sektördeki varlık ağırlıklı zombi payındaki yüzde birlik bir artış, sektörün ortalama çalışan başına katma değeri üzerinde yüzde 0,475'lik bir azalışa neden olmaktadır. Katsayıların altında yer alan parantez içerisindeki değerler ise standart hataları vermektedir. Ayrıca, R^2 değerinin 0,712 olarak gerçekleşmiş olması, bağımsız değişkenin bağımlı değişkendirdeki değişimin yüzde 71,2'sini açıklayabildiği anlamına gelmektedir. Bu yorumu β katsayısının istatistiksel olarak anlamlı çıktığı iki ve beş numaralı sütunlarda yer alan farklı verimlilik ölçüleri için de yapmak mümkündür. Buna göre, varlık ağırlıklı zombi payının yüzde bir artması, sektördeki ortalama emek maliyeti başına katma değeri yüzde 0,517 ve katma değer in üretim değerine oranını yüzde 0,446 azaltmaktadır.

Tablo 7, zombi şirket paylarındaki artışın sektörün ortalama verimliliği üzerindeki etkisine yönelik teorik beklentiler ile elde edilen bulguların karşılaştırmasını vermektedir. Negatif etkinin elde edildiği sonuçlar;

Caballero ve diğerleri (2008), Kwon ve diğerleri (2015), Papava (2010), Dai ve diğerleri (2019), Tan ve diğerleri (2016), Gouveia ve Osterhold (2018), Carreira ve diğerleri (2021), McGowan ve diğerleri (2017), Banerjee ve Hofmann (2018), Andrews ve Petroulakis (2017) ile Dinçer ve diğerleri (2023) çalışma sonuçlarıyla uyumludur.

Tablo 7. Analiz sonuçlarına ilişkin beklenen ve elde edilen bulguların karşılaştırılması

<i>Değişkenler</i>	<i>Beklenen Bulgu</i>	<i>Elde Edilen Bulgu</i>
Çalışan başına katma değer	-	-
Emek maliyeti başına katma değer	-	-
Çalışan başına üretim	-	Anlamsız
Çalışılan saat başına üretim	-	Anlamsız
Katma değer in üretim değerine oranı	-	-

5.SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Verimlilik, teknoloji düzeyinin ve üretim sürecine giren işgücü ve sermaye dışındaki tüm faktörlerin bir göstergesidir. Yaşam standartlarının artırılması için gerekli olduğu gibi, faktör birikiminden kaynaklanan büyüme olanağı daha az olan, özellikle gelişmiş ekonomiler için daha da önemlidir. Çünkü, işgücü artışı ve sermaye birikimi gelişmekte olan ekonomilere nazaran kısıtlı olan gelişmiş ekonomilerde, bu iki faktörün mümkün olan en verimli şekilde kullanılması, bir başka ifadeyle kaynakların etkin tahsisinin sağlanması ekonomik büyüme için büyük öneme sahiptir (Gregory ve diğerleri, 2022: 1).

Ekonomik büyümenin uzun dönemli temel faktörü olarak görülen verimlilik artışı, kaynakların etkin tahsisinin sağlanamaması nedeniyle büyük ölçüde sınırlanabilmektedir. Şirket düzeyinde yapılan çalışmalar, “zombi şirket” olarak nitelendirilen verimsiz şirketlerin üretim faktörlerini haksız yere ellerinde tutarak, verimsiz şirketleri verimliliklerini artırmaya ya da piyasadan çıkmaya zorlayacak yaratıcı yıkım sürecini baltaladıklarını ortaya çıkarmıştır (Caballero ve diğerleri, 2008; McGowan ve diğerleri, 2017). Nihayetinde, yaratılan bu haksız rekabet ortamı, hem piyasada yerleşik olan verimli şirketlerin büyüme olanaklarını daraltarak hem de piyasa tıkanıklığı oluşturup verimli yeni şirketlerin piyasaya girişini engelleyerek, verimlilik artışını olumsuz etkilemektedir (Logarusic ve Kristic, 2022).

Çalışmada, ekonomik büyümeyi sağlayan verimlilik artışı üzerinde zombi şirketlerin zararlı etkilerinin olduğuna yönelik zombi şirket literatüründe yer alan bulgulardan yola çıkılarak; aynı etkinin Türk ekonomisinde mevcut olup olmadığı incelenmiştir. Bu kapsamda ilk olarak, bu şirketleri doğru ve pratik tanımlayabilecek bir yöntem geliştirilmiş ve üç yıl üst üste; faiz karşılama oranı birden az olan ve yatırım oranı brüt olarak yüzde 10'dan daha düşük olan şirketler zombi olarak sınıflandırılmıştır.

2009-2022 dönemi için gerçekleştirilen analiz sonucunda; Türk imalat sektöründe 2009'da yüzde 3,61 düzeyinde gerçekleşen zombi şirket payının küresel finansal kriz sonrası dönemde artarak, 2010 yılında örneklem döneminin en yüksek seviyesi olan yüzde 3,94'e yükseldiği, bu yıldan sonra yaşanan toparlanmayla beraber, 2014 yılında yüzde 2,71 seviyesine kadar inmeyi başardığı, ancak Türkiye'de ve küresel çapta yaşanan ekonomik ve politik sorunların eşlik ettiği 2014-2019 arası dönemde sürekli artışın yaşandığı, karantina önlemlerinin gelir düşüşü ve likidite sıkıntısı yarattığı pandemi dönemi olan 2019 ve 2020 yıllarında yüzde 3,52 düzeyinde yatay bir seyir izleyip, bu yıldan sonra aşağı yönlü harekete geçtiği saptanmıştır.

İmalat alt sektörleri itibarıyla zombi şirket paylarının değerlendirilmesi neticesinde ise, Türkiye'de kimya sanayi başta olmak üzere, ulaşım araçları imalatı, gıda imalatı ile tekstil ve giyim eşyaları sektörlerinde faaliyet gösteren şirketlerin nispeten daha yüksek payının zombi şirket statüsünde olduğu ortaya konulmuştur. Diğer yandan, metal ve makine-ekipman imalatı alt sektörlerinde zombi payları daha düşük gerçekleşmiştir. Ayrıca ilk dönemde zombi şirket payları yüzde 5,3 seviyesinden sonraki dönemlerde yüzde 3,6 seviyesine düşerek en fazla azalışın yaşandığı sektör kimya sanayii olurken, en fazla artış ise ilk dönemde yüzde 3,2'den sonraki dönemlerde yüzde 4,1'e yükselen plastik imalatı sektöründe yaşanmıştır.

Zombi şirketlerin faaliyet gösterdikleri sektörlerin ortalama verimliliği üzerinde meydana getirdikleri etkilerinin incelendiği panel veri analizi sonucunda ise; zombi payındaki yüzdeler artışın, sektörün katma değer cinsinden hesaplanan ortalama verimliliğini anlamlı bir şekilde azalttığı, brüt çıktı cinsinden hesaplanan verimlilik üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Bir diğer ifadeyle, sektördeki varlık ağırlıklı zombi payının yüzde bir artması, sektördeki ortalama çalışan başına katma değeri yüzde 0,475, emek maliyeti başına katma değeri yüzde 0,517 ve katma değer in üretim değerine oranını yüzde 0,446 azaltmakta, ancak çalışan başına üretim ve çalışılan saat başına üretim üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi bulunmamaktadır.

Sektördeki zombi şirket payıyla sektörün ortalama verimliliği arasında negatif ilişkinin olduğuna yönelik tespit edilen sonuçlar; Caballero ve diğerleri (2008), Kwon ve diğerleri (2015), Papava (2010), Dai ve

diğerleri (2019), Tan ve diğerleri (2016), Gouveia ve Osterhold (2018), Carreira ve diğerleri (2021), McGowan ve diğerleri (2017), Banerjee ve Hofmann (2018), Andrews ve Petroulakis (2017) ile Dinçer ve diğerleri (2023) çalışma sonuçlarıyla uyumludur.

Çalışmada bazı verimlilik istatistiklerinin sadece imalat alt sektörleri için açıklanması, bazılarının da diğer sektörleri içermesine rağmen Nace Rev. 2'ye uygun olarak iki haneli sektör sınıflandırmasına göre yapılmaması sebepleriyle sadece imalat alt sektörleri incelenmiş, diğer sektörlerde de zombi şirketlerin benzer etkilerinin bulunup bulunmadığı araştırılmamıştır. Bu durum, çalışmanın temel kısıtı olarak nitelendirilebilir. Sonraki çalışmalar, zombi şirket paylarındaki artışın imalat dışındaki diğer sektörlerin ortalama verimliliği üzerindeki etkilerine odaklanabilir. Bununla beraber, literatürden yola çıkılarak çalışmada tek değişkenli basit regresyon modeli uygulanmış, sektör verimliliği üzerinde zombi payları dışında etkili olabilecek faktörler ihmal edilmiştir. İleride yapılacak çalışmalar, bu etkileri de dikkate alabilir. Son olarak, bu çalışma zombi şirketlerin sektörel verimlilik üzerindeki zararlı etkilerini göstermesi açısından, politika yapıcıların uzun dönemli ekonomik büyümenin sağlanması ve sürdürülebilmesi amacıyla zombi şirketlerin oluşumunu engelleyecek veya piyasadan çıkışlarını teşvik edecek gerekli düzenlemeleri yapmalarına katkı sağlayabilir.

Yazar Katkıları / Author Contributions

Zeynep Kaplan: Literatür taraması, Kavramsallaştırma, Metodoloji, Veri Derleme, Analiz, Makale Yazımı- orijinal taslak Emine Ebru Aksoy: Modelleme, Makale Yazımı-inceleme ve düzenleme Zeynep Kaplan: Literature review, Conceptualization, Methodology, Data Curation, Analysis, Writing-original draft Emine Ebru Aksoy: Modelling, Writing-review and editing

Çatışma Beyanı / Conflict of Interest

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

Fon Desteği / Funding

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

Etik Standartlara Uygunluk / Compliance with Ethical Standards

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

Etik Beyanı / Ethical Statement

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



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

KAYNAKÇA

- Andrews, D., ve Petroulakis, F. (2017). "Breaking The Shackles: Zombie Firms, Weak Banks and Depressed Restructuring in Europe". OECD Economics Department Working Papers, No. 1433, OECD Publishing, Paris.
- Banerjee, R. ve Hofmann, B. (2018). "The Rise of Zombie Firms: Causes and Consequences", *BIS Quarterly Review*, Bank for International Settlements, September.
- Banerjee, R. ve Hofmann, B. (2020). "Corporate Zombies: Anatomy and Life Cycle", Bank for International Settlements.
- Belullo, A., Broz, T. ve Ridzak, T. (2017). "Are Zombies Productive or Not?", *8th International Conference "Future World by 2050"*, Pula, Hırvatistan.
- Caballero, R.J., Hoshi, T. ve Kashyap, A. (2008). "Zombie Lending and Depressed Restructuring in Japan", *The American Economic Review*, 98(5), 1943-1977.
- Carreira, C., Teixeira, P. ve Nieto-Carrillo, E. (2021). "Recovery and Exit of Zombie Firms in Portugal", *Small Business Economics*, 59, 491-519.
- Dai, Y., Li, W. ve Wang, Y. (2019). "How Do Zombie Firms Affect Innovation? Evidence from China's Industrial Firms", *VoxChina*: <https://www.voxchina.org/show-3-128.html>, (Erişim Tarihi:12.03.2024)
- Dinçer, N.N., Pektekin, P. ve Tekin-Koru, A. (2023). "Long Shadow of the Walking Dead on Economic Activity", *Central Bank Review*, 23(4), 100140.
- Fukuda, S. ve Nakamura, J. (2011). "Why Did Zombie Firms Recover in Japan?", *The World Economy*, 34(7), 1124-1137.
- Geng, Y., Liu, W. ve Wu, Y. (2021). "How Do Zombie Firms Affect China's Industrial Upgrading?", *Economic Modelling*, 97, 79-94.
- Gouveia, A. ve Osterhold, C. (2018). "Fear the Walking Dead: Zombie Firms, Spillovers and Exit Policies", OECD Productivity Working Papers, No. 13, OECD Publishing, Paris.
- Gregory, C., Mouel, M. ve Sgaravatti, G. (2022). "The Low Productivity of European Firms: How Can Policies Enhance the Allocation of Resources", Bruegel Working Paper.
- Hoshi, T. ve Kim, Y. (2012). "Macroprudential Policy and Zombie Lending in Korea", *Asian Bureau of Finance and Economic Research*, 1-33.
- Imai, K. (2016). "A Panel Study of Zombie SMEs in Japan: Identification, Borrowing and Investment Behavior", *Journal of The Japanese and International Economies*, 39, 91-107.
- Kwon, H.U., Narita, F. ve Narita, M. (2015). "Resource Reallocation and Zombie Lending in Japan in the 1990s", *Review of Economic Dynamics*, 18(4), 709-732.
- Logarusic, M. ve Kristic, I.R. (2022). "The Impact of Zombie Companies on the Performance of Healthy Companies and Economies in Selected Countries of Central and Eastern Europe", *Ekonomski Pregled*, 73(2), 157-185.
- McGowan, M.A., Andrews, D. ve Millot, V. (2017). "The Walking Dead? Zombie Firms and Productivity Performance in OECD Countries", OECD Economics Department Working Papers, No. 1372, OECD Publishing, Paris.
- Papava, V. (2010). "Economy of Post-Communist Capitalism under the Financial Crisis", *Studies in Economics and Finance*, 27(2), 135-147.
- Rashid, S., Khan, K.I., Nasir, A. ve Rashid, T. (2022). "Unveiling Living Dead: Characteristics and Consequences of Zombie Firms", *Cogent Business & Management*, 9(1), 2121240.
- Rodano, G. ve Sette, E. (2019). "Zombie Firms in Italy: A Critical Assessment", The Bank of Italy, Number 483.
- Schivardi, F., Sette, E. ve Tabellini, G. (2020). "Identifying the Real Effects of Zombie Lending", CEPR Discussion Paper.
- Silva, A. ve Gonçalves, A. (2022). "How Zombie Firms Affect Healthy Firms: The Case of Portuguese Trade Sector", *Revista Galega de Economía*, 31(3), 1-18.
- Storz, M., Koetter, M., Setzer, R. ve Westphal, A. (2017). "Do We Want These Two to Tango? On Zombie Firms and Stressed Banks in Europe", European Central Bank Working Paper.
- T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2019). "On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023)", Ankara.
- Tan, Y., Huang, Y. ve Woo, W. T. (2016). "Zombie Firms and The Crowding-Out of Private Investment in China", *Asian Economics Paper*, 15(3), 32-55.
- Tatoğlu, F.Y. (2021). "Panel Veri Ekonometrisi Stata Uygulamalı", Beta Yayınları, İstanbul.
- Torres-Reyna, O. (2007). "Panel Data Analysis Fixed and Random Effects Using Stata", <https://www.princeton.edu/~otorres/Stata/statnotes>, (Erişim Tarihi:24.02.2024)

Wang, Y., ve Zhu, Y. (2020). The Financing and Investment Crowding-Out Effect of Zombie Firms on Non-Zombie Firms: Evidence from China. *Emerging Markets Finance and Trade*, 57(7), 1959-1985.

EK

Tablo A1. Analize tabi tutulan imalat alt sektörleri ve toplam şirket sayıları

<i>Nace Kod</i>	<i>Sektör Adı</i>	<i>Şirket sayısı (2007-2022)</i>	<i>Ağırlık (%)</i>
10	Gıda ürünlerinin imalatı	80.143	9,59
11	İçeceklerin imalatı	3.428	0,41
13	Tekstil ürünlerinin imalatı	70.611	8,45
14	Giyim eşyalarının imalatı	78.032	9,33
15	Deri ve ilgili ürünlerin imalatı	17.111	2,05
16	Ağaç, ağaç ürünleri ve mantar ürünleri imalatı (mobilya hariç)	20.973	2,51
17	Kâğıt ve kâğıt ürünlerinin imalatı	17.694	2,12
18	Kayıtlı medyanın basılması ve çoğaltılması	28.782	3,44
20	Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı	28.099	3,36
21	Temel eczacılık ürünlerinin ve eczacılığa ilişkin malzemelerin imalatı	3.310	0,40
22	Kauçuk ve plastik ürünlerin imalatı	58.769	7,03
23	Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı	44.746	5,35
24	Ana metal sanayii	23.986	2,87
25	Fabrikasyon metal ürünleri imalatı (makine ve teçhizat hariç)	111.197	13,30
26	Bilgisayarların, elektronik ve optik ürünlerin imalatı	7.433	0,89
27	Elektrikli teçhizat imalatı	30.389	3,63
28	Başka yerde sınıflandırılmamış makine ve ekipman imalatı	72.681	8,69
29	Motorlu kara taşıtı, treyler (römork) ve yarı treyler (yarı römork) imalatı	22.302	2,67
30	Diğer ulaşım araçlarının imalatı	5.279	0,63
31	Mobilya imalatı	43.074	5,15
32	Diğer imalatlar	26.883	3,22
33	Makine ve ekipmanların kurulumu ve onarımı	41.108	4,92
Toplam		836.030	100,00

İnovasyon ve Toplam Faktör Verimliliği İlişkileri: Yükselen Piyasa Ekonomileri Üzerine Ekonometrik Bir Analiz

Ayşe Yamak¹ 

ÖZET

Amaç: Çalışmanın amacı yükselen piyasa ekonomilerinde inovasyon ile toplam faktör verimliliği arasındaki ilişkinin 2000-2020 dönemi için araştırılmasıdır.

Yöntem: Toplam faktör verimliliğinin açıklanmasında kendi gecikmeli değeri, patent stoku (inovasyon), orta öğretim kayıt oranı (beşerî sermaye), açıklık (ticari liberalizasyon) ve politik risk endeksi (kurumsal kalite) değişkenlerinin kullanıldığı modelin tahmininde, dinamik model tahmin edicilerinden Sistem Genelleştirilmiş Momentler Metodu kullanılmıştır. Uygulamada olası ekonometrik varsayımlardan sapmaları telafi edecek yaklaşımlar da kullanılarak iktisadi, istatistiksel ve ekonometrik beklentilere uygun modeller raporlanmıştır.

Bulgular: Tahmin sonuçlarına göre, teorik beklentilerle de uyumlu bir şekilde, toplam faktör verimliliğinin gecikmeli değeri ve inovasyon, analizde kullanılan tüm ülke panellerinde toplam faktör verimliliği üzerinde pozitif ve anlamlı etkiye sahiptir.

Özgünlük: Bu çalışmanın inovasyon ve toplam faktör verimliliği arasındaki ilişkiye dair ampirik literatüre temel katkılarının: i) yükselen piyasa ekonomileri, gelişmiş ekonomiler ve yükselen Asya ekonomilerinin karşılaştırmalı bir analizinin yapılması, ii) tahminde güncel istatistik verilerin kullanılması ve iii) modelde ticari açıklık, politik risk endeksi ve ortaokul kayıt oranı değişkenleri kullanılarak ticari serbestleşme, kurumsal kalite ve beşerî sermaye faktörlerinin toplam faktör verimliliği üzerindeki etkilerinin incelenmesi olduğu değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Ar-Ge, İnovasyon, Toplam Faktör Verimliliği, Dinamik Panel Veri Analizi, Sistem Genelleştirilmiş Momentler Metodu (GMM), Yükselen Piyasa Ekonomileri.

JEL Kodları: O47, C33, C50.

The Relationship Between Innovation and Total Factor Productivity: An Econometric Analysis on Emerging Market Economies

ABSTRACT

Purpose: This study aims to investigate the relationship between innovation and total factor productivity in emerging market economies for the period 2000-2020.

Methodology: System Generalized Method of Moments, one of the dynamic model estimators, was used to estimate the model in which total factor productivity is explained by its own lagged value, patent stock (innovation), secondary education enrollment rate (human capital), openness (trade liberalization) and political risk index (institutional quality) variables. In addition, approaches to compensate for possible deviations from econometric assumptions in estimation are also used, and models that align with economic, statistical, and econometric expectations are reported.

Findings: According to the estimation results, consistent with the theoretical expectations, the lagged value of total factor productivity and innovation have a positive and significant effect on total factor productivity in all country panels investigated in the analysis.

Originality: The main contributions of this study to the empirical literature on the relationship between innovation and total factor productivity are considered to be: i) conducting a comparative analysis of emerging market economies, advanced economies and emerging Asian economies, ii) using recent statistical data in estimation, and iii) examining the effects of trade liberalization, institutional quality and human capital factors on total factor productivity by using openness, political risk index and secondary school enrollment rate variables in the model.

Keywords: R&D, Innovation, Total Factor Productivity, Dynamic Panel Data Analysis, System Generalized Method of Moment (GMM), Emerging Market Economies.

JEL Codes: O47, C33, C50.

¹ Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Teşvik Uygulama ve Yabancı Sermaye Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye

EXTENDED ABSTRACT

In the neoclassical growth theory, the "Solow residual" is the part of an economy's output growth that cannot be explained by the accumulation of capital and labor as factors of production. Therefore, the Solow residual is often characterized in the literature as a measure of productivity growth resulting from innovation and is also referred to as Total Factor Productivity (TFP). In other words, the TFP is closely related to how efficiently and intensively inputs are used in production and is defined as a measure of productivity growth resulting from technological innovation.

Factors such as R&D activities, human capital and innovation have been considered as endogenous variables in growth models and their effects on economic growth have been analyzed in detail with the development of endogenous growth theories since the 1980s. Moreover, emerging market economies, with their expanding middle classes, increasing consumer demand and developing infrastructures, have been the focus of researchers' attention in recent years. The main motivation of this study is to investigate the relationship between innovation and TFP in emerging market economies within the framework of endogenous growth theories. The main contributions of this study to the empirical literature on the relationship between innovation and TFP are considered to be: i) conducting a comparative analysis of emerging market economies, advanced economies and emerging Asian economies, ii) using recent statistical data in estimation, and iii) examining the effects of trade liberalization, institutional quality and human capital factors on TFP by using trade openness, political risk index and secondary school enrollment rate variables in the model.

Based on the motivation explained above, the main objective of this study is to investigate the relationship between innovation and TFP. The theoretical framework developed by Romer (1990) and Hall and Jones (1999) and the model estimated by Ülkü (2004) are applied for the analysis. In the model estimated for four panels including emerging market economies, emerging Asian economies, advanced economies and all countries, TFP is used as the dependent variable and patent stock, secondary school enrollment rate, openness and political risk index variables are used as explanatory variables. As for the econometric analysis, the System GMM estimator, one of the dynamic panel data analysis methods, was employed for the period 2000-2020.

