



Araştırma Makalesi / Research Article

Endüstri 4.0 Devriminin Ekonomik Büyüme Etkileri Üzerine Panel Veri Analizi*

Gökçen Aydınbaş¹, Zeynep Erdinç²

Öz

Endüstri 4.0 dijitalleşme süreci ekonomik faaliyetlerin temelini bilgi toplama ve işleme üzerine kurmuştur. Bu durum ticari faaliyetleri de artırarak kolaylaştırmaktadır. Bu bağlamda, Endüstri 4.0'ın ekonomiler üzerindeki etkilerinin araştırılması, günümüz dijital çağında oldukça önemlidir. Endüstri 4.0 devriminin ekonomik büyüme etkileri, ilgili dönüşümün ekonomik, sosyal ve sektörel sonuçlarının anlaşılması bağlamında araştırılması gereken bir konudur. Bu araştırmalar ile politika yapıcılara ve işletmelere stratejik karar alımlarında yol gösterici ve rekabet avantajı sağlayıcı potansiyeller sunulabilmektedir. Bu çalışmanın amacı Endüstri 4.0'ın ekonomik büyüme etkilerini, bu dönüşüme ilişkin stratejileri ve hedefleri olan 18 ülke üzerinden panel veri analiz yöntemi ile araştırmaktır. Bu kapsamda kurulan modelin tahmininde 2000-2019 dönemine ait yıllık veri setinden yararlanılmıştır. Çalışmada, bağımlı değişken iktisadi büyümeyi temsil eden kişi başına gayrisafi yurt içi hâsıla (GSYH) iken, bağımsız değişkenler Endüstri 4.0'ı temsil eden değişkenler olan patent başvuru sayısı, orta ve ileri teknoloji ihracatı, bilgi iletişim teknoloji ihracatı olarak belirlenmiştir. Çalışmada ulaşılan sonuç, uzun dönemde patent başvuruları ile orta ve ileri teknolojinin ihracattaki payında gerçekleşen artışın kişi başına geliri artırdığı şeklindedir.

Anahtar Kelimeler: Endüstri 4.0, Patent Başvuru Sayısı, Orta ve İleri Teknoloji İhracatı, Bilgi İletişim Teknoloji İhracatı, Kişi Başına GSYH.

Panel Data Analysis on the Effects of the Industry 4.0 Revolution on Economic Growth

Abstract

Industry 4.0, the digitalization process, has established the basis of economic activities on information gathering and processing. This situation also increases and facilitates commercial activities. In this context, researching the effects of Industry 4.0 on economies is very important in today's digital age. The effects of the Industry 4.0 revolution on economic growth is an issue that needs to be researched in the context of understanding the economic, social and sectoral consequences of the relevant transformation. With these researches, policy makers and businesses can be guided in their strategic decision-making and provide competitive advantage potentials. This study aims to investigate the effects of Industry 4.0 on economic growth using panel data analysis method for 18 countries with strategies and targets related to this transformation. In the estimation of the established models, the annual data set from 2000 to 2019 were used. In the study, while the dependent variable is the gross domestic product (GDP) per capita representing economic growth, the independent variables are the number of patent applications, medium and high technology exports, and information communication technology exports, which are the variables representing Industry 4.0. The conclusion reached in the study is that the increase in the share of patent applications, the medium and high-tech exports in the long term increases per capita income.

Keywords: Industry 4.0, Number of Patent Applications, Medium and High-Tech Exports, Information Communication Technology Exports, GDP per Capita.

* Bu çalışma Anadolu Üniversitesi SBE İktisat Anabilim Dalı'nda Doç. Dr. Zeynep ERDİNÇ danışmanlığında Gökçen AYDINBAŞ tarafından "Endüstri 4.0 Devriminin İktisadi Büyüme ve Kalkınma Olgusuna Etkileri" başlığı ile tamamlanarak 01.11.2022 tarihinde savunulan Doktora tezinden türetilmiştir.

¹ Sorumlu Yazar (Corresponding Author), Dr., Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat, gkcnaydnbs@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9435-5387>

² Doç. Dr., Anadolu Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, zerdinc@anadolu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0001-9599-0630>

Atıf/Cite as: Aydınbaş, G., Erdinç, Z. (2023). Endüstri 4.0 devriminin ekonomik büyüme etkileri üzerine panel veri analizi. *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 41 (3), 363