According to the estimation results, innovation and institutional quality positively affect TFP in all country panels analyzed in this study. The comparison of the estimation results for country groups shows that the highest contribution of innovation and institutional quality to TFP is realized in advanced economies. Moreover, contrary to the emerging market economies panel, trade liberalization has a positive effect on TFP in all countries, advanced economies and emerging Asian economies panels and human capital has a positive effect on TFP in all countries, advanced economies and emerging market economies panels. The panel where both these variables have the highest impact on TFP is developed economies.

The findings are broadly consistent with the empirical literature on the relationship between innovation and TFP. It also indicates that institutional quality has a positive effect on TFP in all panels, suggesting that structural parameters of growth are also important in assessing sustainable economic performance. The results also show that the degree of impact of all the variables included in the estimation on TFP differs according to the income group and the degree of development of the countries. According to this result, it can be inferred that the established know-how culture, human capital accumulation and stability in both trade regulations and institutional quality have a significant impact on TFP. Therefore, it can be inferred that not only taking measures to ensure technological development-innovation, human capital development, global integration and institutional quality, but also the continuity in these policies and measures will contribute significantly to increasing TFP.

Since the empirical analysis is based on the country classifications of the Morgan Stanley Capital International Emerging Market Index (MSCI Emerging Market Index) using annual data for the period 2000-2020, some countries could not be included in the analysis due to lack of data. In future studies, classifications made by other organizations such as IMF, Financial Times Stock Exchange (FTSE), S&P Dow Jones, Emerging Market Global Players (EMGP) or different time periods can be used to overcome this limitation. It is also suggested that this study, in which short-term relationships are estimated, should be carried out for long-term relationships and/or for different country groups. Furthermore, it is considered that it will be useful to diversify the studies on this subject as econometric methodologies and applications develop.

1. GİRİŞ

İlk defa Schumpeter (1934) tarafından, yeni teknolojinin, yeni malzemenin, yeni yöntemlerin ve yeni enerji kaynaklarının ticari uygulamaları olarak tanımlanan inovasyon, üretimde kullanılan kaynakların miktarıyla doğrudan ilişkili olmadığından ekonomik büyümeyi çoğunlukla toplam faktör verimliliği (TFV) yoluyla etkilemektedir.

Neoklasik büyüme teorisinde “Solow artığı (residual)” olarak da adlandırılan TFV, üretimin, üretimde kullanılan girdilerin miktarı ile açıklanamayan kısmıdır. Yani TFV düzeyi, girdilerin üretimde ne kadar etkin ve yoğun bir şekilde kullanıldığı ile yakından ilişkilidir ve teknolojik yenilikten (inovasyondan) kaynaklanan verimlilik artışının bir ölçüsü olarak tanımlanır (Comin, 2010: 301). Bir diğer deyişle üretim düzeyi, faktör girdilerine yapılan yatırımlar ve istihdam artışları yoluyla bir dereceye kadar artırılabilirse de uzun vadede verimlilik artışı, beşerî sermayeye ve araştırma ve geliştirmeye (Ar-Ge) yapılan yatırımlarla ve bu yönde geliştirilen politikalarla sağlanmaktadır (Verbic ve diğerleri, 2011).

1980'lerden itibaren içsel büyüme teorilerinin gelişmesiyle birlikte, Ar-Ge faaliyetleri, beşerî sermaye, inovasyon gibi faktörler büyüme modellerinde içsel bir değişken olarak ele alınmaktadır. Uzun vadeli büyümenin yeni teknolojik bilgi yaratılan ekonomik faaliyetlerden kaynaklandığının öne sürüldüğü bu modellerden, Ar-Ge faaliyetleri, inovasyon ve iktisadi büyüme arasındaki ilişkileri inceleyen öncü çalışmalar ise Romer (1990), Grossman ve Helpman (1991a ve 1991b) ve Aghion ve Howitt (1992) tarafından yapılan çalışmalardır.

Yükselen piyasa ekonomilerinde inovasyonun TFV üzerindeki etkisinin araştırıldığı bu çalışmada, Romer (1990) ve Hall ve Jones (1999) tarafından sunulan teorik çerçeve ve Ülkü (2004) tarafından tahmin edilen modelden yararlanılmıştır. Uygulamada yirmi iki gelişmiş ekonomi ve on yedi yükselen piyasa ekonomisi ülkesinin 2000-2020 dönemi TFV, patent stoku, orta öğretim kayıt oranı, açıklık ve politik risk endeksi değişkenlerine ait yıllık veriler kullanılmıştır. TFV, Ülkü (2004)'de sunulan yaklaşımla Gayri Safi Yurtiçi Hâsıla (GSYİH), yatırım ve istihdam verileri kullanılarak hesaplanmıştır. Dinamik panel veri analizi yöntemlerinden Sistem Genelleştirilmiş Momentler Yöntemi (Generalized Method of Moments - GMM) tahmin edicisinin kullanıldığı ekonometrik analizde, tek aşamalı (ABBB_1) ve iki aşamalı (ABBB_2) Sistem GMM tahminleri, dirençli tahmin edici (R) alternatifleri ile birlikte tahmin edilmiş, istatistiksel, iktisadi ve ekonometrik olarak beklentilere uygun olan modeller yorumlanmıştır.

Bu çalışmanın literatüre temel katkısının inovasyon ve TFV ilişkileri özelinde yükselen piyasa ekonomileri, gelişmiş ekonomiler ve yükselen Asya ekonomilerine ilişkin karşılaştırmalı bir analiz yapılması ve yakın döneme ait istatistiksel verilerin kullanılması olduğu değerlendirilmektedir. Makroekonomik değişkenlerin TFV üzerindeki etkilerinin araştırıldığı çalışmalarda birçok farklı değişken kullanılmaktadır. Bu çalışma ile literatüre sunulan bir diğer önemli katkı, ampirik analizde modele dâhil edilen açıklık, politik risk endeksi ve orta öğretim kayıt oranı değişkenleri ile ticari liberalizasyon, kurumsal kalite ve beşerî sermaye faktörlerinin de TFV üzerindeki etkilerinin incelenmesidir.

Çalışmanın bir sonraki bölümünde inovasyon ve TFV arasındaki ilişkilere ilişkin teorik literatüre, akabinde bu konuda yapılan çalışmalar ve sonuçlarının özet olarak anlatıldığı ampirik literatüre yer verilmiştir. Dördüncü bölümünde analizde kullanılan model, veri, değişkenler ve yöntem açıklanmış, devamında uygulama sonuçları paylaşılmıştır. Sonuç bölümünde ise uygulama sonuçları özetlenerek, ampirik literatürle karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiş, öneriler sunulmuştur.

2. İNOVASYON ve TOPLAM FAKTÖR VERİMLİLİĞİ İLİŞKİSİ: TEORİK LİTERATÜR

Teknolojik gelişimin dışsal değişken olarak ele alındığı neoklasik büyüme modelleri, zamanla ülkeler arasındaki gelişmişlik farklılıklarının açıklanmasında yetersiz görülmeye başlanmış ve yerini içsel büyüme modellerine bırakmıştır. Öncülüğü Romer (1986) ve Lucas (1988) tarafından yapılan içsel büyüme modellerinde, Ar-Ge faaliyetleri, teknolojik yenilik, beşerî sermaye gibi çıktı üzerinde etkiye sahip olan faktörler, içsel bir değişken olarak ele alınmıştır. Bunlardan Romer (1990), Grossman ve Helpman (1991a, 1991b), Aghion ve Howitt (1992) ve Jones (1995) tarafından yapılan çalışmalar ise teknolojik gelişim ile iktisadi büyüme arasındaki ilişkinin ortaya konulduğu öncü çalışmalardır.

Romer (1990) tarafından öne sürülen teoriye göre uzun vadeli büyüme, yeni teknolojik bilgi yaratılan ekonomik faaliyetlerden kaynaklanmaktadır. Araştırma, ara mal ve nihai çıktı olmak üzere üç sektör bulunan ekonomide, araştırma sektörlerinde, yeni bilgi üretmek için insan sermayesi ve mevcut bilgi stoku kullanılır. Ara mal sektöründe, araştırma sektöründen gelen tasarımlar, vazgeçilen çıktıyla birlikte, nihai mal üretiminde kullanılacak çok sayıda dayanıklı yatırım malı üretmek için kullanılır; nihai mal sektöründe ise nihai çıktı üretilir (Romer, 1990). Modele göre nihai çıktı Cobb-Douglas üretim fonksiyonuna dayanmaktadır (Eşitlik 1).

$$Y(H_Y, L, x) = H_Y^\alpha L^\beta \int_0^\infty x(i)^{1-\alpha-\beta} di \quad (1)$$

Burada L işgücü, H_Y üretimde kullanılan beşerî sermaye, x dayanıklı yatırım malları, i ise farklı tipteki bu mallar için endeks olarak tanımlanmıştır. Modele göre araştırma sektöründe yeni tasarımların oluşturulması süreci ise Eşitlik 2'deki denkleme göre gelişmektedir.

$$\dot{A} = \delta H_A A \quad (2)$$

Burada A bilgi stoku, \dot{A} yeni tasarımlar (teknolojik değişim ya da inovasyon), δ verimlilik parametresi, H_A ise araştırma sektöründeki beşerî sermayedir (Romer, 1990).

Romer (1990) tarafından sunulan modele göre, TFV, yeni teknolojilerin icadı ile artmaktadır. Yeni teknolojiler olmadan, ilave sermaye birikimi, azalan marjinal getirilere maruz kalacak ve büyüme durma noktasına gelecektir. Yeni teknolojiler, ilave sermaye birikiminin daha geniş bir girdi yelpazesine yayılabilmesini sağlayacak ve sürdürülebilir büyümeyi getirecektir.

Hall ve Jones (1999) tarafından yapılan çalışmada sunulan çerçeveye göre ise sermaye birikimi, verimlilik ve dolayısıyla işçi başına üretimdeki farklılıklar, temelde ülkeler arasındaki ekonomik ortamı belirleyen kurumlar ve yürütülen politika farklılıklarıyla da ilişkilidir. Çalışmaya göre işçi başına üretimin artırılması için fiziki sermayeye ve beşerî sermayeye yüksek düzeyde yatırım yapılması ve bu girdilerin yüksek verimlilikle kullanılması gerekmektedir. Bunda belirleyici olan ise bireylerin ve firmaların yatırım yaptıkları, fikir üretip transfer ettikleri, mal ve hizmet ürettikleri ekonomik ortamı oluşturan kurumlar ve yürütülen politikalarıdır (Hall ve Jones, 1999).

İnovasyonun TFV üzerindeki etkilerinin araştırılması amacıyla yapılan bu çalışmada TFV'nin belirleyicisi olarak, açıklanan gerekçelerle, patent stoku, orta öğretim kayıt oranı, açıklık ve politik risk endeksi değişkenleri kullanılmıştır.

3. AMPİRİK LİTERATÜR

Ampirik literatürde inovasyon ve TFV arasındaki ilişkilerin araştırıldığı birçok çalışma bulunmaktadır. Bunların çoğunda inovasyon göstergesi olarak Ar-Ge değişkenleri (harcamalar, yatırımlar, çalışan sayısı vb.) ve patent değişkenleri kullanılmış ve bu değişkenlerin TFV üzerinde pozitif etkiye sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Scherer, 1982; Lichtenberg ve Siegel, 1991; Aghion ve Howitt, 1998; Guillec ve Potterie, 2002; Ülkü, 2004; Scherngell ve diğerleri, 2014; Kale ve Rath, 2018; Saleem ve diğerleri, 2019). Çalışmaların bazılarında ise inovasyon göstergesi olarak Ar-Ge harcamalarının yanı sıra yeni ürünlerin ya da üretim yöntemlerinin geliştirilmesi kullanılmış, inovasyonun özellikle OECD ülkelerinde TFV büyümesine önemli ölçüde katkıda bulunduğuna ilişkin sonuçlar elde edilmiştir (Griliches, 1979; Nadiri ve Kim, 1996; Aghion ve Howitt, 1990; Crespi ve Zuniga, 2012). Ar-Ge yatırımlarının ve bilgi stokunun modele dâhil edildiği çalışmaların bazılarında da inovasyonun ve TFV üzerindeki etkisinin sınırlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Comin, 2002; Abdih ve Joutz, 2006).

Son dönemde yapılan çalışmalar incelendiğinde Scherngell ve diğerleri (2014) tarafından Çin patent ofisi tarafından verilen patentler cinsinden ölçülen bölge içi ve bölge dışı bilgi sermayesinin Çin bölgelerindeki TFV üzerindeki etkisinin 1988-2007 dönemi için 29 Çin bölgesine ait panel verileri ile Mekansal Durbin Modeli (SDM) kullanılarak araştırıldığı çalışmada, Çin'deki verimlilik artışının daha bilgi temelli bir yapıya doğru kaydığı ve 1998'den sonra bilgi sermayesinin bölgesel TFV üzerindeki etkili olduğu, bu değişimin sadece bölge içi bilgi sermayesine değil, aynı zamanda bölgeler arası bilgi yayılımına da dayandığı sonuçlarına ulaşılmıştır.

Kale ve Rath (2018) tarafından yapılan bir çalışmada, inovasyonun Hindistan'daki TFV büyümesinde önemli bir rol oynayıp oynamadığının 1980-2014 dönemi, inovasyon endeksi, beşerî sermaye, özel sektör kredileri, doğrudan yabancı yatırım, ticari açıklık, mal ve hizmet ihracatı ve mal ve hizmet ithalatı verileri ile ARDL Modeli kullanılarak araştırılmıştır. Çalışma sonucunda inovasyon faaliyetlerinin TFV büyümesini olumlu yönde etkilediği, beşerî sermaye, finansal gelişme ve doğrudan yabancı yatırım gibi diğer faktörlerin uzun vadede TFV büyümesini etkilemediği, ancak kısa vadede verimlilik artışını önemli ölçüde etkilediği sonuçlarına ulaşılmıştır.

Bir başka çalışmada ise Kim ve Park (2018) tarafından orta gelirli ülkelerde TFV büyümesinin yüksek gelirli gruba geçişe sağladığı katkı, yakalama etkisi, beşerî sermaye, yaşam beklentisi, nüfus, ticari açıklık ve reel döviz kuru endeksi değişkenlerine ait 1975-2014 dönemi verileri ile klasik en küçük kareler yöntemi kullanılarak araştırılmıştır. Çalışmada, yakalama etkisi, beşerî sermaye, daha küçük nüfus, zayıf para birimi ve Ar-Ge büyümesinin TFV büyümesinin önemli kaynağı olduğu bulgusu elde edilmiştir. İlaveten üst orta üst gelir grubunda yer alan ülkelerde, ulusal Ar-Ge sistemlerinin optimize edilerek ve eğitim sisteminin inovasyonu teşvik etmeyi hedefleyecek şekilde yeniden tasarlanması yoluyla inovasyonun motive edilmesine yönelik reform yapılması gerektiği sonuçlarına ulaşılmıştır.

İnovasyon, büyüme ve TFV ilişkilerinin araştırıldığı diğer bir çalışmada, Saleem ve diğerleri (2019) tarafından, Pakistan ekonomisinde 1972–2016 dönemine ait GSYİH, patent sayısı, ticari açıklık, enflasyon, özel kredi, eğitim, ithal makine ve doğrudan yabancı yatırım verileri kullanılarak sabit etkiler modeli uygulanmıştır. Çalışma sonucunda modelde inovasyon ve taşma etkilerini temsil eden patent değişkeninin TFV üzerinde anlamlı ve pozitif etkiye sahip olduğu bulgusuna ulaşılmıştır.

Teknolojik faktörlerin Çin'in TFV'si üzerindeki etkilerinin araştırıldığı Huang ve diğerleri (2019) yapılan çalışmada, 30 ile ait 2000-2014 dönemini kapsayan Ar-Ge yatırımları, doğrudan yabancı yatırımlardan gelen teknoloji yayımları, ihracat ve ithalat verileri ile panel eşik modeli kullanılmıştır. Araştırma sonucuna göre yerli Ar-Ge yatırımları TFV'yi teşvik etmede öncü bir rol oynamaktadır ve ihracat hariç, dışa açıklık yoluyla teknoloji yayılımı TFV büyümesi için faydalıdır. Bununla birlikte çalışmada ayrıca teknoloji yayımlarının farklı davranışlarının, beşerî sermaye ve yerli Ar-Ge yatırımları gibi teknolojik özümleme kapasitesini etkileyen faktörlere bağlı olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır. Çalışmada elde edilen diğer bulgular ise beşerî sermayenin, her bir teknoloji yayılımının yayılma etkilerini güçlendireceği, Ar-Ge yoğunluğu belirli bir seviyeyi aştığında, ihracatın TFV üzerindeki negatif yayılma etkisini hafifleme eğilimine gireceği ve doğrudan yabancı yatırım ve ithalatın TFV üzerindeki pozitif yayılma etkisinin artacağıdır.

Başka bir çalışmada da Xiao ve diğerleri (2022) tarafından içsel inovasyonun ve dışsal teknolojik ortamın toplam faktör verimliliği üzerindeki etkisi, 2007-2017 yıllarını kapsayan 119 ülke için dünya çapındaki işletme anketi verileri kullanılarak panel regresyon analizi ile araştırılmıştır. Çalışma sonucunda işletmelerin Ar-Ge faaliyetlerinin toplam faktör verimliliğini artırdığı, daha yüksek dışsal teknolojinin kullanımının Ar-Ge faaliyetlerinin toplam faktör verimliliği üzerindeki etkisini zayıflattığı ve düşük ve orta gelirli ülkelerde bulunan işletmelerin genellikle sürekli inovasyondan yoksun olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır.

İnovasyonun birçok farklı gösterge ile temsil edildiği ve TFV üzerindeki etkilerinin araştırıldığı, farklı ekonometrik yöntemlerle yapılan çalışmaların büyük çoğunluğunda, inovasyonun TFV'yi pozitif yönde etkilediği, bunun da büyüme performansına olumlu katkı sağladığı bulguları elde edilmiştir.

Yükselen piyasa ekonomilerinin, gelişmiş ekonomilerin ve yükselen Asya ekonomilerinin karşılaştırmalı olarak yakın dönem verileri ile analiz edilmesinin yanı sıra bu çalışmanın mevcut literatüre bir diğer önemli katkısı, ampirik analizde açıklık, politik risk endeksi ve orta öğretim kayıt oranı değişkenleri kullanılarak ticari liberalizasyon, kurumsal kalite ve beşerî sermaye faktörlerinin de TFP üzerindeki etkilerinin araştırılmasıdır.

4. ÇALIŞMADA KULLANILAN MODEL, VERİ ve YÖNTEM

4.1. Model, Veri ve Değişkenler

Çalışmada inovasyonun TFV üzerindeki etkileri Romer (1990) tarafından sunulan ve Hall ve Jones (1999) tarafından geliştirilen teorik çerçeve dâhilinde, Ülkü (2004) tarafından yapılan çalışmada tahmin edilen ve Eşitlik 3'te sunulan dinamik model kullanılarak araştırılmıştır. Buna göre inovasyonun TFV üzerindeki etkilerinin araştırılmasında kullanılan model şu şekildedir:

$$tfp_{i,t} = \alpha_i + \beta_1 tfp_{i,t-1} + \beta_2 plps_{i,t} + \beta_3 sse_{i,t} + \beta_4 op_{i,t} + \beta_5 pri_{i,t} + u_{it} \quad (3)$$

Burada tfp , toplam faktör verimliliği; ps , patent stoku²; sse , orta öğretim kayıt oranı; op , açıklık; pri , politik risk endeksi değişkenlerini ifade etmektedir. TFV'nin hesaplanmasında Ülkü (2004) tarafından sunulan yaklaşımdan yararlanılmış ve Eşitlik 4 kullanılmıştır.

$$tfp_{i,t} = plgdp_{i,t} - 0.4plgf_{i,t} - 0.6emp_{i,t} \quad (4)$$

Burada gdp , GSYİH; gf , yatırım; emp , istihdam değişkenlerini ifade etmektedir. Değişkenlerden GSYİH, yatırım ve patent stoku değişkenleri ülkelerin ekonomik büyüklüklerinin kontrol altına alınabilmesi için işgücüne oranlanmıştır (pl). Verilerin zaman boyunca sergilediği dalgalanmaların ve analize dâhil edilen ekonomilerin büyüklüklerinin model tahmini üzerindeki etkisini rasyonalize etmek amacıyla tüm değişkenlerin doğal logaritması (ln) alınmıştır.

Çalışmada yıllık olarak kullanılan veriler çoğunlukla Dünya Bankası veri tabanından elde edilmiştir. Patent verileri, başvuru kriterlerinin model üzerinde oluşabilecek etkilerinin minimize edilmesi amacıyla ABD Patent Ofisinden alınmıştır. Açıklık değişkeni, ülke dış ticaret hacminin, ülke GSYİH'sinden aldığı payı ifade etmektedir. Dengeli panel veri serisi ile çalışılabilmesi amacıyla, zaman aralığı ve ülke sayısını maksimum kılacak bir seçim yapılmıştır. Buna rağmen bazı verilerdeki boşluklar, önceki ve sonraki yıllardaki gözlem değerlerinin ortalamaları alınarak enterpolasyona tabi tutulmuştur.

² Patent stoku değişkeni, Ülkü (2004)'te sunulan yaklaşımla, $ps_{t-1} = p_t / (r + \delta)$ ve $ps_t = p_t + (1 + \delta)ps_{t-1}$ eşitlikleri kullanılarak hesaplanmıştır. Burada r patent başvurusu büyümesi, δ ise 0.20 amortistan oranıdır.

Modelde patent stoku, bilgi stokunun yani inovasyonun, orta öğretim kayıt oranı beşerî sermayenin, açıklık değişkeni ticari liberalizasyonun ve politik risk endeksi kurumsal kalitenin TFV üzerindeki etkilerini göstermektedir. Literatürdeki çalışmalar ve iktisadi teoriye göre, modelde kullanılan değişkenlerin tümünün TFV'yi pozitif yönde etkilemesi beklenmektedir.

Çalışmada yükselen piyasa ekonomilerine odaklanılmıştır. Genişleyen orta sınıfları, artan tüketici talepleri ve gelişen altyapıları ile karakterize edilen yükselen piyasa ekonomileri, sergiledikleri hızlı iktisadi büyüme performansı ve sanayileşmeleri ile iktisadi ve ekonometrik çalışmaların da ilgi odağında bulunmaktadır. Çalışmada kullanılan ülke sınıflamaları, MSCI (Morgan Stanley Capital International, 2020) tarafından hazırlanan Yükselen Piyasalar Endeksi (MSCI Emerging Market Index) çalışmasına dayanmaktadır. 2000-2020 dönemi yıllık verilerin kullanıldığı çalışma kapsamına Şili, Tayvan, Hong Kong, Hindistan ve Tayland veri eksiliği; Kuveyt, Katar, Suudi Arabistan ve Birleşik Arap Emirlikleri ülke ekonomilerinin büyük ölçüde sahip oldukları yeraltı kaynaklarına dayanıyor olması nedeniyle çalışma kapsamına dâhil edilmemiştir. Güney Afrika ve Mısır ise modele yükselen Avrupa ülkelerindeki etkilerin yansıtılmasının sağlanması amacıyla çalışma kapsamına alınmamıştır. Karşılaştırma yapılabilmesi amacıyla gelişmiş ekonomilerin de incelendiği çalışmada 22'si gelişmiş, 17'si ise yükselen piyasa ekonomilerinden oluşmak üzere toplam 39 ülke analize dâhil edilmiştir; yükselen piyasa ekonomilerinden 6'sı yükselen Asya ekonomileridir.

Çalışmaya dâhil edilen ülkeler üç grup altında aşağıda listelenmiştir:

1. *Gelişmiş Ekonomiler*: ABD, Almanya, Avustralya, Avusturya, Belçika, Birleşik Krallık, Danimarka, Finlandiya, Fransa, Hollanda, İrlanda, İspanya, İsrail, İsveç, İsviçre, İtalya, Japonya, Kanada, Norveç, Portekiz, Singapur ve Yeni Zelanda.
2. *Yükselen Piyasa Ekonomileri*: Arjantin, Brezilya, Çekya, Çin, Endonezya, Filipinler, Güney Kore, Kolombiya, Macaristan, Malezya, Meksika, Pakistan, Peru, Polonya, Rusya, Türkiye ve Yunanistan.
3. *Yükselen Asya Ekonomileri*: Çin, Endonezya, Filipinler, Güney Kore, Pakistan ve Malezya.

Eşitlik 3'te sunulan modelin tahmininde kullanılacak değişkenlere ilişkin tanımlayıcı istatistikler Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Değişkenlere ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Değişken	Gözlem Sayısı	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
Tfp	819	1,487	0,217	0,227	1,692
Pri	819	-0,306	0,226	-1,013	-0,004
Ps	819	8,200	2,388	2,601	14,136
Sse	819	4,609	0,252	3,114	5,099
Op	819	4,167	0,582	2,950	5,865
T	819	2010	6.059	2000	2020

4.2. Yöntem

TFV ve inovasyon ilişkilerinin dinamik panel veri modeli kullanılarak araştırılacağı bu çalışmada, Sistem GMM tahmin edicisi uygulanmıştır. Özellikle makroekonomik verilerle çalışılırken, bağımlı değişkenin gecikmeli değerinin modele açıklayıcı değişken olarak eklenmesi modelin açıklama gücünü artırmaktadır. Bu durumda dinamik panel veri modellerine başvurulur. Dinamik panel veri modeli Eşitlik 5 ve 6'da ifade edilmektedir (Baltagi, 2005: 135).

$$y_{i,t} = \lambda y_{i,t-1} + x'_{it}\beta + v_{it} \quad (5)$$

$$v_{it} = \alpha_i + u_{it} \quad (6)$$

Burada y bağımlı değişken, x açıklayıcı değişkenler, Eşitlik 6'da ifade edilen α zamana göre değişmeyen birim etkiler, u hata terimi ve i birim, t zaman notasyonudur. Ayrıca $\alpha_i \sim IID(0, \sigma_\alpha^2)$ ve $u_{it} \sim IID(0, \sigma_u^2)$ olup, birbirlerinden ve kendi aralarında bağımsızdır. Bununla birlikte bağımlı değişkenin gecikmeli değerlerinin açıklayıcı değişken olarak modelde yer alması durumunda açıklayıcı değişkenin, hata teriminin geçmiş ve gelecek değerleri ile korelasyonsuz olmasını gerektiren katı dışsallık varsayımı geçerliliğini kaybetmektedir (Harris ve diğerleri, 2008: 249). Modelde içsellik sorunun üstesinden gelinmesi için öncelikle ilk farklar alınmaktadır ve Eşitlik 7'ye ulaşılmaktadır:

$$\Delta y_{it} = \lambda \Delta y_{i,t-1} + \beta' \Delta x_{it} + \Delta u_{it} \quad t = 2, \dots, T \quad (7)$$

$$E(\Delta y_{i,t-1} \Delta u_{it}) \neq 0 \quad (8)$$

$\Delta y_{i,t-1}$ ve Δu_{it} arasındaki Eşitlik 8 ile de ifade edilen korelasyon sorununun giderilmesi için Anderson ve Hsiao (1982) tarafından araç değişken yaklaşımı önerilmiştir. Buna göre u_{it} otokorelasyonsuz olduğu müddetçe, $E(y_{i,t-2} \Delta u_{it}) = 0$ olduğunda $y_{i,t-2}$ değişkeni $\Delta y_{i,t-1}$ ile ilişkili ve Δu_{it} ile ilişkisiz olduğundan

$\Delta y_{i,t-1}$ için uygun bir araç değişken olarak kullanılabilir. Birinci farklar yöntemi de denilen bu yaklaşımla yapılan tahminler tutarlıdır; buna rağmen bu yöntemle elde edilen hata terimleri çoğu zaman negatif otokorelasyon içermektedir, yani etkin değildir. Arellano ve Bond (1991) tarafından otokorelasyon olmadığı ve açıklayıcı değişkenlerin zayıf dışsal olduğu varsayımlarıyla Eşitlik 9 ve 10'da belirtilen moment koşulları oluşturulmuştur:

$$E[(y_{i,t-s} \Delta u_{it})] = 0 \quad s \geq 2; t = 3, \dots, T \quad (9)$$

$$E[(x_{i,t-s} \Delta u_{it})] = 0 \quad s \geq 2; t = 3, \dots, T \quad (10)$$

Arellano ve Bond (1991), Eşitlik 9 ve 10'da belirtilen moment koşulları ile ilk adımda hata terimlerinin birim ve zaman boyunca bağımsız ve sabit varyanslı olduğunu varsayan iki aşamalı bir GMM tahmin edicisini önermektedir. Buna göre ilk adımda elde edilen hatalar, ikinci adımda varyans-kovaryans matrisinin güvenilir bir tahminini oluşturmak için kullanılır. Sonuç olarak, iki aşamalı tahminci asimptotik olarak tek aşamalı tahminciye göre daha etkindir.

Bununla birlikte açıklayıcı değişkenlerin gecikmeli değerleri, fark denklemi için zayıf araç olduklarından, doğan yanlılığın giderilmesi için Arellano ve Bover (1995) ve Blundell ve Bond (1998), fark denklemi ile düzey denklemini birleştiren bir Sistem GMM tahmincisi kullanılmasını önermektedir. Buna göre araç değişkenler fark denklemi için öncekilerle aynı iken, düzey denklemi için Eşitlik 11 ve 12'de belirtilen moment koşulları altında uygun olan ilgili değişkenlerin gecikmeli farklarıdır.

$$E(\Delta y_{i,t-s} v_{it}) = 0 \quad s \geq 2; t = 3, \dots, T \quad (11)$$

$$E(\Delta x_{i,t-s} v_{it}) = 0 \quad s \geq 2; t = 3, \dots, T \quad (12)$$

Bu doğrultuda, Sistem GMM tahmin edicisi kullanılarak Eşitlik 9-12'de sunulan moment koşulları altında tutarlı ve etkin parametre tahminleri üretilebilmektedir. Ayrıca GMM tahmin edicisinin tutarlılığı için tahminde kullanılan araçların geçerli olması gerekmektedir. Bunun için aşırı tanımlama kısıtlamalarını test etmekte kullanılan Sargan (1958) ve Hansen (1982) testleri kullanılmaktadır. Ayrıca tahminin etkin olması için hata teriminin ikinci dereceden otokorelasyon içermemesi gerekmektedir. Arellano ve Bond (1991) tarafından önerilen ve farkı alınmış modelin hata terimi kullanılarak yapılan otokorelasyon testinin yokluk hipotezi ikinci dereceden otokorelasyon olmadığı şeklindedir.

5. UYGULAMA

5.1. Yatay Kesit Bağımlılığı Testi Sonuçları

Küresel ekonomiler arasında artan entegrasyon, ekonomilerden herhangi birinde yaşanan genel bir şokun diğer ekonomilere de yansımaya neden olabilmektedir. Panel veri analizlerinde bu etkiler, yatay kesit bağımlılığına neden olmakta, bu da bilindik tahmin yöntemleri ile yapılan analiz sonucu elde edilen tahmin sonuçlarının güvenilirliğini etkilemektedir. Bu nedenle çalışmanın ilk aşamasında yatay kesit bağımlılığı testleri yapılmıştır.³

Çalışmada yatay kesit bağımlılığının araştırılmasında Breusch-Pagan (1980) tarafından geliştirilen Lagrange Multiplier (LM) Testi, Peseran (2004) tarafından geliştirilen CD_{LM} Testi, Baltagi ve diğerleri (2012) tarafından geliştirilen sapması düzeltilmiş LM Testi (LM_{adj}) ve Peseran (2004) tarafından geliştirilen CD Testi kullanılmış, sonuçlar Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Değişkenlere ilişkin yatay kesit bağımlılığı testi sonuçları

Değişkenler	LM Testi	CD_{LM} Testi	LM_{adj} Testi	CD Testi
tfp	4623.948 ^a [0,000]	100.864 ^a [0,000]	99.889 ^a [0,000]	39.134 ^a [0,000]
ps	14171,890 ^a [0,000]	348,884 ^a [0,000]	347,909 ^a [0,000]	118,650 ^a [0,000]
sse	5492,493 ^a [0,000]	123,426 ^a [0,000]	122,451 ^a [0,000]	47,174 ^a [0,000]
op	8201,636 ^a [0,000]	193,799 ^a [0,000]	192,824 ^a [0,000]	69,575 ^a [0,000]
pri	2649,189 ^a [0,000]	49,568 ^a [0,000]	48,593 ^a [0,000]	12,579 ^a [0,000]

Not: (1) H_0 : Yatay kesit bağımlılığı yoktur. (2) Köşeli parantez içerisindeki değerler olasılık değerleridir. (3) a, b ve c sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeyinde istatistiksel anlamlılığı ifade etmektedir.

³ Yapılan analizde STATA 15 ve EViews 13 programları kullanılmıştır.

Yapılan test sonuçlarına göre yatay kesit bağımlılığı olmadığını içerir H_0 hipotezi %1 anlamlılık düzeyinde reddedilmiştir, değişkenlerde yatay kesit bağımlılığı bulunmaktadır. İlaveten eğitim katsayılarının homojenlik durumunun araştırılması amacıyla yapılan Pesaran ve Yamagata (2008) tarafından geliştirilen delta testleri sonuçları Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3. Homojenlik test sonuçları

Test	İstatistik	Olasılık Değeri
$\hat{\Delta}$	17.904 ^a	[0,000]
$\hat{\Delta}_{adj}$	21.184 ^a	[0,000]

Not: (1) H_0 : Eğitim katsayıları homojendir. (2) a, b ve c sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeyinde istatistiksel anlamlılığı ifade etmektedir.

Sonuçlara göre eğitim katsayılarının homojen olduğunu içerir yokluk hipotezi %1 anlamlılık düzeyinde reddedilmiştir. Homojenlik test sonuçları da ikinci nesil birim kök testlerinin kullanılması yönünde kanıt sunmaktadır.

5.2. Panel Birim Kök Testleri Sonuçları

Zaman içeren modellerde değişkenlerin durağan olmadığı durumda yapılan tahmin sonuçlarında sahte regresyon, t ve F testleri ile güven aralıklarının geçersiz olması sorunları ile karşılaşıldığından verilerin durağan olup olmadığının araştırılması gerekmektedir.

Bununla birlikte Arellano ve Bover (1995) ve Blundell ve Bond (1998) tarafından önerilen GMM yaklaşımında, bağımlı değişkenin gecikmeli değerleri içsellik sorununun üstesinden gelinmesi amacıyla "araç" olarak kullanılmaktadır. Bu yönüyle hem fark GMM hem de Sistem GMM ampirik çalışmalarda büyük ilgi görmektedir.

Ancak, Levine ve diğerleri (2000) tarafından örneklem büyüklüğünün küçük olması durumunda fark GMM yönteminin etkin olmadığı öne sürülmüştür. İlaveten, Bond (2002) tarafından verilerin durağan olmaması halinde tahmincinin yanlı olabileceği sonucuna varılırken, Sistem GMM yönetiminde daha fazla sayıda araç ve hem düzey hem de fark regresyonu kullanılarak tahmin yapıldığı için, tahmin sonuçlarının daha yüksek doğrulukta elde edilebileceği belirtilmiştir. Ayrıca, zaman serisi rassal yürüyüş süreci sergilediğinde, düzey tahminindeki araçlar içsel değişkenler için etkin tahminciler olduğundan Sistem GMM yöntemi ile yapılan tahminler diğer yöntemlere göre daha iyi sonuçlar ortaya koymaktadır (Blundell ve Bond, 1998). Özetle GMM tahmin edicileri ile ilgili olarak literatürde, fark GMM tahmin edicisinin durağan olmama durumunda zayıf performans gösterdiği, ancak Sistem GMM tahmin edicilerinde durağanlığın zorunlu olmadığı ifade edilmektedir (Blundell ve Bond, 1998; Han ve Phillips 2010; Binder ve diğerleri, 2005)).

Panel veri analizinde birim kök sınaması için önerilen testler farklı koşullar altında tutarlı sonuçlar vermektedir. Yatay kesit bağımlılığının varlığı durumunda ikinci nesil birim kök testleri uygulanabilmektedir. Çalışmada panel veri setinde yatay kesit bağımlılığı tespit edildiğinden, ikinci nesil birim kök testlerinden Pesaran Testi (Cross-sectionally Augmented ADF) kullanılmıştır. Her bir yatay kesite ait birim kök test istatistiklerinin ortalaması alınarak hesaplanan CIPS (Cross-Sectionally Im-Pesaran-Shin/CIPS) istatistiği ile de panelin geneli için birim kök sınaması yapılmıştır (Pesaran, 2007). Yapılan birim kök testi sonuçları Tablo 4'te gösterilmiştir. Buna göre değişkenlerin önemli bir kısmının durağan olduğu söylenebilmektedir.

5.3. Sistem Genelleştirilmiş Momentler Metodu (GMM) Tahminleri

Çalışmada Eşitlik 3'te sunulan TFV modeli, analize dâhil edilen tüm ülkeler, gelişmiş ekonomiler, yükselen piyasa ekonomileri ve yükselen Asya ekonomileri ülke panelleri için, Arellano ve Bover (1995)/Blundell ve Bond (1998) tek aşamalı (ABBB_1) ve çift aşamalı (ABBB_2) Sistem GMM tahmin edicileri ve bunların dirençli tahmin edici (R) alternatifleri kullanılarak tahmin edilmiştir. Geçerli model seçiminde istatistiksel, iktisadi ve ekonometrik olarak beklentilere uygunluğa göre değerlendirme yapılmıştır.

GMM tahmin edicisinin tutarlılığı için tahminde kullanılan araç değişkenlerin geçerli olması ve hata terimlerinin ikinci dereceden otokorelasyon içermemesi gerekmektedir (Arellano ve Bond (1991), Arellano ve Bover (1995) ve Blundell and Bond (1998)). Araç değişkenlerin geçerliliği Hansen testi, otokorelasyon içerip içermediği ise Arellano-Bond otokorelasyon testi ile araştırılmaktadır. Bu testlerin reddedilmesi içsellik veya otokorelasyon problemlerine işaret etmektedir.

Yapılan tahmin sonuçları Tablo 5'te sunulmuştur. Sonuçların yorumlanmasına geçilmeden önce Sistem GMM tahmin edicilerinin etkinliğini sağlayan moment kısıtlamalarının geçerliliği için yapılan test sonuçlarına değinilecektir.

Tablo 4. Birim kök testi sonuçları

Ülke	Düzye					1. Sıra Fark				
	tfp	op	plps	pri	sse	tfp	op	plps	pri	sse
Arjantin	-4,675 ^b	-2,927	-2,688	-5,239 ^a	-1,985	-2,386	-3,294	-3,599 ^c	-3,961 ^c	-1,253
Avustralya	-1,712	-1,095	-1,731	-4,307 ^b	-3,270	-4,900 ^b	-2,289	-0,426	-5,407 ^a	-4,481 ^b
Avusturya	-0,232	-1,945	-1,035	-2,404	-2,271	-6,183 ^a	-4,852 ^b	-4,738 ^b	-5,672 ^a	-2,577
Belçika	-1,755	-1,737	-5,083 ^a	-3,558	-4,203 ^b	-2,989	-3,980 ^c	-5,598 ^a	-4,409 ^b	-3,577
Brezilya	-2,114	-2,424	-2,800	-1,737	-2,101	-4,460 ^b	-2,110	-3,255	-3,034	-5,983 ^a
Kanada	-2,469	-4,176 ^b	-1,912	-1,710	-3,178	-5,687 ^a	-1,686	-3,143	-0,772	-1,827
Çin	-0,338	-2,006	-1,112	-4,497 ^b	-3,798 ^c	-2,238	-2,268	-4,738 ^b	-4,844 ^b	-5,066 ^b
Kolombiya	-0,548	-0,002	-2,526	-5,067 ^a	-3,544	-4,631 ^b	-3,463	-4,902 ^b	-5,856 ^a	-2,577
Çekya	-0,532	-1,199	-4,805 ^b	-2,572	-2,893	-3,541	-4,416 ^b	-2,277	-6,156 ^a	0,192
Danimarka	0,170	-4,328 ^b	-4,486 ^b	-0,228	-2,931	-0,836	-2,409	-1,386	-6,420 ^a	-2,630
Finlandiya	-3,301	0,259	-4,237 ^b	-3,138	-2,472	-1,069	-1,728	-1,847	-3,84 ^c	-1,584
Fransa	0,765	-1,724	-5,56 ^a	-2,924	-4,398 ^b	0,312	0,196	-2,985	-4,889 ^b	-4,724 ^b
Almanya	-1,715	-1,569	-0,138	-2,578	-4,070 ^b	-1,742	-3,692 ^c	-6,42 ^a	-3,361	-2,337
Yunanistan	-0,861	-0,848	-1,760	-3,123	-6,42 ^a	-2,198	-3,148	-2,650	-2,836	-6,42 ^a
Macaristan	-1,353	-4,015 ^b	-2,055	-2,862	-4,479 ^b	-5,231 ^a	-2,543	-4,579 ^b	-4,156 ^b	-6,42 ^a
Endonezya	-6,420 ^a	-2,188	-0,365	-2,702	-1,780	-6,420 ^a	-3,411	-3,617 ^c	-3,671 ^c	-5,442 ^a
İrlanda	-2,718	-2,508	-5,110 ^a	-1,816	-2,776	-0,421	-4,617 ^b	-3,730 ^c	-3,009	-1,487
İsrail	-2,919	-2,779	-2,940	-6,42 ^a	-2,559	-4,645 ^b	-4,07 ^b	-4,530 ^b	-6,42 ^a	-1,667
İtalya	1,118	-1,809	-3,286	-5,975 ^a	-3,902 ^c	-2,540	-3,595 ^c	-4,441 ^b	-3,390	-1,147
Japonya	-0,174	-2,836	-2,098	-4,977 ^b	-2,936	-1,587	-5,19 ^a	-6,42 ^a	-4,803 ^b	-3,365
Güney Kore	-2,296	-1,194	-1,637	-5,932 ^a	-3,759 ^c	-2,329	-2,778	-2,816	-5,003 ^b	-3,406
Malezya	-2,673	-0,480	-4,759 ^b	-2,312	-4,332 ^b	-2,474	-4,199 ^b	-3,223	-5,037 ^b	-3,925 ^c
Meksika	-0,642	-3,825 ^c	0,860	-4,741 ^b	-2,646	-5,508 ^a	-3,320	-1,274	-2,971	-3,275
Hollanda	-2,483	-2,513	-4,610 ^b	-4,603 ^b	-1,246	-6,367 ^a	-4,781 ^b	-2,499	-2,943	-3,871 ^c
Yeni Zelanda	-3,999 ^c	-0,436	-5,101 ^a	-3,602 ^c	-4,927 ^b	-2,801	-1,430	-5,532 ^a	-3,558	-4,005 ^c
Norveç	-2,976	-0,764	-2,190	-3,831 ^c	-2,611	-4,917 ^b	-3,657 ^c	-1,932	-5,016 ^b	-3,225
Pakistan	-2,980	-1,278	-3,739 ^c	-2,164	-2,134	-5,046 ^b	-1,747	-3,655 ^c	-4,880 ^b	-3,149
Peru	-1,079	-3,204	-2,419	-5,155 ^a	-5,967 ^a	-2,466	-4,195 ^b	-3,337	-5,235 ^a	-2,814
Filipinler	-5,268 ^a	-2,759	-1,252	-4,783 ^b	-3,558	-3,307	-2,533	-0,838	-5,834 ^a	-4,493 ^b
Polonya	-2,560	-2,028	-3,072	-1,604	-1,769	-3,377	-3,727 ^c	-3,58 ^c	-3,040	-3,552
Portekiz	-0,245	-1,217	-3,677 ^c	-4,408 ^b	-3,231	-5,815 ^a	-2,305	-2,281	-2,679	-3,829 ^c
Rusya	-0,414	-3,072	-2,336	-3,111	-0,959	-1,208	-3,710 ^c	-4,217 ^b	-3,080	-2,124
Singapur	-2,993	-2,278	-2,594	-1,526	-3,065	-2,306	-3,137	-3,792 ^c	-5,434 ^a	-3,566
İspanya	0,011	-1,624	-2,032	-2,433	-3,277	0,407	-2,595	-2,598	-3,756 ^c	-3,659 ^c
İsveç	-3,678 ^c	-0,187	-5,433 ^a	-3,924 ^c	-3,278	-3,116	-4,049 ^b	-2,243	-3,807 ^c	-3,511
İsviçre	-3,236	-2,530	-3,771 ^c	-3,109	-3,344	-3,946 ^c	-6,387 ^a	-1,966	-4,589 ^b	-4,306 ^b
Türkiye	0,944	-3,004	-3,682 ^c	-3,661 ^c	-3,659 ^c	-1,477	-4,363 ^b	-4,256 ^b	-2,652	-4,472 ^b
Birleşik Krallık	-3,709 ^c	-4,793 ^b	-4,098 ^b	-4,224 ^b	-3,816 ^c	-2,600	-6,42 ^a	-6,42 ^a	-3,262	-3,708 ^c
ABD	-2,703	-0,089	-4,825 ^b	-3,736 ^c	-2,956	-2,974	-1,294	-3,601 ^c	-3,226	-2,764
CIPS	-4,675	-2,029	-2,977 ^a	-3,596 ^a	-3,272 ^a	-3,206 ^a	-3,323 ^a	-3,536 ^a	-4,196 ^a	-3,481 ^a

Not: (1) H₀: Seri Durağan Değildir. (2) Sabit + trend içeren model kullanılmıştır. (3) Gecikme sayısı 2 olarak alınmıştır. (4) a, b ve c sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeyinde istatistiksel anlamlılığı ifade etmektedir.

Tablo 5. Toplam faktör verimliliğinin (TFV) sistem Genelleştirilmiş Momentler Metodu (GMM) tahmin sonuçları

	Tüm Ülkeler	Gelişmiş Ekonomiler	Yükselen Piyasa Ekonomileri	Yükselen Asya Ekonomileri
L.tfp	0,973 ^a [0,000]	0,542 ^a [0,000]	0,972 ^a [0,000]	0,972 ^a [0,000]
Ps	0,001 ^a [0,000]	0,006 ^a [0,000]	0,001 ^c [0,098]	0,001 ^c [0,052]
Op	0,001 ^b [0,011]	0,011 ^a [0,000]	-0,000 [0,918]	0,005 [0,114]
Pri	0,004 ^c [0,063]	0,046 ^a [0,001]	0,009 ^a [0,000]	0,003 [0,821]
Sse	0,005 ^a [0,002]	0,009 [0,248]	0,002 [0,674]	-0,004 [0,450]
Sabit	0,015 ^b [0,014]	0,601 ^a [0,000]	0,032 ^b [0,034]	0,030 [0,349]
Seçilen Model	ABBB_2	ABBB_2	ABBB_2	ABBB_1R
Gözlem Sayısı	780	440	340	120
Grup Sayısı	39	22	17	6
Wald χ^2 (p-değeri)(*)	0,000	0,000	0,000	0,000
AR(2) Testi (p-değeri) (**)	0,219	0,990	0,119	0,242
Hansen Testi (p-değeri) (***)	0,065	0,870	0,477	1,000

Not: (1) (*) H_0 : Anakütle katsayıları sıfırdır. (**) H_0 : Otokorelasyon yoktur (Birinci fark denklemindeki hata terimi ikinci sıra otokorelasyon içermemektedir). (***) H_0 : Aşırı tanımlama kısıtları geçerlidir (Açıklayıcı değişkenler hata terimi ile ilişkili değildir). (2) Köşeli parantez içerisinde olasılık değerlerine yer verilmiştir. (3) a, b ve c sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeyinde istatistiksel anlamlılığı ifade etmektedir. (4) Tahmin STATA 15 Programında, Roodman (2009) tarafından geliştirilen xtabond2 kodu ile yapılmıştır. (5) L. gecikme operatörünü simgelemektedir.

Modellerin aşırı tanımlama kısıtlarının geçerli olup olmadığı asimptotik olarak χ^2 dağılımına sahip olan Hansen testi ile araştırılmıştır. Test istatistiğine göre tüm modellerde H_0 hipotezi tüm denklemlerde %1 düzeyinde reddedilememektedir; dolayısıyla aşırı tanımlama kısıtları geçerlidir. AR(2) test sonuçlarına göre ise tüm modellerde ikinci dereceden otokorelasyon olmadığını içerir H_0 hipotezi %1 düzeyinde reddedilememektedir; bir başka ifade ile ikinci dereceden otokorelasyon yoktur.

Kurulan modellerin katsayılarının bir bütün olarak anlamlılığı, Wald χ^2 testi ile araştırılmıştır. Test istatistiğinin olasılık değerlerine göre ana kütle katsayılarının sıfır olduğunu içeren H_0 hipotezi tüm modellerde %1 düzeyinde reddedilmiştir; modellerin bütün itibarıyla anlamlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Tahmin sonuçlarına göre, teorik beklentilerle de uyumlu bir şekilde, *tfp* değişkeninin gecikmeli değeri (tfp_{t-1}), tüm ülke gruplarında bağımlı değişken üzerinde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahiptir. Ülke grupları arasında en yüksek etki tüm ülkeler paneli için tahmin edilen modelde gerçekleşmiş, bunu yükselen piyasa ekonomileri, yükselen Asya ekonomileri ve gelişmiş ekonomiler panelleri takip etmiştir.

İnovasyon göstergesi olarak modele dâhil edilen patent stoku (*ps*) değişkenine ait katsayılar incelendiğinde ise katsayının tüm ülke gruplarında pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir. Tahmin sonuçlarına göre patent stokundaki %1'lik artış, TFV değişkeninde, tüm ülkeler, yükselen piyasa ekonomileri ve yükselen Asya ekonomileri panellerinde %0,001, gelişmiş ekonomiler panelinde ise %0,006 düzeyinde artış getirmektedir. Teorik beklentilerle de uyumlu olan bu sonuç, inovasyonun TFV üzerinde pozitif bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Beşerî sermayenin TFV üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla modele dâhil edilen orta öğretim kayıt oranı (*sse*) değişkenine ait katsayı, tüm ülkeler panelinde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı, gelişmiş ekonomiler ve yükselen piyasa ekonomileri panellerinde pozitif, yükselen Asya ekonomileri panelinde ise negatif ve istatistiksel olarak anlamsız bulunmuştur. Tahmin sonuçlarına göre orta öğretim kayıt oranı değişkenindeki %1'lik artış, TFV değişkeninde tüm ülkeler panelinde %0,005, gelişmiş ekonomiler panelinde %0,009, yükselen piyasa ekonomileri panelinde ise %0,002 düzeyinde artış getirmektedir. Tahmin sonucuna göre beşerî sermaye iktisadi beklentilerle uyumlu bir şekilde TFV'yi pozitif yönde etkilemektedir.

Modelde ticari liberalleşmeyi temsil eden açıklık (*op*) değişkenine ait katsayı tüm ülkeler ve gelişmiş ekonomiler panellerinde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı, yükselen Asya ekonomileri panelinde pozitif, yükselen piyasa ekonomileri panelinde ise negatif ve istatistiksel olarak anlamsız bulunmuştur. Tahmin

sonuçlarına göre açıklık değişkenindeki %1'lik artış TFV'yi tüm ülkeler panelinde %0,001, gelişmiş ekonomiler panelinde %0,011 ve yükselen Asya ekonomileri panelinde ise %0,005 düzeyinde artırmaktadır.

Politik risk endeksi (kurumsal kalite) değişkeninin yüksek değerleri, düşük riski gösterdiğinden dolayı panel Sistem GMM tahmin sonuçlarına göre kurumsal kalite arttıkça TFV'nin de artması beklenmektedir. Tahmin sonuçlarına göre politik risk endeksi (*pri*) değişkenine ait katsayı, tüm ülkeler, gelişmiş ekonomiler ve yükselen piyasa ekonomileri panellerinde Hall ve Jones (1999)'da ortaya konulan çerçeveyi destekler biçimde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı, yükselen Asya ekonomileri panelinde ise pozitif bulunmuştur. Sonuçlara göre politik risk endeksi değişkenindeki %1'lik artış TFV değişkenini tüm ülkeler, gelişmiş ekonomiler, yükselen piyasa ekonomileri ve yükselen Asya ekonomileri panellerinde sırasıyla %0,004, %0,046 ve %0,009 ve %0,003 düzeyinde artırmaktadır. Sonuçlar, kurumsal kalitenin TFV üzerinde etkili olduğuna işaret etmektedir.

Bu sonuçlar, uzun vadede verimlilik artışının, beşerî sermayeye ve araştırma ve geliştirmeye (Ar-Ge) yapılan yatırımlarla ve bu yönde geliştirilen politikalarla sağlandığını öne süren Romer (1990) ve Hall ve Jones (1999) tarafından sunulan teorik çerçeveyi destekler mahiyetindedir. İnovasyonun, beşerî sermayenin, ticari liberalizasyonun ve kurumsal kalitenin TFV üzerinde pozitif etkili olduğunu ortaya koyan bu bulgular, ayrıca ampirik literatürü de desteklemektedir (Miller ve Upadhyay, 2000; Mannasoo ve diğerleri, 2018; Ngo ve Nguyen, 2020; Wu ve Han, 2022). Özetle, ampirik analiz sonuçlarına göre, inovasyonu ve küresel entegrasyonu artırmaya, beşerî sermaye ve kurumsal kaliteyi geliştirmeye yönelik politikalar, TFV'yi olumlu yönde etkilemektedir.

6. SONUÇ ve DEĞERLENDİRMELER

Neoklasik büyüme teorisinde "Solow artığı (residual)", bir ekonominin çıktı büyümesinin, üretim faktörleri olan sermaye ve emek birikimi ile açıklanamayan kısmıdır. Bu nedenle, Solow artığı, literatürde genellikle inovasyondan kaynaklanan verimlilik artışının bir ölçüsü olarak tanımlanır ve TFV olarak da adlandırılır. İnovasyon, 1980'lerden itibaren gelişen içsel büyüme teorilerinde de büyümenin önemli bir bileşeni olarak içsel bir faktör olarak ele alınmaya başlanmıştır.

Bu çalışmada, inovasyon ve TFV arasındaki ilişki, yükselen piyasa ekonomileri, yükselen Asya ekonomileri, gelişmiş ekonomiler ve çalışma kapsamına alınan tüm ülkeleri kapsayan dört ülke paneli için Romer (1990) ve Hall ve Jones (1999) tarafından ortaya konulan teorik çerçeve ve Ülkü (2004) tarafından tahmin edilen model kullanılarak araştırılmıştır. Modelde TFV'nin belirleyicileri olarak patent stoku, orta öğretim kayıt oranı, açıklık ve politik risk endeksi değişkenlerinden yararlanılmış; ekonometrik analizde, 2000-2020 yılları arasını kapsayan yıllık verilere dinamik panel veri analizi yöntemlerinden Sistem GMM tahmin edicisi uygulanmıştır.

Tahmin sonuçlarına göre inovasyon ve kurumsal kalite, çalışma kapsamında ele alınan tüm ülke panellerinde TFV'yi pozitif yönde etkilemektedir. Ülke gruplarına ilişkin tahmin sonuçları karşılaştırıldığında inovasyon ve kurumsal kalitenin TFV'ye en yüksek katkısının gelişmiş ekonomilerde gerçekleştiği görülmektedir. Diğer taraftan ticari liberalizasyon, tüm ülkeler, gelişmiş ekonomiler ve yükselen Asya ekonomileri panellerinde TFV'yi pozitif yönde etkilemektedir; yükselen piyasa ekonomileri panelinde ise bu etki negatif ve istatistiksel olarak anlamsız bulunmuştur. Ayrıca tüm ülkeler, gelişmiş ekonomiler ve yükselen piyasa ekonomileri panellerinde beşerî sermayenin TFV üzerinde pozitif etkili olduğu görülmüştür. Her iki değişkenin de TFV üzerinde en yüksek etkiye sahip olduğu panel gelişmiş ekonomiler panelidir.

Sonuçlar, inovasyon ve TFV ilişkilerinin araştırıldığı ampirik literatür sonuçları ile de büyük ölçüde örtüşmektedir (Scherngell ve diğerleri, 2014; Kale ve Rath, 2018; Salemm ve diğerleri, 2019; Kim ve Park, 2018; Huang ve diğerleri, 2019; Xiao ve diğerleri, 2022). İlaveten kurumsal kalitenin de çalışma kapsamına alınan tüm ülke panellerinde TFV üzerinde pozitif etkiye sahip olduğu sonucu, büyümenin yapısal parametrelerinin de sürdürülebilir ekonomik performansın değerlendirilmesinde önem arz ettiğini göstermektedir (North, 1990; Srinivasan, 2005; Zhuang ve diğerleri, 2010; Venard, 2013; Karimi ve Daiari, 2018; Rodríguez-Pose ve Ganau, 2022).

Elde edilen sonuçlar ayrıca çalışma kapsamına alınan tüm değişkenlerin TFV üzerindeki etki derecelerinin ülkelerin yer aldığı gelir grubuna ve kalkınmışlık derecesine göre farklılık arz ettiğini göstermektedir. Buna göre özellikle yerleşik know-how kültürü, beşerî sermaye birikimi ve hem ticari düzenlemelerde hem de kurumsal kalitedeki istikrar, TFV üzerinde önemli ölçüde etkili olmaktadır. Dolayısıyla teknolojik gelişimin-inovasyonun sağlanmasına, beşerî sermayenin gelişimine, küresel entegrasyonun ve kurumsal kalitenin artırılmasına yönelik tedbirler alınmasının olduğu kadar, bu politika ve tedbirlerdeki sürekliliğin de TFV'nin artırılmasına önemli katkı sunacağı değerlendirilmektedir.

MSCI tarafından hazırlanan Yükselen Piyasalar Endeksi çalışmasına dayanan ülke sınıflamalarını baz alan ve 2000-2020 dönemi yıllık verilerinin kullanıldığı bu çalışmada, bazı ülkeler veri eksiliği nedeniyle çalışma

kapsamına alınamamıştır. Gelecek çalışmalarda IMF, Financial Times Stock Exchange (FTSE), S&P Dow Jones, Emerging Market Global Players (EMGP) gibi kuruluşlar tarafından yapılan farklı yükselen piyasa sınıflandırmalarından da yararlanılabileceği değerlendirilmektedir. Bununla birlikte bu çalışmada inovasyon ve TFV arasındaki kısa dönem ilişkiler ekonometrik olarak analiz edilmiştir. Gelecek çalışmalarda uzun dönem ilişkilerin incelenebileceği ve/veya farklı ülke gruplarının çalışma kapsamına alınabileceği düşünülmektedir. İlaveten ekonometrik metodoloji ve uygulamalar geliştikçe, konu hakkında yapılan çalışmaların çeşitlenmesinde fayda bulunduğu değerlendirilmektedir.

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

- Abdih, Y. ve Joutz, F. (2006), "Relating the Knowledge Production Function to Total Factor Productivity: An Endogenous Growth Puzzle", *IMF Staff Papers*, 53(2), 242-271.
- Aghion, P. ve Howitt, P. (1990), "A Model of Growth Through Creative Destruction", Working Paper No. 3223, National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA.
- Aghion, P. ve Howitt, P. (1992). "A Model of Growth Through Creative Destruction". *Econometrica*, 60(2), 323-351.
- Aghion, P. ve Howitt, P. (1998). "Endogenous Growth Theory", The MIT Press, USA.
- Anderson, T.W. ve Hsiao, C. (1982). "Formulation and Estimation of Dynamic Models Using Panel Data", *Journal of Econometrics*, 18, 47-82.
- Arellano, M. ve Bond, S. (1991). "Some Tests of Specification for Panel Data: Monte Carlo Evidence and an Application to Employment Equations", *Review of Economic Studies*, 58(2), 277-297.
- Arellano, M. ve Bover, O. (1995). "Another Look at the Instrumental Variable Estimation of Error-Components Models", *Journal of Econometrics*, 68(1), 29-51.
- Baltagi, B.H, Feng, Q. & Kao, C. (2012). "A Lagrange Multiplier test for Cross-sectional Dependence in a Fixed Effects Panel Data Model". *Journal of the Econometrics*, 170, 164-177.
- Baltagi, B.H. (2005). "Econometric Analysis of Panel Data", (3rd Ed.) Wiley, West Sussex, England.
- Binder, M., Hsiao, C. ve Pesaran, M. H. (2005). "Estimation and Inference in Short Panel Vector Autoregressions with Unit Roots and Cointegration". *Econometric Theory*, 21(4), 795-837.
- Blundell, R. ve Bond, S. (1998). "Initial Conditions and Moment Restrictions in Dynamic Panel Data Models". *Journal of Econometrics*, 87(1), 115-143.
- Bond, S.R. (2002), "Dynamic Panel Data Models: A Guide to Micro Data Methods and Practice", *Portuguese Economic Journal*, 1(2), 141-162.
- Breusch, T. & Pagan, A. (1980). "The Lagrange Multiplier Test and Its Applications to Model Specification in Econometrics", *Review of Economic Studies*, 47 (1), 239-253.
- Comin, D. (2002). "R&D? A Small Contribution to Productivity Growth". NYU Working Paper, No. S-MF-02-01.
- Comin, D. (2010). "Total Factor Productivity". *Economic Growth*, (Editörler: Durlauf, S.N., Blume, L.E.), The New Palgrave Economics Collection, Palgrave Macmillan, London. DOI:10.1057/9780230280823_32
- Crespi, G. ve Zuniga, P. (2012). "Innovation and Productivity: Evidence from Six Latin American Countries", *World Development*, 40(2), 273-290.
- Griliches, Z. (1979). "Issues in Assessing the Contribution of Research and Development to Productivity Growth", *Bell Journal of Economics*, 10, 92-116.
- Grossman G.M. ve Helpman, E. (1991a). "Quality Ladders in the Growth Theory", *Review of Economic Studies*, 58, 43-61.
- Grossman G.M. ve Helpman, E. (1991b). "Innovation and Growth in the Global Economy", The MIT Press, USA.
- Guellec, D. ve De La Potterie, B.V.P. (2002). "R&D and Productivity Growth: Panel Data Analysis of 16 OECD Countries", *OECD Economic studies*, 2001(2), 103-126.
- Hall, R.E. ve Jones, C.I. (1999). "Why Do Some Countries Produce So Much More Output per Worker than Others", *Quarterly Journal of Economics*, 114, 83-116.
- Han, C. ve Phillips, P. (2010). "GMM Estimation for Dynamic Panels with Fixed Effects and Strong Instruments at Unity", *Econometric Theory*, 26(1), 119-151.
- Hansen, L.P. (1982). "Large Sample Properties of Generalized Method of Moments Estimators", *Econometrica*, 50(4), 1029-1054, DOI:10.2307/1912775
- Harris, M.N., Matyas, L. ve Sevestre, P. (2008). "Dynamic Models for Short Panels", *The Econometrics of Panel Data: Fundamentals and Recent Developments in Theory and Practice*, (Editörler: Matyas, L ve Sevestre, P.), (3rd Ed.), Springer, NY, USA, 249-278.
- Huang, J., Cai, X., Huang, S., Tian, S. ve Lei, H. (2019). "Technological Factors and Total Factor Productivity in China: Evidence Based on a Panel Threshold Model", *China Economic Review*, 54, 271-285.
- Jones, C. I. (1995). "R & D-Based Models of Economic Growth". *Journal of Political Economy*, 103(4), 759-784. <http://www.jstor.org/stable/2138581>
- Kale, S. ve Rath, B.N. (2018), "Does Innovation Matter for Total Factor Productivity Growth in India? Evidence from ARDL Bound Testing Approach", *International Journal of Emerging Markets*, 13(5), 1311-1329.
- Karimi, M.S. ve Daiari, E.H. (2018). "Does Institutions Matter for Economic Development? Evidence for ASEAN Selected Countries", *Iranian Economic Review*, 22(1), 1-20. DOI:10.22059/ier.2018.65343

- Kim, J. ve Park, J. (2018). "The Role of Total Factor Productivity Growth in Middle-Income Countries", *Emerging Markets Finance and Trade*, 54(6), 1264-1284, DOI:10.1080/1540496X.2017.1422244
- Levine, R., Loayza, N. ve Beck, T. (2000), "Financial Intermediation and Growth: Causality And causes". *Journal of Monetary Economics*, 46(1), 31-77.
- Lichtenberg, F.R. ve Siegel, D. (1991). "The Impact of R&D Investment on Productivity—New Evidence Using Linked R&D—Lrd Data", *Economic Inquiry*, 29(2), 203-229, DOI:10.1111/j.1465-7295.1991.tb01267.x
- Lucas, R.E. (1988). "On the Mechanics of Economic Development", *Journal of Monetary Economics*, 22, 3-42.
- Mannasoo, K., Hein, H. ve Ruubel, R. (2018). "The Contributions of Human Capital, R&D Spending and Convergence to Total Factor Productivity Growth", *Regional Studies*, 52(12), 1598-1611.
- Miller, S.M. ve Upadhyay, M.P. (2000). "The Effects of Openness, Trade Orientation, and Human Capital on Total Factor Productivity", *Journal of Development Economics*, 63(2), 399-423.
- Morgan Stanley Capital International. (2020). "Emerging Markets Indexes", <https://www.msci.com/documents/1296102/38312924/MSCI+Emerging+Markets+Indexes.pdf>, (Erişim Tarihi: 24.06.2024).
- Nadiri, M.I. ve Kim, S. (1996), "International R&D Spillovers, Trade and Productivity in Major OECD Countries", NBER Working Paper, No. 5801, Cambridge, MA.
- Ngo, M.N. ve Nguyen, L.D. (2020). "Economic Growth, Total Factor Productivity, and Institution Quality in Low-Middle Income Countries in Asia", *Journal of Asian Finance, Economics and Business*, 7(7), 251-260.
- North, D.C. (1990). "Institutions, Institutional Change and Economic Performance", Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- 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.
- Peseran, M.H. (2004). "General Diagnostic Tests for Cross Section Dependence in Panels". Cambridge Working Papers in Economics, 435. DOI: 10.17863/CAM.5113.
- Peseran, M.H., Ullah, A. & Yamagata, T. (2008). "A Bias-Adjusted LM Test of Error Cross-Section Independence". *Econometrics Journal*, 11 (1), 105-127.
- Rodríguez-Pose, A. ve Ganau, R. (2022). "Institutions and the Productivity Challenge for European Regions", *Journal of Economic Geography*, 22(1), 1-25, DOI:10.1093/jeg/lbab003
- Romer, P.M. (1986). "Increasing Returns and Long-Run Growth", *Journal of Political Economy*, 94(5), 1002-1037.
- Romer, P.M. (1990). "Endogenous Technological Change", *Journal of Political Economy*, 98(5, Part 2), 71-102.
- Saleem, H., Shahzad, M., Khan, M.B. ve Khilji, B.A. (2019). "Innovation, Total Factor Productivity and Economic Growth in Pakistan: A Policy Perspective", *Economic Structures*, 8,7, DOI:10.1186/s40008-019-0134-6
- Sargan J.D. (1958). "The Estimation of Economic Relationships Using Instrumental Variables", *Econometrica*, 26, 393-415.
- Scherer, K.R. (1982). "The Nature and Function of Emotion", *Social Science Information*, 21(4-5), 507-509, DOI:10.1177/053901882021004001
- Scherngell, T., Borowiecki M. ve Hu, Y. (2014). "Effects of Knowledge Capital on Total Factor Productivity in China: A Spatial Econometric Perspective", *China Economic Review*, 29, 82-94.
- Schumpeter, J.A. (1934). "The Theory of Economic Development", Harvard University Press, Cambridge MA.
- Srinivasan, T.N. (2005). "Productivity and Economic Growth in South Asia and China", *The Pakistan Development Review*, 44(4), 479-503, DOI:10.30541/v44i4ipp.479-503
- Ülkü, H. (2004). "R&D, Innovation, and Economic Growth: An Empirical Analysis", IMF Working Papers, 2004/185, International Monetary Fund.
- Venard, B. (2013). "Institutions, Corruption and Sustainable Development", *Economics Bulletin*, 33(4), 2545-2562.
- Verbic, M., Boris Majcen, B., Ivanova, O. ve Čok, M. (2011). "R&D and Economic Growth in Slovenia: A Dynamic General Equilibrium Approach with Endogenous Growth". *Panoeconomicus*, 58(1), 67-89, DOI:10.2298/PAN1101067V
- Wu, M. ve Han, X. (2022). "Influence of Economic Openness on Total Factor Productivity: Evidence from China's Belt and Road Initiative", *Sustainability*, 14(20), 13375, DOI:10.3390/su142013375
- Xiao, Z., Peng, H. ve Pan, Z. (2022). "Innovation, External Technological Environment and the Total Factor Productivity of Enterprises", *Accounting and Finance, Accounting and Finance Association of Australia and New Zealand*, 62(1), 3-29.
- Zhuang, J., De Dios, E. ve Martin, A.L. (2010). "Governance and Institutional Quality and the Links with Economic Growth and Income Inequality: With special Reference to Developing Asia", Asian Development Bank Economics Working Paper Series 193.

Gıda ve Enerji Üretimini Birleştiren Arazilerde Verimlilik Analizi: Komşuköy Agrivoltaik Çiftlik Modeli

Bilge Şentürk^{1,2}, Duygu Kuzyaka¹, Ömer Yalçın¹, Uğur M. Akyıldız³, Murat Eröz⁴, Talat Özden^{1,5}

ÖZET

Amaç: Enerjisa Üretim ortaklığıyla İstanbul, Türkiye’de kurulan ilk yükseltilmiş sabit panel sistemine sahip Komşuköy Agrivoltaik Çiftlik sahasında gerçekleştirilen tarım ve enerji üretim faaliyetlerini inceleyen bu çalışmanın temel amacı, arazinin ikili kullanımı (elektrik ve biyokütle üretimi) sonucunda arazi verimliliğindeki değişimi ortaya koymaktır.

Yöntem: Arazi verimliliğinin hesaplamasında esas alınan yöntem “arazi eş değer oranı (LER)”dır.

Bulgular: Agrivoltaik sistemde arazi eşdeğer oranının (LER) farklı bitki türlerine göre 1,33 ve 3,30 arasında değiştiği; buna göre agrivoltaik sistemlerin, gıda ve elektrik üretiminin ayrı arazilerde gerçekleştirildiği durumlara göre %33-%230 arasında daha az arazi varlığına ihtiyaç duyduğu tespit edilmiştir.

Özgünlük: Komşuköy Agrivoltaik Çiftlik, Türkiye’de sabit çift-yüzlü panel sistemi ile tasarlanmış öncül bir agrivoltaik uygulama alanıdır. Ülkemizde agrivoltaik sistemlerin performansını verimlilik yaklaşımı ile değerlendiren ilk araştırma olarak diğer pilot çalışmalarından temel farkı; biyoçeşitlilik ve ilaçsız tarıma yönelik sürdürülebilir tarım tekniklerine dayanan bir sistem üzerine odaklanmasıdır. Literatür, çoğunlukla konvansiyonel tarım tekniklerine ve monokültür ürünlere odaklanmış olup bu çalışma, sürdürülebilir bir çiftlik modeli örneği sunmaktadır. Ayrıca önceki agrivoltaik araştırmalar arasında henüz çalışılmamış bir ürün grubu olan tıbbi ve aromatik bitki örneğinin incelenmesi sonucunda bu ürün grubunun yetiştiriciliği hakkında literatüre önemli bir katkı sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilir Tarım, Yenilenebilir Enerji, Agrivoltaik Sistemler (TarımGES), Arazi Verimliliği, Arazi Eşdeğer Oranı (LER).

JEL Kodları: C61, D,61, O13, Q1.

The Analysis on Dual Land Use Efficiency: Integrating Food and Energy Production in A Case Study of the Komşuköy Agrivoltaic Farm Model

ABSTRACT

Purpose: The primary objective of this study is to elucidate the changes in land productivity resulting from the dual use of land (both electricity and biomass production) in the Komşuköy Agrivoltaic farm which is the first site with an elevated fixed-panel system in Istanbul, Türkiye, established in partnership with Enerjisa.

Methodology: The method employed in calculating land productivity is the "Land Equivalent Ratio (LER)".

Findings: The land equivalent ratio (LER) in the Agrivoltaic system varies between 1,33 and 3,30 for different plant species. Accordingly, Agrivoltaic systems indicate a need for 33% to 230% less land compared to situations where food and electricity production are carried out on separate plots.

Originality: Komşuköy Agrivoltaic Farm is the first Agrivoltaic implementation designed with a fixed dual-sided panel system in Türkiye. Distinguishing itself from other pilot studies, this research is the preliminary one both for evaluating the performance of Agrivoltaic systems using a productivity approach in Türkiye and for focusing on biodiversity, natural inputs, and sustainable farming techniques for pesticide-free agriculture while most studies in the worldwide literature concentrate on conventional farming techniques and monoculture products, this research contributes as an example of a sustainable farm model, specifically for providing a significant contribution on the cultivation of medicinal and aromatic plants.

Keywords: Sustainable Agriculture, Renewable Energy, Agrivoltaic Systems (AgriPV), Land Productivity, Land Equivalent Ratio (LER).

JEL Codes: C61, D,61, O13, Q1

¹ ODTÜ-GÜNAM, Modül Teknolojileri Birimi, Ankara, Türkiye

² ODTÜ, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, Ankara, Türkiye

³ Komşuköy Çiftliği, Beykoz, İstanbul, Türkiye

⁴ Enerjisa Üretim, Varlık Yönetimi ve Sürdürülebilirlik Birimi, Ataşehir, İstanbul, Türkiye

⁵ Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik-Elektronik Bölümü, Gümüşhane, Türkiye.

Sorumlu Yazar-Corresponding Author: Bilge Şentürk, bilge.senturk@odtugunam.org

DOI: 10.51551/verimlilik.1430853

Araştırma Makalesi / Research Article | Geliş / Submitted: 06.02.2024 | Kabul / Accepted: 04.04.2024

Atıf/Cite: Şentürk B., Kuzkaya, D., Yalçın, Ö., Akyıldız, U.M., Eröz, M. ve Özden, T. (2024). "Gıda ve Enerji Üretimini Birleştiren Arazilerde Verimlilik Analizi: Komşuköy Agrivoltaik Çiftlik Modeli", *Verimlilik Dergisi*, 58(3), 445-460.

EXTENDED ABSTRACT

This study focuses on addressing the increasing demand for both population and energy, predicting a growing need for more efficient land use. Agrivoltaic systems (AgriPV), designed to respond to this demand, emerge as a novel approach that could reconcile agricultural lands for both food and energy production. Within the scope of this research, horticulture-style agricultural activities conducted in the Komşuköy Agrivoltaic Farm in İstanbul, equipped with the first elevated fixed-panel system established in Türkiye, are examined. The solar PV system is fixed-angle, facing southwest (Azimuth: -23°), with panels mounted at a height of 3 meters and tilted at 21° . Panels are spaced 1.2 meters apart with even distribution. Rows of panels, each comprising 4 arrays, are spaced 3 meters apart. The energy production of was estimated using PVsyst software and the yield changes were calculated by measuring the crop amount for 7 different products, blueberry (blue and cargon), rosemary, eggplant, cauliflower, broccoli, pepper (bell, green, kapyra), and cucumber.

As the first agrivoltaic study based on biodiversity-oriented natural farming, commonly known as "pesticide-free agriculture," the primary objective of this article is to reveal the changes in land productivity resulting from the dual use of land (electricity and biomass production). It aims to showcase that, under favorable conditions, agrivoltaic systems can significantly increase land productivity, serving as an effective tool to meet both food security and energy needs. Additionally, the research emphasizes contributions such as supporting small-scale farming economically, enhancing adaptability and resilience to climate change, preserving agricultural areas on the urban fringe, and promoting sustainable agricultural techniques as a crucial agricultural policy instrument. The fundamental method employed in calculating land productivity in the Agrivoltaic field is the "Land Equivalent Ratio (LER), measures the usability of a land by two or more crops or production systems simultaneously. If the LER value is greater than 1, it indicates that the combination is more effective than using the same area for either agriculture or energy production alone.

$$LER = \frac{Y_{agriculture, APV}}{Y_{agriculture, reference}} + \frac{Y_{energy, APV}}{Y_{energy, groundedPV}}$$

The highest yield change was observed in rosemary, with an approximate 2.5-fold increase. Cucumber also showed a significant yield increase of about 90%. Other crops positively affected are blueberry (18% for the blue variety and 10% for the cargon variety) and bell pepper with a 2% increase. The most significant yield decrease was observed in kapyra pepper production, with a 30% reduction, followed by a 25% decrease in eggplant and a 4% decrease in green pepper production. The agrivoltaic system with an installed capacity of 21.4 kWp is estimated to have an annual total production of approximately 30 MWh. On the other hand, a conventional plant designed for the same area is estimated to produce about one-third more than the agrivoltaic system, approximately 48 MWh. Based on these productivity results, the land equivalent ratio (LER) in the Agrivoltaic system varies between 1,33 and 3,30 for different plant species. Accordingly, Agrivoltaic systems indicate a need for 33% to 230% less land compared to situations where food and electricity production are carried out on separate plots.

The findings demonstrate the positive performance of agricultural production activities conducted under an agrivoltaic system in terms of land productivity within a small-scale, sustainable farm model based on pesticide-free agriculture. Moreover, a significant yield increase was observed in the majority of the eight different planted crops. As a previously unstudied class of plants in the literature, the yield increase in rosemary, a medicinal and aromatic plant, was reflected in the land productivity value, showing a notably high LER value compared to previous findings of other agivolctaic researches. In this regard, it is important to conduct more detailed studies (based on agronomic qualities and economic evaluations) on the potential of aromatic plants.

It is also crucial to monitor physiological changes such as soil health, soil nutrient value, plant nutrient value, taste, and quality under the panels, as well as to measure changes in panel efficiency due to synergistic effects arising from agricultural activities (such as the creation of a cooler environment by plants, the impact of mulch covers on light reflection), and to calculate irrigation needs. In future studies, it is necessary to include the relevant areas and also it is important to support the productivity approach in Komşuköy with calculations related to costs and revenues. Furthermore, testing different panel technologies on larger scales will be important for a more rational presentation of agronomic and economic effects. The findings are considered important for supporting sustainable agriculture, particularly in rural and peri-urban areas, in the development of effective public policies for rural development and urbanization, and for guiding renewable energy policies.

1. GİRİŞ

İklim değişikliği, nüfus artışı, salgınlar, iktisadi ve siyasi krizlerin etkisiyle küresel gıda güvenliği her geçen gün daha fazla tehdit altına girmektedir. Artan nüfus, tarımsal verimliliğin artırılması yönünde baskı oluşturmakta fakat iklim değişikliği ve mevcut gıda sistemlerinin konvansiyonel tarım yöntemlerine dayanması ekolojik dengede bozulmaya yol açarak verimlilik artışını olumsuz etkilemektedir. Söz konusu sonuçlara göre iklim değişikliğine dair yapılan ölçümler, 1961'den bu yana küresel tarımsal toplam faktör verimliliğinin yaklaşık %21 oranında azaldığını göstermektedir. Bu yavaşlama, küresel çapta son 7 yıllık üretkenlik artışının kaybedilmesi anlamını taşımaktadır (Ortiz-Bobea ve diğerleri, 2021).

Konvansiyonel tarımın kimyasal ilaç, gübre ve fosil yakıtlar gibi çevreye zararlı girdilere dayanması, özellikle toprak besin değerinin düşmesi ve girdi bağımlılığının artması gibi negatif etkiler yaratarak gıda güvenliğini sağlamaya yetecek uzun dönemli verimlilik artışını yavaşlatmakta (Pingali, 2012) ve gıda besin değerlerinde düşüşe yol açabilmektedir (Altieri, 1998; Horrigan ve diğerleri, 2002). Gıda güvenliği ve tarımsal verimlilik arasındaki kritik ilişki, son yıllarda özellikle uluslararası kurumlar düzeyinde kabul gören "sürdürülebilir tarım" ve "küçük çiftçilik" konularının önemini kuvvetlendirmektedir (Rossi, 2022; BM 2023). Uluslararası iklim politikaları ise, mevcut gıda sistemlerinin dönüştürülmesi yönünde ortak bir görüş birliği yaratmakta ve endüstriyel tarım, küresel ısınmaya yol açan üretim sistemlerinden biri olarak kabul edilmekte; bu nedenle çevreye ve insan sağlığına duyarlı tarımsal faaliyetlerin yaygınlaştırılması önemli görülmektedir (FAO, 2019). Sürdürülebilir tarım tekniklerinin önemini yanında, tarımsal faaliyetlerde kullanılan enerjinin fosil yakıt yoğunluğundan çıkabilmesi ve çiftçilerin enerjiye erişim zorluklarının azaltılabilmesi için yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaştırılması da gıda güvenliği açısından önemli kabul edilmektedir. Hem çiftlik seviyesindeki artan enerji ihtiyacı hem de makro düzeyde yükselmekte olan enerji talebi, son yıllarda tarımsal arazileri yenilenebilir enerji için kritik bir kesişim noktası haline getirmiştir. Bu nedenlerle nüfus ve enerji talebindeki artış devam ettiği sürece, arazinin daha verimli kullanım gereksiniminin artacağı tahmin edilmektedir (Dinesh ve Pearce, 2016).

Bu çalışmanın konusunu ise, tarımsal arazileri hem gıda hem de enerji üretimi açısından çatışma alanı olmaktan çıkarabilecek yeni bir yaklaşım olan "tarımsal fotovoltaiik sistemler" (uluslararası literatürde kabul gördüğü yaygın ifadeyle "agrivoltaik sistemler") oluşturmaktadır. Agrivoltaik terimi genel olarak güneş ışığının hem fotosentez hem de fotovoltaiik için eş zamanlı kullanımını ifade etmektedir (Trommsdorff ve diğerleri, 2023). Ekili/dikili arazi üzerinde yükseltilmiş fotovoltaiik paneller şeklinde 1981 yılında tasarlanan bu sistemler, arazi kullanımını optimize etmeyi amaçlamaktadır (Goetzberger ve Zastrow, 1982). Uygulamaların hayata geçtiği 2000'li yıllardan itibaren agrivoltaik sistemler üzerine yapılmış çalışmalar, öncelikle arazinin ikili kullanımından doğan verimlilik artışına dikkat çekmiştir (Dupraz ve diğerleri, 2011; Marrou ve diğerleri, 2013; Trommsdorff ve Johanna, 2016; Valle ve diğerleri, 2017). Arazilerin daha verimli kullanımının yanı sıra çiftçilerin gelir çeşitliliğini artırmak, su tüketimini azaltmak, gölgeye toleranslı bitkilerde büyüme için uygun bir mikro iklim oluşturmak ve kırsal bölgelerin elektrik ihtiyaçlarını gidermek, agrivoltaik sistemlerin sağladığı diğer faydalar arasında gösterilebilir (Trommsdorff ve diğerleri, 2023). Bu tür çevresel ve ekonomik sürdürülebilirliğe katkıların yanında buğday ve mısır gibi güneş ışığına fazla ihtiyaç duyan ürünlerde bir miktar verim kaybı olması beklenmektedir. Fakat sebze ve meyveciliğe dayalı tarımda fotovoltaiik panellerin ürün veriminde artışa yol açma potansiyeli (fazla ışımayı engellemesi ya da dolu/don gibi aşırı hava olaylarından koruması) ve büyük tarım makineleri gerektirmemesinden dolayı panellerin çok fazla yükseltilmesine ihtiyaç olmaması bakımından, agrivoltaik sistemler hem agronomik hem de finansal açılarından hortikültür (meyve, sebze ve çiçek yetiştiriciliği) için faydalı görülmektedir (Trommsdorff ve diğerleri, 2023).

Bu çalışma kapsamında ise Türkiye'de kurulan ilk yükseltilmiş sabit panel sistemine sahip Komşuköy Agrivoltaik Üretim Sahası'nda gerçekleştirilen hortikültür tarzı tarımsal faaliyetler incelenmektedir (Şekil 1). Araştırma sayısı ve uygulama alanlarının dünya çapında artırılmasına olan ihtiyaçla birlikte, bu çalışmanın diğer pilot çalışmalarından temel farkı; biyoçeşitlilik, doğal girdiler ve ilaçsız tarıma yönelik sürdürülebilir tarım tekniklerine dayanan bir agrivoltaik sistem üzerine odaklanması ve tarımsal üretimde önemli bir verimlilik artışı sağlanmış olmasıdır. Literatürdeki çalışmalar çoğunlukla konvansiyonel tarım tekniklerine ve monokültür ürünlere odaklanmıştır. Koruyucu tarımsal yönetim tekniklerinin (conservation agricultural management technics) agrivoltaik sistemlerle entegre edilmesinin toprak sağlığı ve ürün verimliliği üzerindeki olumlu etkisine dikkat çeken Time ve diğerleri (2023)'ne ek olarak sürdürülebilir tarım yöntemleri ile entegre edilen çok az sayıda saha çalışması mevcuttur ve bu çalışmalar yalnızca organik tarımı kapsamaktadır (Weselek ve diğerleri, 2021; Trommsdorff ve Johanna, 2016; Trommsdorff ve diğerleri, 2021; Wagner ve diğerleri, 2023). Söz konusu çalışmalar arasında agrivoltaik sistemlerin performansı, çoğunlukla geleneksel arazilere kurulan GES (güneş enerji santralleri) kapasiteleri ve monokültürel tarım ile karşılaştırılmakta olup gerçek kurulum alanlarından elde edilen veriler ile yapılmış çalışma sayısı çok azdır (Tablo 1).

Türkiye’de agrivoltaik sistemler üzerindeki araştırmalar elektrik üretim miktarı (Coşgun, 2021) ve mahsul üzerindeki etkisi (Turan, 2021)’ne yönelik potansiyel katkıları betimleyen çalışmalardan oluşmaktadır. Türkiye’deki çiftçiler üzerine Ağır ve diğerleri’nin gerçekleştirdiği araştırmada yeniliğin kabulüne dönük olumlu bir eğilim saptanmış, agrivoltaik sistemlerin ülkemizdeki çiftlik sorunlarına çözüm potansiyeli açıkça ortaya konmuştur (Ağır ve diğerleri, 2023a; Ağır ve diğerleri, 2023b). Ankara’nın Ayaş ilçesinde 2023 yılında faaliyete geçen ilk hareketli agrivoltaik sistem kapsamında elde edilen öncül bulgular aracılığıyla çiftlik gelir ve giderlerindeki değişim açıkça ortaya konmuş ve agrivoltaik sistemlerin çiftçiler açısından finansal fizibilitesi değerlendirilmiştir (Şentürk, 2023). Tarımsal faaliyetlerin ve enerji üretim kapasitesinin yüksek olduğu ülkemizde agrivoltaik sistemlerin performansını verimlilik yaklaşımı ile değerlendiren bir araştırma ise henüz yapılmamıştır. Bu çalışmanın amacı, söz konusu boşluğu doldurmak üzere kurulu bir agrivoltaik sisteme dayalı veriler üzerinden arazi verimliliğinin hesaplanmasıdır. Türkiye’de agrivoltaik arazi verimliliğinin, yalnızca marjinal arazilere kurulmasına izin verilen ve altında tarımsal faaliyetlerin gerçekleştirilmediği güneş enerji santralleri ile karşılaştırılmasının, ülkemizde tarımsal sürdürülebilirliğe katkı sunacak politikaların üretilmesi açısından önemli bir katkı sunabileceği düşünülmektedir.



Şekil 1. Komşuköy agrivoltaik pilot sahasından görüntüler

Biyoçeşitliliğe dayalı doğal tarım ve literatürde kabul gördüğü ismiyle ilaçsız tarıma (pesticide-free agriculture) dayalı ilk agrivoltaik çalışma olarak bu makalenin temel hedefi, arazinin ikili kullanımı (elektrik ve biyokütle üretimi) sonucunda arazi verimliliğindeki değişimi ortaya koymaktır. Söz konusu yeniliği sürdürülebilir bir çiftlik modeli tasarımıyla birleştiren bu çalışmada agrivoltaik sistemlerin; uygun koşullar altında arazi verimliliğini önemli ölçüde arttırmak suretiyle gıda güvenliği ve enerji ihtiyacını karşılamak için etkin bir araç olabileceği; küçük çiftçiliğe ekonomik olarak destek sağlayabileceği ve iklim değişikliğine karşı uyum ve direnç kazandırabileceği; kent çeperindeki tarım alanlarının korunmasına katkıda bulunabileceği ve genel olarak sürdürülebilir tarım tekniklerinin yaygınlaşmasına destek olacağı; önemli bir tarım politikası aracı olabileceği gibi birçok katkı alanı ile birlikte faydalarının ortaya konması amaçlanmaktadır.

Bu doğrultuda, ilerleyen bölümlerde ilk olarak agrivoltaik sistemleri arazi verimlilik yaklaşımı ile ortaya koyan çalışmalar incelenmektedir. Diğer bölümde ise arazi verimlilik analizinin temel yöntemi olan “Arazi eşdeğer oranı” açıklanmakta ve Komşuköy agrivoltaik sahasına ilişkin teknik bilgiler ve sahadan elde edilen veriler sunulmaktadır. Analiz kısmında mahsul verimliliğindeki artış ve elektrik üretimi tahminlerine dayalı olarak hesaplanan arazi eş değer oranına ilişkin elde ettiğimiz bulgular, son bölümde uluslararası çalışmalar ve ayrıca yenilenebilir enerji ve sürdürülebilir tarım politikaları çerçevesinde tartışılmaktadır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Agrioltaik sistemlerin faydalarını ortaya koyan çalışmalar arasındaki ortak temel yaklaşımlardan biri, farklı ürün/üretim yöntemlerinin birlikte gerçekleştiği arazilerin verimlilik değerlendirmesidir. Arazi verimliliğindeki artış; her iki üretim faaliyetinin birleştirilmesi sonucunda değişen verimlilik yüzdelerinin toplanması yoluyla elde edilir (Şekil 2). Çalışmalar, agrivoltaik arazilerde verimliliğinin geleneksel yere monte edilen GES'lere ve yalnızca tarımsal faaliyet yapılan arazilere göre önemli oranda artış meydana geldiğini göstermektedir. Örneğin Dupraz ve diğerleri (2011), arazi verimliliğinin %60-70 arasında artış gösterdiğini saptamışlardır. Trommsdorff ve diğerleri (2020, 2021), Almanya’da yaptıkları çalışmaya göre arazi verimliliğinin neredeyse %90; Hindistan’da gerçekleştirdikleri çalışmaya göre ise yaklaşık iki kat arttığını hesaplamışlardır.

Agrioltaik alandaki verimlilik yaklaşımında esas alınan yöntem ise yaygın olarak LER değerinin hesaplanmasıdır. Tarımsal üretim ve fotovoltaik üretimin birlikte uygulandığı arazilerde, ayrı uygulamaları durumundan daha büyük çıktı sağlanması, agrivoltaik sistemlerin etkinliğinin geçerliliği için bir ön koşuldur.

Bu nedenle LER değerinin 1 (bir)'in üzerinde olması beklenir.⁶ Nitekim LER hesaplamasına dayanan neredeyse tüm çalışmalarda farklı agrivoltaik sistemler için bulunan LER değerleri 1,1-2,9 arasında değişiklik göstermektedir (Tablo 1). Yalnızca bir çalışmada üç farklı panel sistemi arasında “kuzey güney yönünde eğimli panel” ve “dikey panel” sistemleri için bulunan LER değeri 1'e çok yakındır (Ahmed ve diğerleri, 2022).

Farklı iklim ve panel sistemlerine göre tarımsal ürünlerde verim kaybı yaşanabileceği gibi özellikle kurak bölgelerde ya da kuraklık yaşanan dönemlerde ya da yarı saydam panel sistemlerinde tarımsal verim artabilmekte ya da önemli bir değişim gözlenmeyebilmektedir. Elektrik üretiminde ise geleneksel panellere göre verim kaybı çoğunlukla daha yüksek olabilmektedir. Fakat yeniliğin özündeki felsefe, tarımsal üretimin her zaman önceliklendirilmesidir ve bunu sağlamak için enerji üretimindeki kayıplar göz ardı edilmekte ve sistemin optimizasyonu bu öncelik ve önkabule göre tasarlanmaktadır (Schindele ve diğerleri, 2020). Bu nedenle panel yapısının hem gölgeleme hem de arazide kapladığı konstrüksiyon alanının mahsul verimliliğine etkisini minimize edecek teknolojilerin geliştirilmesi önemlidir. Söz konusu amaç doğrultusunda yapılan optimizasyon çalışmalarında uygun gölgeleme oranlarında mahsul veriminin olumsuz etkilenmediğine yönelik önemli sonuçlar elde edilmiştir (Marrou ve diğerleri, 2013; Valle ve diğerleri, 2017; Barron-Gafford ve diğerleri, 2019; Sekiyama ve Nagashima, 2019; Hudelson ve Lieth, 2021). Böylece gıda ve enerji üretimini optimize eden uygun agrivoltaik sistemlerin ekonomik bağlamda yaygınlaşma olanakları artmıştır (Marrou ve diğerleri, 2013).



Şekil 2. Agrivoltaik sistemlerde arazinin ikili kullanımı

Şimdiye dek agrivoltaik sistemler üzerine yapılan araştırmaların önemli bir kısmı simülasyon çalışmalarından oluşmaktadır. Pilot alan üzerine yapılmış deneye dayalı çalışma sayısı oldukça azdır (Valle ve diğerleri, 2017; Barron-Gafford ve diğerleri, 2019; Andrew ve diğerleri, 2021; Trommsdorff ve diğerleri, 2020; Trommsdorff ve diğerleri, 2023). Hem simülasyona hem de deneye dayalı araştırmalar arasında arazi verimliliği hesaplayan çalışmalara ait bulgular ise Tablo 1'de sunulmaktadır.

Avrupa'da ilk agrivoltaik sistem, Fransa'da kurulmuş olup Dupraz ve diğerleri (2011)'ne ait öncül araştırmada buğday üretimine dayalı bir agrivoltaik çiftlik modeli üzerinden tahminlenen veriler, biyoyakıt üretimine dayalı sistemler ile karşılaştırılmıştır. Sabit panellere ait farklı gölgeleme oranlarına göre (düşük ve yüksek olmak üzere) arazi verimliliğinin %60-70 arasında arttığı tespit edilmiş ($LER_{max}=1,73$) ve agrivoltaik sistemlerin, biyoyakıt üretimine dayalı sistemlere göre çok daha fazla verimli olduklarına dikkat çekilmiştir. Sabit panellere yönelik bir tahminleme ise Beck ve diğerleri (2012)'ne aittir. Agrivoltaik sistemler kapsamında yetiştirilebilecek ürünleri gölgeye duyarlılık anlamında üç kategoriye ayırmışlardır. Buna göre panel sistemi altında verimlilik düşüşü gösterebilecek ürünler olarak mısır, buğday ve bahçe bitkileri gibi (hortikültür) ürünler; olumsuz etkilenmeyecek ürünler olarak çavdar, yulaf ve pancar; gölgeden dolayı verim artışı beklenebilecek ürünler olarak patates, yeşil yapraklılar (salata) ve ıspanak örnekleri üzerinden yaptıkları sınıflamada, gölgede verim değişimi beklenmeyen ve verim artışı beklenen ürün grupları üzerine geliştirdikleri modellerde LER değerleri sırasıyla 1,6 ve 1,9 arasında bulunmuştur.

Hareketli panele dayalı agrivoltaik sistem üzerine yapılan ilk çalışmada ise arazi verimliliğinin 1'den büyük (1,35-1,73) olduğu gösterilmiştir; bu da aynı miktarda enerji ve biyokütle üretmek için ayrı arazilerde gözlemlenen üretimlere kıyasla agrivoltaik sistemlerde %35 ila %73 oranında daha az arazi alanına ihtiyaç duyulacağını göstermektedir (Valle ve diğerleri, 2017). Amaducci ve diğerleri (2018) ise yaklaşık 40 yıllık iklim verisi kullanarak mısır üretimi üzerine yaptıkları simülasyon çalışmasında; agrivoltaik sistemlerdeki elektrik üretim miktarını, mısırın biyogaz elde etmek amacıyla yetiştirildiği durumda elde edilen elektrik üretim miktarı ve geleneksel yere monte edilen GES ile elde edilen elektrik üretim miktarı ile karşılaştırmışlardır. Her iki durumda, agrivoltaik sistemlerin arazi verimliliği diğerlerine göre maksimize ederek enerji üretimi iki katına çıkabilmektedir. Böylece yenilenebilir enerji üretimi alanında agrivoltaik

⁶ Örneğin LER değerinin 1,5 bulunması şu durumu ifade etmektedir: 100 dekarlık bir agrivoltaik arazide üretilen mahsul ve enerji, aynı miktarda fakat ayrı olarak üretilmek istenirse, toplamda 150 dekarlık bir araziye ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıntılı bilgi için çalışmanın üçüncü kısmı (3.4.) incelenebilir.

sistemlerin biyoyakıt ve geleneksel yere monte edilen GES'lere göre daha verimli oldukları savunulmaktadır.

Ahmed ve diğerleri (2022) altı farklı ülkede (Vietnam, Bangladeş, Çin, Hindistan, Mısır ve Brezilya) belirledikleri pirinç yetiştirme alanları üzerindeki simülasyon çalışmalarında üç farklı panel sisteminin (sabit ve çift yüzü olmak üzere yatay, dikey ve eğik) arazi eş değer oranı değerlerini hesaplamışlar ve bu kapsamlı çalışmaya göre incelenen ülkelerin neredeyse tümü için en yüksek LER değerini, yatay panel sisteminde saptamışlardır.

Trommsdorff ve diğerleri (2021) Almanya'da organik üretim yapan bir çiftlikte kışlık buğday, kereviz, yonca ve patates üzerine yaptıkları çalışmada, inceledikleri agrivoltaik çiftliğin arazi eş değer oranını yere kurulu GES'ler ile kıyasladıklarında, mahsul verimliliğindeki artışla beraber kurak dönemde arazi verimliliğinin neredeyse %90'a kadar arttığını ortaya koymuşlardır. Riaz ve diğerleri (2021) ise yine farklı panel sistemlerine ait LER değerlerini inceledikleri çalışmalarında, lahana üretim miktarını en az %80 oranında korumak koşuluyla farklı gölge duyarlılıklarına göre LER oranını 1,33 ve 2,9 arasında bulmuşlardır. Katsikogiannis ve diğerleri (2022), Amerika Birleşik Devletleri'nin Boston şehrinde yaban mersini üzerinde farklı fotovoltaik sistemler ile oluşturdukları modele ait elektrik üretimi, geleneksel yere monte edilen panellere göre %33 düşüş göstermiş olsa da arazi verimliliğini optimize eden en uygun sistem olan doğu-batı takipli panellerin kullanılmasıyla LER değerinin %50 artış gösterdiğini ortaya koymuşlardır.

Çok yıllık bitkiler üzerine yapılan çalışmalar arasında Trommsdorff ve diğerleri (2023)'nin elma yetiştiriciliği yapılan üç farklı agrivoltaik çiftlikte gerçekleştirdikleri ekonomik performans analizine göre arazi eşdeğer oranı, mahsul veriminde değişim olmadığı varsayımı altında, ortalama 1,54 olarak tahmin edilmiştir. Casares de la Torre ve diğerleri (2022)'nin İspanya'da zeytin çiftliğinde ise arazi verimlilik değerinin %47,2 oranında arttığını saptamışlardır. Mahsul üretiminden farklı olarak hayvancılığa ilişkin Andrew ve diğerleri (2021) tarafından yapılmış bir çalışmaya göre ise, koyun eti verimliliğinde önemli bir değişim saptanmazken çayır verimliliğinde düşüş bulunmuş fakat arazi verimliliğinin 1,68-2,04 arasında arttığı tespit edilmiştir. Buna göre mevcut çalışmada geleneksel açık meralara kıyasla agrivoltaik çiftlikte toplam yıllık otlak veriminin daha düşük olmasına rağmen, enerji ve mera tabanlı koyun eti üretiminin birleştirilmesinin büyük avantaj sağladığı görülmüştür.

Sebze ve meyve üretimi üzerine yapılan çalışmalar sonucunda LER değerlerinin 1,5 ve üzerinde saptanmış olduğu görülmektedir. Konvansiyonel tarıma dayalı olan mısır, pirinç, buğday gibi ürünlerde ise arazi verimlilikleri daha düşük bulunmuştur. Elbette elde edilen veriler, önemli oranda sabit, güneş takipli, farklı yükseklik ve sıklıkta kurulan panel teknolojilerine bağlı olarak değişmektedir (Tablo 1).

3. YÖNTEM

3.1. Agrovoltaik Çiftlik Modeli

İstanbul Beykoz'da 18 dekar üzerine kurulan Komşuköy Çiftliği içinde yer alan agrivoltaik pilot sahası, 2022 yılında Enerjisa üretim ortaklığıyla kurulmuştur. Referans alanıyla beraber yaklaşık 700 m²dir (Şekil 3). Bölge Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına göre yazları sıcak ve kurak geçen ılıman iklime sahiptir (Peel, ve diğerleri (2007)) ve Tablo 2'de yer alan teknik bilgilere göre yıllık yataya gelen toplam ışım miktarı yaklaşık 1450 kW/m²'dir. Çiftlikte doğal tarım yöntemleri uygulanmaktadır ve pilot alanda aynı yöntemlerle 7 farklı ürün (yaban mersini (blue ve cargon), biberiye, patlıcan, karnabahar, brokoli, biber (dolmalık, sivri, kapyra), salatalık) kimyasal ilaç kullanılmadan yetiştirilmektedir. Sulama, elektrik enerjisiyle çalışan damlama sistemiyle gerçekleştirilmektedir.

Santral teknolojisi ise; güney-batı yönünde (Güneye yönelim [Azimuth] açısı⁷: -23°) yerleştirilen sabit açılı güneş enerjisi santralının taşıyıcı yüksekliği 3 m'dir. Panellerin eğim açısı 21°'dir. Paneller homojen dağılımla aralarında yaklaşık 1,2 m boşluk olacak şekilde yerleştirilmiştir. 4 diziden oluşan panel sıraları arası yaklaşık 3 m'dir. Agrovoltaik santralin kurulu olduğu arazi 373 m² olmakla beraber panellerin arazi üzerinde kapladığı toplam alan 80 m²'dir. Paneller çift yüzü tasarıma sahiptir ve iki yüzeyinden de elektrik üretebilmektedir. Santralin kurulu güç kapasitesi 21,4 kWp'tir. Sistem elektrik şebekesine bağlantısız olarak çalışmaktadır ve tamamen öztüketime dayalı olarak işletilmektedir. Çiftliğin 24 kW'lık çok kısıtlı bir enerji depolama sistemi bulunmaktadır.

⁷ Güney 0°, doğu -90° kabul edilerek tanımlanmıştır.

Tablo 1. Arazinin verimlilik değerine ilişkin (LER ölçümü yapan) çalışmalara ait bulgular

Yer	Tarımsal faaliyet ve ürün	Panel Özellikleri	Arazi Eşdeğer Oranı (LER değeri)	Kaynak
Montpellier, Fransa	Konvansiyonel çiftlik (durum buğdayı)	Tam aralık Yarım aralık	1,32 1,64	Dupraz ve diğerleri (2011)
Central Europe	Konvansiyonel çiftlik (mısır, buğday, ispanak)	Sabit	1,6-1,9	Beck ve diğerleri (2012)
Montpellier, Fransa	Geleneksel sebzeçilik (marul)	Sabit Hareketli	>1,5	Valle ve diğerleri (2017)
Montpellier, Fransa	Geleneksel sebzeçilik (marul)	Tam aralık Yarım aralık	>1	Elamri ve diğerleri (2018)
Po Valley, Kuzey İtalya	Konvansiyonel çiftlik (mısır)	Sabit Hareketli	1,23-2,05	Amaducci ve diğerleri (2018)
Kuzey Kafkasya, Rusya	Konvansiyonel çiftlik (Pancar ve marul)	Sabit eğimli	1,45-1,7	Kostik ve diğerleri (2020)
Baden- Württemberg, Almanya	Organik tarım (patates) (kereviz) (yonca) (kışlık buğday)	Sabit/eğimli/ çift yüzlü	1,57-1,86 1,56-1,87 1,67-1,70 1,56-1,78	Trommsdorff ve diğerleri (2021)
Lahore, Pakistan	Konvansiyonel çiftlik (Marul)	Dikey, tek yüz (kuzey-güney) Dikey, Çift yüz (doğu-batı)	1,33-2,2	Riaz ve diğerleri (2021)
Vasterås, İsveç	Konvansiyonel çiftlik (yulaf ve patates)	Sabit dikey/ çift yüzlü	1,2	Elia Campana ve diğerleri (2021)
Güney Doğu Hindistan	Konvansiyonel çiftlik çeltik (pirinç)	Dikey sabit	1,27-1,55	Vijayan ve diğerleri (2021)
Giang, Vietnam	Konvansiyonel çiftlik çeltik (pirinç)	-Sabit dikey	0,9-1,2	Ahmed ve diğerleri (2022)
Dakka, Bangladeş		-Sabit yatay -Sabit eğik olmak üzere üç farklı çift yüzlü panel sistemi	1,0-1,1	
Jiangsu, Çin			1,2-1,3	
Damietta, Mısır			1,2-1,45	
Rio Grande do Sul, Brezilya			1,35-1,55	
Haryana, Hindistan			1,35-1,5	
İspanya	Konvensiyonel bağcılık (üzüm)	Sabit dikey, tek ve çift yüzlü panel sistemi	1,27-1,5	Padilla ve diğerleri (2022)
Boston, ABD	Konvensiyonel çiftlik (yaban mersini)	Sabit eğimli, dikey ve hareketli olmak üzere üç farklı panel sistemi	1,5	Katsikogiannis ve diğerleri (2022)
Gelsdorf, Almanya	Organik tarım (elma)	Sabit eğimli, dikey ve hareketli olmak üzere üç farklı panel sistemi	1,54*	Trommsdorff ve diğerleri (2023)
Kressbronn, Almanya	Konvansiyonel tarım (elma)			
Bavendor, Almanya				
Oregon, ABD	Koyun yetiştiriciliği çayır (ot) koyun (canlı ağırlık)	Sabit eğimli, geleneksel yere monte güneş panelleri	1,81 2,04	Andrew ve diğerleri (2021)

Not: * çiftliklerin ortalama değerlerini göstermektedir.



Şekil 3. Komşuköy agrivoltaik alanı uydu görüntüsü

Tablo 2. Komşuköy agrivoltaik sahasına ilişkin teknik bilgiler

Özellik	Birim	Veri/Bilgi
Yer	enlem - boylam	41,128877° - 29,272742°
Toplam alan	m ²	687
Agrivoltaik alan	m ²	387
Referans alan	m ²	300
Kaplama oranı ⁸	%	24,62
Yataya gelen toplam ışımaya (GHI)	kW/m ² /yıl	1450
Performans oranı ⁹	%	89,37
PV bozunma oranı (degradation)	%/yıl	0,4
Panel ömrü	yıl	25-30
Kurulu güç kapasitesi	kWp	21,4
Yıllık elektrik üretim miktarı	MWh/yıl	30,57
Tarımsal faaliyet grubu	---	Hortikültür
Ekilen tarımsal ürün grupları	Sebze, meyve ve aromatik bitkiler	Yaban mersini (blue ve cargon), biberiye, patlıcan, karnabahar, brokoli, biber (dolmalık, sivri, kapyra), salatalık
Sulama yöntemi	---	Damlama (elektrik enerjisi)

3.2. Tarımsal Üretim

Çiftlikte gerçekleştirilen tarımsal faaliyetler sürdürülebilir tarım tekniklerine uygun olarak yürütülmüş ve ekim sezonu öncesinde toprak analizi yapılmış olup panel altı ve kontrol alanındaki toprak yapısının benzer özelliklere sahip olduğu tespit edilmiştir. Toprak ihtiyacına göre doğal gübre kullanılmış ve zararlılarla mücadelede ise mekanik yöntemler arasında el ile müdahale, ayrıca biyolojik preditörler (yaban arısı, ördek, keçi) ve kardeş bitkiler olarak adlandırılan aromatik bitkiler (örneğin tuta zararlısı için lavanta) kullanılmıştır. Hem kontrol hem de agrivoltaik alanda bitki başına aynı miktarda sulama yapılmıştır. Her bir bitki grubu, birer sıra olarak kuzey-güney yönlerinde ekilmiş olup en batıda yer alan sırada yaban mersini (blue) ve en doğuda kalan sırada ise salatalık ekimi yapılmıştır (Şekil 4).

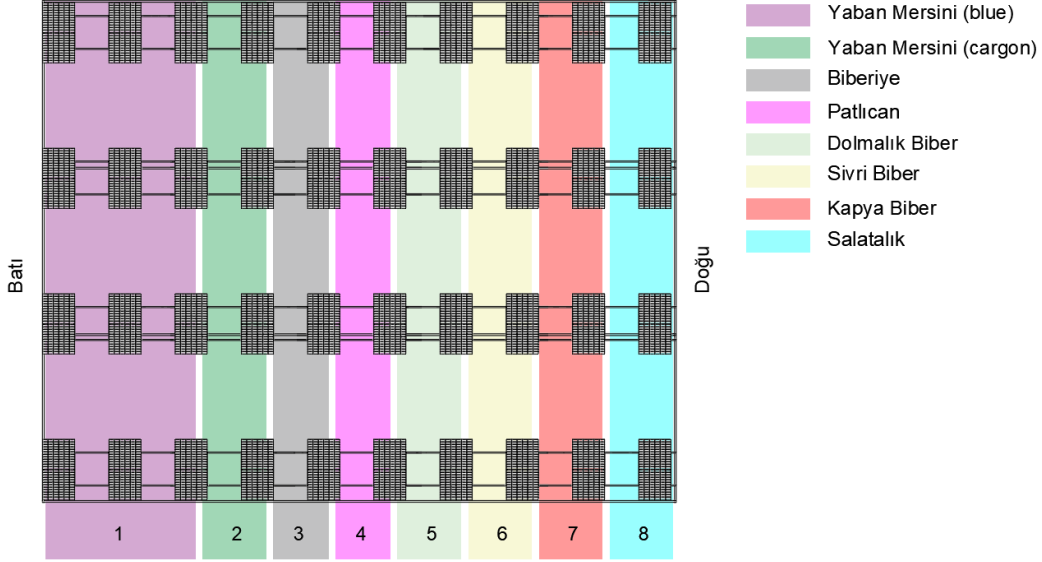
Şekil 4'te modellenen tarımsal ürünler arasında yaz mevsimine denk gelen ilk hasat döneminde yaban mersini, biberiye, patlıcan, biber çeşitleri ve salatalık olmak üzere toplamda 5 temel ürün (8 çeşit) hasat edilmiştir. Brokoli ve karnabahar hasadı kış döneminde gerçekleşecektir. Hasat miktarlarına ait veriler, biberiye hariç, diğer ürünler için kilogram cinsinden kayıt altına alınırken, biberiyenin küçük yapraklı olmasından dolayı hasat miktarı desimetreküp üzerinden ölçülmüştür. Her bir veri, bitki başına ortalama hasat miktarını ifade etmektedir (Tablo 4).

Tarımsal üretime ilişkin bulgular ayrıntılarıyla dördüncü bölümde sunulmakta olup tarımsal faaliyetlerin sürdürüldüğü dönemde panel altında ve açık alandaki bitki gelişimine ilişkin gözlemlerin özetlenmesi, ilerleyen kısımda bulguların yorumlanması açısından önemlidir. Buna göre panel altındaki bitki bünyelerinin açık alandaki bitkilere göre belirgin şekilde daha canlı ve verimli geliştiği önemli bir gözlemdir (Biberiyedeki gelişim farkı için bkz. Şekil 5). Gövde gelişimi sonucunda ise ilerleyen dönemde hasat miktarının olumlu yönde etkilenmiş olduğu gözlemlenmiştir. Bu gözlem, bitkilerin ekim dönemine denk gelen ve nispeten serin geçen günlerde gelişim aşamalarını panel altında daha az stresle tamamlamış olabilecekleri ve bu nedenle daha sağlıklı bir kök ve bağışıklık sistemine sahip olabilecekleri şeklinde yorumlanabilir. Diğer bir olasılık,

⁸ Kaplama oranı; panellerin yatay izdüşüm alanının toplam arana oranıdır.

⁹ Performans oranı; güneş enerjisi santrali üretim performansının IEC 61724 standartına göre hesaplandığı büyüklük.

büyüme döneminde paneller altında yeterli seviyede ışık alamayan bitkilerin daha fazla ışığa ulaşabilmek için gövde gelişimlerini maksimize etmeye çalışması (Gruntman ve diğerleri, 2017) ile açıklanabilir. Nitekim Zervoudakis diğerleri (2012) ve Şeker ve diğerleri (2023)'nin çalışmalarında biberiye bitkisinde gölgeleme etkisi sonucunda bitki boylarının, Rezai ve diğerleri (2018)'nin çalışmasında ise gövde genişliğinin arttığı tespit edilmiştir¹⁰.



Şekil 4. Ürün ekim planı

Diğer bir gözlem ise hasat sezonunda panel altında olan bazı bitkilerin (örneğin kapyra biber) daha uzun süre tazeliğini koruması ve bazı bitkilerde hastalıklara karşı dayanıklılığın artmasından dolayı mahsul kaybının az olmasıdır. Örneğin açık alanda salatalık üretimi, mantar hastalığı sonucunda önemli bir kayıp vermişken, panel altında aynı hastalık yaşanmış olsa da mahsul kaybının daha az olduğu gözlenmiştir. Bu gözlem ise, literatürde gölgeleme ve karışık ekim yöntemlerinin toprak sağlığını arttırdığına ve bu sayede daha sağlıklı ürün ve verimli tarıma olanak sağladığına yönelik bulgular ile açıklanabilir (Menezes ve diğerleri, 2017; Dollinger ve Jose, 2018).

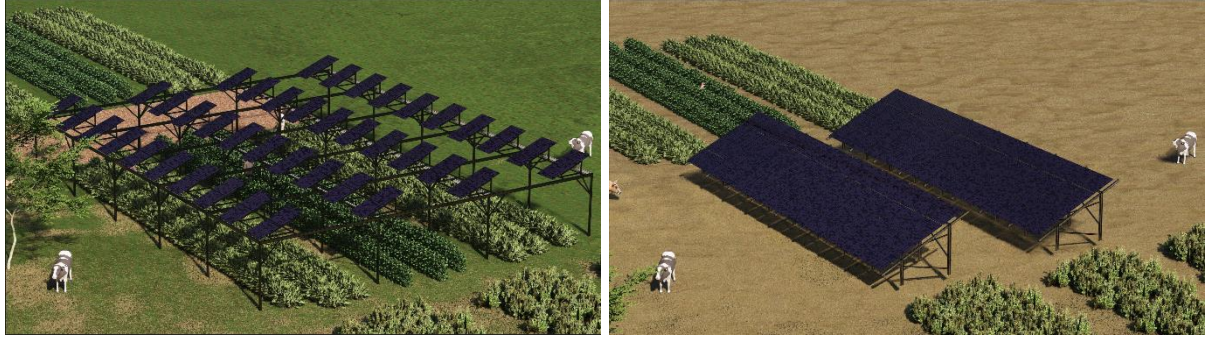


Şekil 5. Biberiye bitkisinin referans açık alanda (solda) ve panel sistemi altındaki gelişimi (sağda)

3.3. Elektrik Üretimi ve Işık Dağılımı

Proje kapsamında Tablo 2'de ayrıntıları sunulan yaklaşık %25 kaplama oranına sahip agrivoltaik sistemin üretim verileri PVsyst yazılımı kullanılarak tahminlenmiştir. Analiz için oluşturulan tasarımın detayları bölüm 3.1'de sunulmuştur. Ayrıca, çalışma kapsamında, enerji üretimine dayalı verimlilik hesaplamalarının yapılabilmesi için aynı alanda geleneksel araziye kurulu olarak enerji üretimi yapılması durumundaki üretim de PVsyst aracılığı ile hesaplanmıştır. Hesaplamalara ait konsept tasarımlar Şekil 6'da sunulmuştur.

¹⁰ Şeker ve diğerleri (2023)'ne ait çalışmada gölge altındaki biberiyede yağ oranının açık alanda yetiştirilen biberiyeye göre arttığı tespit edilmiştir. Bu durum mahsul miktarına ek olarak tıbbi değeri bulunan ürünlerde agrivoltaik sistemlerin kalite (nitelik) değişimine yol açabileceğini de göstermesi açısından önemlidir.



a) Agrivoltaik

b) Arazi kurulumlu GES

Şekil 6. Komşuköy agrivoltaik ve aynı alana geleneksel arazi kurulumlu GES tasarımı

Her iki tasarım için yürütülen PVsyst analizlerindeki detaylar Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3. PVsyst analizinde kullanılan başlangıç verileri

Parametre	Agrivoltaik	Geleneksel Arazi Kurulum
TMY veri olasılığı	P50	P50
Güneye yönelim açısı	-23°	0°
Sistem toplam kaybı	10,6%	13,6%
Tasarım alanı büyüklüğü	387 m ²	387 m ²
Sistem toplam kurulu gücü	21,4 kWp	34,2 kWp
İnverter gücü	20 kW	30 kW
Panel eğim açısı	21°	25°
Performans oranı	89,4%	86,4%

Agrivoltaik tasarımları geleneksel tasarımlardan ayıran önemli özelliği sadece yükseklik kazandırılmış taşıyıcı sistem değil, aynı zamanda tasarımın altında yürütülecek olan tarımsal faaliyet süresince bitkilerin üzerine düşen ışık dağılımındaki değişimdir. Agrivoltaik sistem altındaki bu değişim bitkinin aktif fotosentez dönemini doğrudan etkilemekte ve verimliliği değiştirebilmektedir. Bu etkinin olası sonuçlarının yorumlanabilmesi için tasarım altında yürütülecek tarımsal aktivitedeki bitki türlerinin maruz kalacağı ışık dağılımının yüzdesel değişimi, tarım uzmanına sayısal veri ile sunulmalıdır. Bu sayısallaştırma için bu çalışmada Rhinoceros programı ve Ladybug aracı kullanılarak projenin kurulduğu koordinata özel olarak ışık dağılımı analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analizler sonrasında elde edilen agrivoltaik sistem altındaki ve açık alandaki ışık dağılımındaki değişim aktif fotosentezin (PAR) bir fraksiyonu olarak Eşitlik 1 ile hesaplanmış ve aylık bazlı yıllık ortalama değer olarak ele alınmıştır (Trommsdorff ve Johanna, 2016).

$$PAR(d) = \frac{G_{hor}(d; \alpha; panel\ alti)}{G_{hor}(referans\ alan)} \times 100 \quad (1)$$

Burada G_{hor} zemine gelen toplam yatay ışımının hektar başına (kWh/ha) büyüklüğüdür; α panel açısı ve d ise paneller arası mesafedir.

3.4. Verimlilik Analizi: Arazi Eşdeğer Oranı (LER)

Arazi Eşdeğer Oranı (Land Equivalent Ratio), bir arazi parçasının aynı zamanda iki veya daha fazla ürün veya üretim sistemi tarafından kullanılabilirliğini ölçen bir yöntemdir ve ilk olarak sürdürülebilir tarım pratiklerinden biri olan "nöbetleşe ekim" in etkinliğini ölçmek için kullanılmıştır (Mead ve Willey, 1980). Aynı arazide ürünlerin her sezonda farklı yerlere ekimi yoluyla arazideki verim artışını ortaya koyan bu hesaplama yöntemi, daha sonra farklı tarımsal üretim sistemlerine de (örneğin tarımsal ormancılık/agroforestry) uyarlanmıştır (Newman, 1986). Tarımsal üretim ve elektrik üretiminin birleştirildiği agrivoltaik sistemlerdeki verimi ortaya koyan çalışmalarda LER değerinin kullanımı, tarım ve fotovoltaik enerji üretiminin aynı arazi üzerindeki verimliliğinin aynı araziler üzerinde yapıldığı durumla karşılaştırılması şeklindedir. Temelde LER, agrivoltaik sistemin kurulduğu alanın, agrivoltaik sistemden elde edilen tarımsal ve elektriksel üretime denk bir üretimin aynı arazilerde gerçekleştirilebilmesi için gerekli olan toplam alanla oranını temsil etmektedir ve Eşitlik 2'deki gibi gösterilebilir (Elamri ve diğerleri, 2018).

$$LER = \frac{Y_{tarım, APV}}{Y_{tarım, referans}} + \frac{Y_{enerji, APV}}{Y_{enerji, yere\ kurulum}} \quad (2)$$

LER değeri 1'den büyükse, kombinasyonun, aynı alan üzerinde yalnızca tarım veya enerji üretimi yapmaktan daha etkili olduğunu gösterir.

Bu çalışma kapsamında hesaplanan LER değerleri, agrivoltaik sistemlerin aynı arazide yere monte edilen geleneksel GES'lere ve geleneksel bir çiftliğe göre ne kadar daha verimli olduğunu ortaya koymaktadır. Buna göre formüle uygun hesaplamada kullanılmak üzere eşitlikte verilen değerler; $Y_{tarım, APV}$: Komşuköy Agrivoltaik pilot sahasında panel altındaki alanda elde edilen mahsul miktarlarını (bitki başına); $Y_{tarım, referans}$: Komşuköy Agrivoltaik pilot sahasında açık (referans) alanda elde edilen mahsul miktarlarını (bitki başına); $Y_{enerji, APV}$: Komşuköy Agrivoltaik pilot sahasında mevcut kurulu panel sistemi için hesaplanan elektrik üretim kapasitesini; $Y_{enerji, yere kurulum}$ ise aynı arazide geleneksel GES modellemesi sonucunda tahminleme yoluyla hesaplanan elektrik üretim verilerini ifade etmektedir.

4. BULGULAR

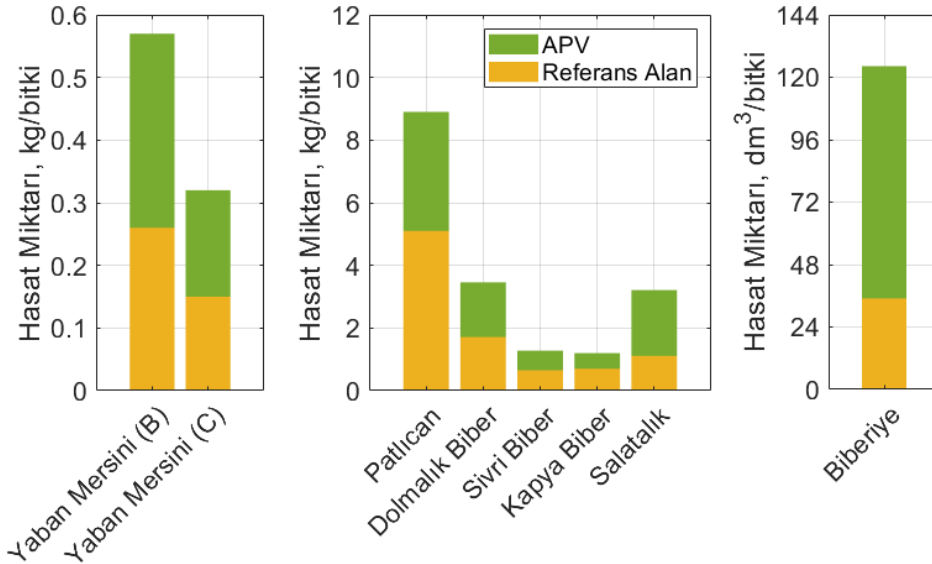
4.1. Tarımsal Üretime İlişkin Ampirik Bulgular

Sekiz farklı bitki çeşidinin panel altında ve açık alandaki üretim miktarları bitki başına düşen değerler olarak Tablo 4'te verilmektedir. Her bir ürünün verimlilik artışları Şekil 5'te gösterilen grafikte yer almakta olup ürünler meyve, sebze ve aromatik bitki grubu olarak üçe ayrılmıştır.

Tablo 4. Ekilen ürünler ve bitki başına üretim miktarları

	Yaban Mersini (blue) (kg)	Yaban Mersini (cargon) (kg)	Biberiye (dm ³)	Patlıcan (kg)	Dolmalık Biber (kg)	Sivri Biber (kg)	Kapya Biber (kg)	Salatalık (kg)
Açık Alan (referans)	0,26	0,15	35	5,10	1,71	0,65	0,70	1,11
Agrivoltaik alan	0,31	0,17	89,3	3,80	1,75	0,63	0,50	2,10

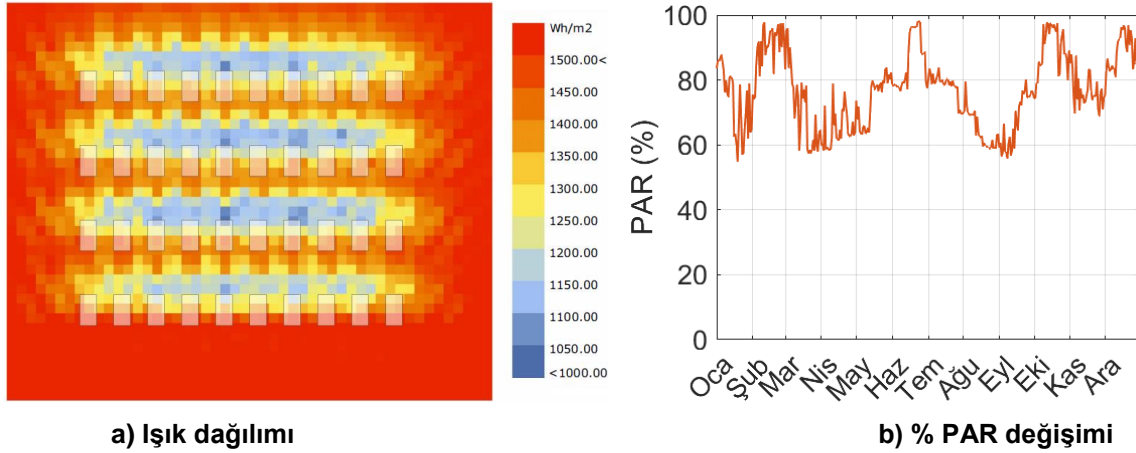
Hasadı yapılan ürünler arasında en yüksek verimlilik değişimi biberiyede görülmektedir. Yaklaşık 2,5 kat artış gösteren biberiyeye ek olarak salatalıkta da yaklaşık %90 verimlilik artışı görülmüştür. Verimlilik değerleri olumlu etkilenen diğer ürünler ise sırasıyla yaban mersini (blue çeşidi için %18 ve cargon çeşidi için %10) ve %2 ile dolmalık biberdir. En fazla verimlilik düşüşü ise %30 azalışla kapya biber üretiminde görülmüş olup patlıcan ve sivri biber üretiminde sırasıyla %25 ve %4 düşüş yaşanmıştır.



Şekil 7. Ekilen ürünler ve bitki başına üretim miktarları

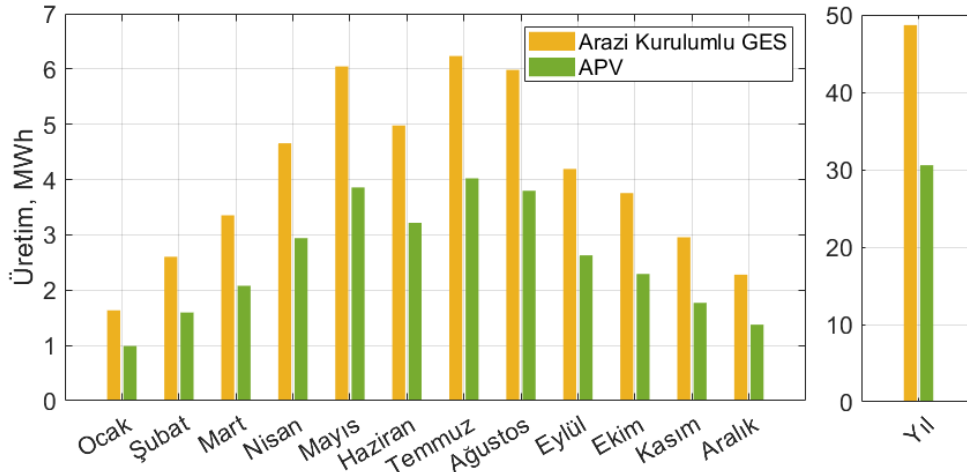
4.2. Enerji Üretimine İlişkin Bulgular

Komşuköy Agrivoltaik sahasına ilişkin bilgiler (Tablo 2 ve 3) ürün ekim planındaki (Şekil 4) gibi tasarlanarak sistemin ışık dağılımı analizi yapılmıştır (Şekil 8a). Yaklaşık %25'lik kaplama oranına sahip agrivoltaik tasarımın altında kalan bazı bölgelerde ışımının yaklaşık 1000 – 1200 Wh/m² değerine düştüğü gözlemlenmiştir. Ancak daha düşük değerde bir dağılım gözlemlenmemiştir. Agrivoltaik altında merkez noktadaki ışık dağılımı sonuçları ve harici alandaki ışık dağılımı sonuçları bağıntı (1)'e göre hesaplanarak PAR'ın fraksiyonu Şekil 8b'deki gibi elde edilmiştir. Sonuçlar, agrivoltaik tasarımın PAR değerini Ocak, Mart, Nisan ve Eylül ayları haricinde %70'in altında düşmediğini göstermektedir.



Şekil 8. Agrivoltaik sistem (APV) altında yıllık bazlı ışık dağılımı ve Eşitlik 1'e göre aktif fotosentez değişimi

Agrivoltaik sistemin güneye yönelim açısı -23° derecedir (Tablo 3). Bu durum geleneksel GES'e göre enerji üretiminin daha düşük olacağı anlamına gelmektedir. Bununla birlikte agrivoltaik santrallerin altındaki ışık dağılımının tarıma elverişli bir seviyede olabilmesi için birim alan başına kurulu güçleri geleneksel arazi kurulumlu GES'lere göre daha düşük olabilmektedir. Bu iki durumun etkisinin sonucu olarak Şekil 9'da sunulduğu gibi 21.4 kWp 'lik kurulu gücü olan agrivoltaik sistemin yıllık toplam üretiminin yaklaşık 30 MWh olacağı hesaplanmıştır. Diğer taraftan aynı büyüklükteki alanda güneye bakılı 25° panel açısı ile tasarlanan geleneksel santralin (Şekil 6b) ise agrivoltaik sisteme göre yaklaşık üçte bir oranında daha fazla üretim yapabileceği (yaklaşık 48 MWh – Şekil 9) hesaplanmıştır.



Şekil 9. Agrivoltaik (APV) ve arazi kurulumlu GES için enerji üretim sonuçları

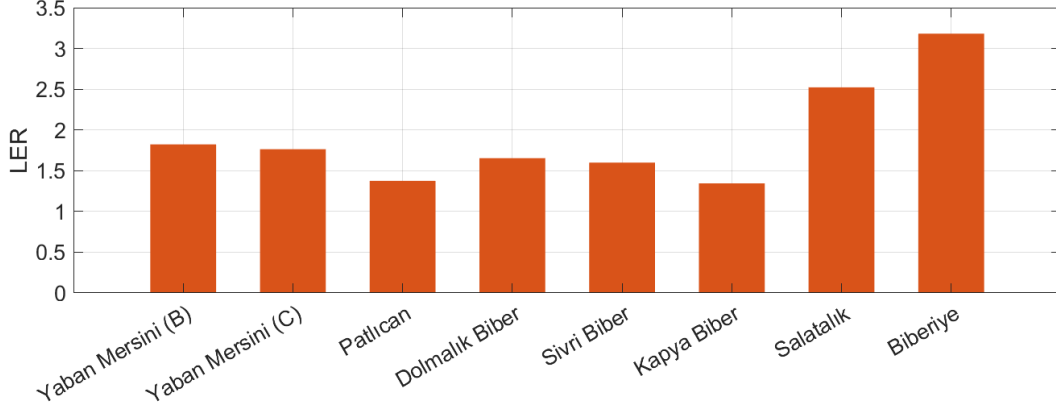
İki güneş enerjisi santral tipi arasındaki üçte birlik fark neredeyse her ayın enerji üretim sonuçlarına yansımaya rağmen bazı kış aylarında bu fark azalmış, yaz aylarında ise daha çok artmıştır. Ancak enerji üretimine ait hesaplamayı yapan Pvsyst yazılımı agrivoltaik sistem altındaki tarımsal üretimden kaynaklı buharlaşma sayesinde panel verimlerinin artması (Barron-Gafford ve diğerleri, 2019) ve buna bağlı olarak santral üretiminin artmasını dikkate almamaktadır. Başka bir deyişle bu enerji üretim hesaplamalarının, saha testlerinde üçte birden daha düşük oranda fark olacak şekilde agrivoltaik lehine sonuçlanması beklenebilir.

4.3. Arazinin İkili Kullanım Verimliliği: LER Analizi

Arazinin ikili kullanımına yönelik verimlilik analizleri Eşitlik 2 kullanılarak hesaplanmıştır ve arazide üretilen tarımsal ürünlere ait LER değerleri Şekil 10'da sunulmaktadır. Tüm ürünlerde LER değeri 1'in üzerinde bulunmuş olup Komşuköy agrivoltaik çiftliği, mevcut ürün gruplarına göre etkili bir performans göstermiştir.

En büyük LER değeri 3,3 ile aromatik bitki grubunda yer alan biberiyeye aittir. LER değerinin bu kadar yüksek çıkması, panel altındaki mahsul miktarının açık alandaki mahsul miktarının 2,5 katı olmasından kaynaklanmaktadır. Bu verim artışının biberiyenin gölgede yetişmeye uygun bir bitki olmasından (Şeker ve diğerleri, 2023) kaynaklandığı düşünülmektedir. Verimlilik artışı oldukça yüksek tespit edilen bu ürünün

agrivoltaik sistem altında ekilmesi sonucunda arazi verimliliği 3,3 kat artmaktadır. Başka bir deyişle agrivoltaik sistem kapsamında elde edilen biberiye miktarı ve elektrik miktarının ayrı arazilerde üretilmesi durumunda 3,3 kat daha fazla arazi gerekmektedir. Panel altında verimlilik düşüşünün %30 ile en yüksek olduğu kapy biber için hesaplanan LER değeri (1.33)'ne göre arazinin ikili kullanımından kaynaklanan verimlilik ise %33 artmaktadır. Sonuç olarak her ürün çeşidinde arazi verimliliğinin önemli ölçüde arttığı saptanmıştır.



Şekil 10. Tarım ürünlerine göre LER değerleri

5. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Bu çalışma kapsamında Enerjisa Üretim ortaklığıyla İstanbul, Türkiye'de kurulan ilk yükseltilmiş sabit panel sistemine sahip Komşuköy Agrivoltaik Çiftlik sahasında gerçekleştirilen hortikültür tarzi tarımsal faaliyetler incelenmiş ve arazinin ikili kullanımı (elektrik ve biyokütle üretimi) sonucunda arazi verimliliğinin %33-%230 arasında arttığı ortaya konmuştur. Literatürde de belirtildiği gibi, 1'den büyük LER değeri, arazinin tarım ve enerji üretimi amaçlı ikili kullanımının, aynı alan üzerinde yalnızca tarım veya yalnızca enerji üretimi yapmaktan daha etkili olduğunu ifade etmektedir. Çalışmamıza ait bulgular ilaçsız tarıma dayalı ve küçük ölçekli sürdürülebilir bir çiftlik modelinde arazi verimliliği açısından agrivoltaik sistem altında gerçekleştirilen tarımsal üretim faaliyetlerinin olumlu performansını ortaya koymaktadır. Üstelik ekilen sekiz çeşit bitkinin önemli bir kısmında miktara dayalı verim artışı tespit edilmiştir.

Agrovoltaik alandaki diğer araştırmalar, arazi verimliliğinin iki katına kadar çıkabildiğini göstermektedir (örneğin konvansiyonel marul üretimi için bkz. Riaz ve diğerleri, 2021). Bu çalışmaya ait bulgular ise, literatürdeki çalışmalar arasında özellikle sebzeçiliğe dayalı agrivoltaik sistem verimlilikleri ile uyumluluk göstermiştir. Ancak literatürde daha önce çalışılmamış bir bitki sınıfı olarak tıbbi ve aromatik bitkilerden olan biberiye üretimindeki verim artışı, arazi verimlilik değerine de yansiyarak literatürdeki bulgulara göre oldukça yüksek bir LER değeri ortaya koymuştur. Bu anlamda, biberiye tarzi aromatik bitkilerin agrivoltaik sistemler ve sürdürülebilir gıda sistemleri içindeki potansiyeli için daha ayrıntılı (agronomik nitelik ve ekonomik değerlendirmelere dayalı) çalışmaların yapılması önemlidir.

Hububat ve yağlı tohumlar gibi görece büyük arazilerde ve monokültüre dayalı tarımsal alanlarda agrivoltaik sistemlerin inşası, sebze ve meyveciliğe ve kısmen biyoçeşitliliğe dayalı daha küçük arazilere göre daha maliyetlidir. Bu durum başta arazinin büyüklüğünden kaynaklandığı gibi, tarımsal makine ve teçhizatların monokültürel tarımda daha yoğun olması ve belirli bir yükseklik ve sağlamlık gerektirmesidir. Söz konusu yenilikçi yaklaşımın bu sebeplerle sürdürülebilir tarım tekniklerine dayalı çiftlikler için daha verimli sonuçlara yol açtığı söylenebilir. Agrivoltaik sistemlerin refahın adil dağılımını gözetilen politikalar doğrultusunda yaygınlaşması, küçük çiftçiliği ve gıda güvenliğini destekleyebilecek potansiyeli de ortaya çıkarabilecektir. Sürdürülebilir tarım uygulamaları alanında ülkemizde desteklerin yeterli olmaması, çiftçilerin bu tür uygulamaları benimseme olanaklarının oldukça düşük olması ve mevcut gıda sisteminin ağırlıklı olarak konvansiyonel tarıma dayalı olması karşısında, özellikle sürdürülebilir teknikleri benimseyen çiftliklerin yenilenebilir enerji ile desteklenmesi, bu tür çiftliklerin hem ekonomik yönden yaygınlaştırılmasını kolaylaştıracak hem de tanınırlığını ve ilgi çekiciliğini arttırabilecektir.

Bir agrivoltaik sistemin uygunluğunun değerlendirilmesi için temel göstergelerden biri panellerin tarımsal alandaki mikro iklimi ve bundan kaynaklanan ürün verimliliğini ne şekilde etkilediğidir (Weselek ve diğerleri, 2021). Bu çalışma kapsamında ölçülen tüm bitki örneklerinde arazi verimliliğinin artıyor olmasının yanında ürün verimliliğinin de olumlu etkilendiği bazı bitki türleri tespit edilmiştir. Fakat paneller altında toprak sağlığı, toprak besin değeri, bitki besin değeri, tat ve kalitesi gibi fizyolojik değişimlerin izlenmesi ve sinerjik etkilerden biri olarak tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan etkilerle (örneğin bitkilerin daha serin bir ortam yaratması, malç örtülerinin ışık yansımaya etkisi gibi) panel verimliliğindeki değişimlerin ölçülmesi ve tüm

bu konulara ek olarak sulama ihtiyacının da hesaplanması çok önemlidir. Gelecek dönemdeki çalışmalar kapsamında Türkiye’de kurulan pilot sahalarda söz konusu alanların da araştırma kapsamına alınması gerekmektedir. Böylece agrivoltaik sistemlerin hem ekolojik hem de ekonomik faydalarının bütüncül bir değerlendirilmesi mümkün olacaktır. Ayrıca farklı panel teknolojilerinin daha geniş arazilerde denenmesi, agronomik ve ekonomik etkilerin daha rasyonel biçimde ortaya konması açısından da önemli görülmektedir.

Özetle, agrivoltaik sistemlerin hem mahsul hem de yenilenebilir enerji üretimine daha az arazi kullanımına olanak tanıması bakımından oldukça verimli sistemler olduğunu ortaya koyan bu çalışmada sabit panellerle tasarlanmış ilk agrivoltaik Türkiye örneği olarak da öncül bir deneysel çalışma alanı da sunulmuştur. İlerleyen çalışmalarda verimlilik yaklaşımının, aynı zamanda maliyet ve gelirlere yönelik bir hesaplama ile de desteklenmesi önemlidir. Literatürde LER değerlendirmesi yapan diğer çalışmaların da vurguladığı şekilde (Willockx ve diğerleri, 2020; Ahmed ve diğerleri, 2022) agrivoltaik sistemlerden üretilen elektriğin mevcut piyasada nasıl değerlendirildiği, tarımsal ürün fiyatları, pazar olanakları gibi ekonomik değerlendirmeler arazi verimliliğine ilişkin faydaları daha net ortaya koyabilecektir. Bu amaçla ilerleyen dönemlerde, Komşuköy Çiftliği’nde gerçekleştirilecek agrivoltaik faaliyetlere ilişkin finansal fizibilite bilgisinin de üretilmesi ve yeniliğin yaygınlaştırılabilmesi için uygun koşulların belirlenmesi hedeflenmektedir. Agrivoltaik sistemler bu tür bulguların ortaya konması sonucunda hem sürdürülebilir çiftliklerin yaygınlaşmasını hem de yenilenebilir enerji yatırımlarının hızlanmasını aynı anda destekleyebilecektir. Kırsal alanda şebekeye bağlı olamayan çiftliklerde enerji ihtiyacını karşılamak hem maliyetleri düşürmek hem de sulama olanaklarını arttırmak için önemli katkı sunabilirken, kent çeperinde ise şebekeye bağlı olarak yürütülecek agrivoltaik faaliyetler, kentlerin karbonsuzlaşma politikalarını destekleyebilecektir. Kısaca kırsal kesimle beraber kent çeperinde gelişen tarımın desteklenmesinin, kırsal kalkınma ve kentleşme açısından etkin kamu politikaları geliştirilmesi ve enerji politikalarına yön verilebilmesi adına da önemli olduğu düşünülmektedir.

Tüm bu nedenlerle agrivoltaik çalışmaların deneysel alanda desteklenmesi, yaygınlaştırılması ve bu kapsamda üretilen bilgi ve veriler ışığında Türkiye’de tarımsal üretimi destekleyen ve yenilenebilir enerji kullanımıyla birleştiren özel bir yasal zemine ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle şebekeye bağlı agrivoltaik sistemlere ilişkin oluşturulabilecek yasal zemin, kapsamlı ve detaylı mevzuatlarla hayata geçirilebildiği ölçüde hem tarımsal hem de enerji alanındaki sorunlara önemli çözüm olanakları sunabilecektir. Yasal zemine ek olarak Japonya başta olmak üzere Çin, Güney Kore vd. ülkelerde sağlanan teşviklere (Shindele ve diğerleri, 2020) ve ABD’de bu alana özel bütçe ayrılmasına (DOE-USA, 2022) benzer şekillerde Türkiye için agrivoltaik araştırma alanına ek kaynak yaratılması önemli bulunmaktadır.

Bilgilendirme / Acknowledgements

Yazarlar, çalışmadaki bazı üç boyutlu grafiklerin oluşturulmasında verdiği destekten dolayı ODTÜ Mimarlık Bölümünden Dilara Güney’e ve verilerin bilimsel alanda değerlendirilmesi için göstermiş olduğu çabadan dolayı Enerjisa Üretim’den Mehmet Evren Eynehan’a teşekkür eder.

The authors would like to thank Dilara Güney from Department of Architecture at METU for her support in creating some three-dimensional graphics in the study, and Mehmet Evren Eynehan from Enerjisa Üretim for his efforts in scientific evaluation of the data.

Yazar Katkıları / Author Contributions

*Bilge Şentürk: Literatür taraması, Kavramsallaştırma, Metodoloji, Analiz, Makale Yazımı-rijinal taslak
Duygu Kuzkaya: Veri derlemesi, Makale Yazımı-inceleme ve düzenleme
Ömer Yalçın: AgriPV tasarım, Analiz
Uğur M. Akyıldız: Tarımsal üretim, Veri derlemesi;
Murat Eröz: Santral kurulumu, Veri derlemesi
Talat Özden: Analiz, Metodoloji, Değerlendirme, Modelleme, Makale Yazımı*

*Bilge Şentürk: Literature review, Conceptualization, Methodology, Analysis, Writing-original draft
Duygu Kuzkaya: Data Curation, Writing-review and editing
Ömer Yalçın: AgriPV design, Analysis
Uğur M. Akyıldız: Agricultural production, Data Curation
Murat Eröz: Installation, Data Curation
Talat Özden: Analysis, Methodology, Discussion, Modelling, 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 TarımGES (agrivoltaik sistem) kurulumu aşamasındaki tedarik süreçlerinde (panel, konstrüksiyon, batarya, bağlantı malzemeleri vb.) Enerjisa Üretim tarafından fon desteği sağlanmıştır.
Enerjisa has provided funding support for the procurement processes during the installation phase of AgriPV (agrivoltaic system), including panels, construction, batteries, connection materials, etc.

Etik Standartlara Uygunluk / Compliance with Ethical Standards

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

Etik Beyanı / Ethical Statement

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



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

KAYNAKÇA

- Ağır, S., Derin-Güre, P. ve Şentürk, B. (2023a). "Farmers' Perspectives on Challenges and Opportunities of Agrivoltaics in Türkiye: An Institutional Perspective", *Renewable Energy*, 212, 35-49. DOI: 10.1016/j.renene.2023.04.137
- Ağır, S., Güre, P.D. ve Şentürk, B. (2023b). "Türkiye'de Tarım ve Enerjinin Kesişimi, Tarımfv: Güncel Yazın Işığında Bir Ön Değerlendirme", *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 41(Tarım Özel Sayısı), 1-22, DOI: 10.17065/huniibf.1250434
- Ahmed, M.S., Khan, M.R., Haque, A. ve Khan, M.R. (2022). Agrivoltaics Analysis in A Techno-Economic Framework: Understanding Why Agrivoltaics on Rice Will Always Be Profitable"i *Applied Energy*, 323, 119560.
- Altieri, M.A. (1998). "Ecological Impacts of Industrial Agriculture and the Possibilities for Truly Sustainable Farming", *Monthly Review*, Vol 50, No. 3: July-August, <https://doi.org/10.14452/MR-050-03-1998-07>
- Amaducci, S., Yin, X. ve Colauzzi, M. (2018). "Agrivoltaic Systems to Optimize Land Use for Electric Energy Production", *Applied Energy*, 220, 545-561. DOI: 10.1016/j.apenergy.2018.03.081
- Andrew, A. C., Higgins, C. W., Smallman, M. A., Graham, M., ve Ates, S. (2021). "Herbage Yield, Lamb Growth and Foraging Behavior in Agrivoltaic Production System", *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 659175.
- Barron-Gafford, G.A., Pavao-Zuckerman, M.A., Minor, R.L., Sutter, L.F., Barnett-Moreno, I., Blackett, D.T., Thompson, M, Dimond, K, Gerlak, A.K., Nabhan, G.K. ve Macknick, J.E. (2019). "Agrivoltaics Provide Mutual Benefits Across the Food-Energy-Water Nexus in Drylands", *Nature Sustainability*, 2(9), 848-855.
- Beck, M., Bopp, G., Goetzberger, A., Obergfell, T., Reise, C. ve Schindele, S. (2012). "Combining PV and Food Crops to Agrophotovoltaic-Optimization of Orientation and Harvest", *Proceedings of the 27th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, EU PVSEC*, Frankfurt, Germany.
- BM. (2023). "General Assembly, Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development", 25th September 2015, United Nations.
- Casares de la Torre, F.J., Varo, M., López-Luque, R., Ramírez-Faz, J., Fernández-Ahumada, L.M. (2022). "Design and Analysis of A Tracking / Backtracking Strategy for PV Plants with Horizontal Trackers after Their Conversion to Agrivoltaic Plants", *Renewable Energy*, 187, 537-550.
- Coşgun, A.E. (2021). "The Potential of Agrivoltaic Systems in TURKEY", *Energy Reports*, 7(3), 105-111.
- Dinesh, H. ve Pearce, J.M. (2016) "The Potential of Agrivoltaic Systems", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 299-308. DOI: 10.1016/j.rser.2015.10.024
- DOE-USA. (2022). "DOE Announces \$8 Million to Integrate Solar Energy Production with Farming", <https://www.energy.gov/articles/doe-announces-8-million-integrate-solar-energy-production-farming>, (Erişim Tarihi: 5 Ocak 2024).
- Dollinger, J., Jose, S. (2018). "Agroforestry for Soil Health", *Agroforestry systems*, 92, 213-219.
- Dupraz, C., Marrou, H., Talbot, G., Dufour, L., Nogier, A. ve Ferard, Y. (2011). "Combining Solar Photovoltaic Panels and Food Crops for Optimising Land Use: Towards New Agrivoltaic Schemes", *Renewable energy*, 36(10), 2725-2732.
- Elamri, Y., Cheviron, B., Lopez, J.M., Dejean, C. ve Belaud, G. (2018). "Water Budget and Crop Modelling for Agrivoltaic Systems: Application to Irrigated Lettuces", *Agricultural Water Management*, 208, 440-453.
- Elia Campana, P., Stridh, B., Amaducci, S. ve Colauzzi, M. (2021). "Optimization of Vertically Mounted Agrivoltaic Systems", *Journal of Clear Production*, 325, 1-18.
- Elia Campana, P., Stridh, B., Amaducci, S. ve Colauzzi, M. (2021). "Optimisation of Vertically Mounted Agrivoltaic Systems", *Journal of Cleaner Production*, 325, 129091.
- FAO. (2019). "Transforming Food and Agriculture to Achieve the SDGs: 20 Interconnected Actions to Guide Decision-Makers", Rome. 74. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Goetzberger, A. ve Zastrow, A. (1982). "On the Coexistence of Solar-Energy Conversion and Plant Cultivation", *International Journal of Solar Energy*, 1(1), 55-69. DOI: 10.1080/01425918208909875
- Gruntman, M., Groß, D., Májeková, M. ve Tielbörger, K. (2017). "Decision-Making in Plant Under Competition", *Nature Communications*, 8, 2235. DOI: 10.1038/s41467-017-02147-2
- Horrigan, L., Lawrence, R.S. ve Walker, P. (2002). "How Sustainable Agriculture Can Address the Environmental and Human Health Harms of Industrial Agriculture", *Environmental Health Perspectives*, 110, 445-456.
- Hudelson, T. ve Lieth, J.H. (2021) "Crop Production in the Partial Shade of Solar Photovoltaic Panels on Trackers", *AIP Conference Proceedings*. American Institute of Physics Inc. DOI: 10.1063/5.0055174
- Hydrology and Earth System Sciences*, 11, 1633-1644.

- Katsikogiannis, O.A., Ziar, H. ve Isabella, O. (2022). "Integration of Bifacial Photovoltaics in Agrivoltaic Systems: A Synergistic Design Approach", *Applied Energy*, 309, 118475.
- Kostik, N., Bobyl, A., Rud, V. ve Salamov, I. (2020). "The Potential of Agrivoltaic Systems in the Conditions of Southern Regions of Russian Federation", *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 578(1), 012047.
- Marrou, H., Wéry, J., Dufour, L. ve Dupraz, C. (2013). "Productivity and Radiation Use Efficiency of Lettuces Grown in the Partial Shade of Photovoltaic Panels". *European Journal of Agronomy*, 44, 54-66.
- Mead, R. ve Willey, R.W. (1980). "The Concept of a "Land Equivalent Ratio" and Advantages in Yields from Intercropping", *Experimental Agriculture*, 16(3), 217-228.
- Menezes, K.M., Silva, D.K., Gouveia, G.V., da Costa, M. M., Queiroz, M.A. ve Yano-Melo, A.M. (2019). "Shading and Intercropping with Buffelgrass Pasture Affect Soil Biological Properties in the Brazilian Semi-Arid Region", *Catena*, 175, 236-250.
- Newman, S.M. (1986). "A Pear and Vegetable Interculture System: Land Equivalent Ratio, Light Use Efficiency and Productivity", *Experimental Agriculture*, 22(4), 383-392.
- Ortiz-Bobea, A., Ault, T.R., Carrillo, C.M., Chambers, R.G. ve Lobell, D.B. (2021). "Anthropogenic Climate Change Has Slowed Global Agricultural Productivity Growth", *Nature Climate Change*, 11(4), 306-312.
- Padilla, J., Toledo, C. ve Abad, J. (2022). "Enovoltatics: Symbiotic Integration of Photovoltaics in Vineyards", *Frontiers in Energy Research*, 10, 1007383. DOI: 10.3389/fenrg.2022.1007383.
- Peel, M.C., Finlayson, B.L., McMahon, T.A. (2007). "Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification",
- Pingali, P.L. (2012). "Green Revolution: Impacts, Limits, and the Path ahead", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 12302-12308. DOI: 10.1073/pnas.0912953109
- Rezai, S., Etemadi, N., Nikbakht, A., Yousefi, M., Majidi, M.M. (2018). "Effect of Light Intensity on Leaf Morphology, Photosynthetic Capacity, and Chlorophyll Content in Sage (*Salvia officinalis* L.)", *Horticultural Science and Technology*, 36, 46-57.
- Riaz, M.H., Imran, H., Younas, R. ve Butt, N.Z. (2021). "The Optimization of Vertical Bifacial Photovoltaic Farms for Efficient Agrivoltaic Systems", *Solar Energy*, 230, 1004-1012.
- Rossi, R. "Small Farms' Role in the EU Food System", European Parliamentary Research Service (EPRS), [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2022/733630/EPRS_BRI\(2022\)733630_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2022/733630/EPRS_BRI(2022)733630_EN.pdf), (Erişim tarihi: 22.02.2024).
- Schindele, S., Trommsdorff, M., Schlaak, A., Oberfell, T., Bopp, G., Reise, C., Braun, C., Weselek, A., Bauerle, A., Högy, P., Goetzberger, A. ve Weber, E. (2020). Implementation of agrophotovoltaics: Techno-economic analysis of the price-performance ratio and its policy implications. *Applied Energy*, 265, 114737.
- Sekiyama, T. ve Nagashima, A. (2019) "Solar Sharing for Both Food and Clean Energy Production: Performance of Agrivoltaic Systems for Corn, A Typical Shade-Intolerant Crop", *Environments*, 6(6), 65.
- Şeker, S., Çakaloğulları, U., Bayram, E., Tatar, Ö. (2023). "Production of Sage, Oregano and Rosemary under Shading Conditions and the Effects of Light on Growth and Essential Oil Properties", *Industrial Crops and Products*, 193, 116254.
- Şentürk, B. (2023). "Tarımsal Arazilerin İkili Kullanımında Gelir-Gider Analizi: Türkiye TarımGES Örneği", *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 10(4), 1147-1155.
- Time, A., Gomez-Casanovas, N., Mwebaze, P., Apollon, W., Khanna, M., DeLucia, E.H., Bernacchi, C.J. (2023). "Conservation Agrivoltaics for Sustainable Food-Energy Production", *Plants, People, Planet*, DOI: 10.1002/ppp3.10481
- Trommsdorff, M. "An Economic Analysis of Agrophotovoltaics: Opportunities, Risks and Strategies towards a More Efficient Land Use", Econstor, <https://www.econstor.eu/handle/10419/150976>, (Erişim tarihi: 15.01.2024)
- Trommsdorff, M., Hopf, M., Hörnle, O., Berwind, M., Schindele, S. ve Wydra, K. (2023). "Can Synergies in Agriculture through An İntegration of Solar Energy Reduce the Cost of Agrivoltaics? An Economic Analysis in Apple Farming", *Applied Energy*, 350, 121619.
- Trommsdorff, M., Kang, J., Reise, C., Schindele, S., Bopp, G., Ehmann, A., Weselek, A., Högy, P. ve Oberfell, T. (2021). Combining Food and Energy Production: Design of An Agrivoltaic System Applied in Arable and Vegetable Farming in Germany. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 140, 110694.
- Trommsdorff, M., Vorast, M., Durga, N. ve Padwardhan, S. (2020). Potential of Agrivoltaics to Contribute to Socio-Economic Sustainability: A Case Study in Maharashtra. *India AgriVoltaics 2020*, 14-16.
- Turan, N. (2021) "Agrivoltaics and Their Effects on Crops: A Review", *Journal of Muş Alparslan University Agricultural Production and Technologies*, 1(2), 39-47.

- Valle, B., Simonneau, T., Sourd, F., Pechier, P., Hamard, P., Frisson, T., Ryckewaert, M. ve Christophe, A. (2017). "Increasing the Total Productivity of A Land by Combining Mobile Photovoltaic Panels and Food Crops", *Applied Energy*, 206, 1495-1507.
- Vijayan, R.A., Sivanarul, J. ve Varadharajaperumal, M. (2021). "Optimizing the Spectral Sharing in A Vertical Bifacial Agrivoltaics Farm", *Journal of Physics D: Applied Physics*, 54(30). DOI: 10.1088/1361-6463/abfbac
- Wagner, M., Lask, J., Kiesel, A., Lewandowski, I., Weselek, A., Högy, P., Trommsdorff, M., Schnaiker, M-A. ve Bauerle, A. (2023). "Agrivoltaics: The Environmental Impacts of Combining Food Crop Cultivation and Solar Energy Generation", *Agronomy*, 13(2), 299.
- Weselek, A., Bauerle, A., Hartung, J., Zikeli, S., Lewandowski, I. ve Högy, P. (2021). "Agrivoltaic System Impacts on Microclimate and Yield of Different Crops within An Organic Crop Rotation in A Temperate Climate", *Agronomy for Sustainable Development*, 41(5), 59.
- Willockx, B., Herteleer, B., Cappelle, J. (2020) "Techno-Economic Study of Agrovoltaic Systems FOCUSING on orchard Crops", 1761-1766. DOI: 10.4229/EUPVSEC20202020-6DO.14.2
- Zervoudakis, G., Salahas, G., Kaspiris, G. ve Konstantopoulou, E. (2012). "Influence of light intensity on growth and physiological characteristics of common sage (*Salvia officinalis* L.)", *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 55, 89-95.



T.C. SANAYİ VE
TEKNOLOJİ BAKANLIĞI

#MİLLİ
TEKNOLOJİ
HAMLESİ

STRATEJİK ARAŞTIRMALAR VE VERİMLİLİK GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

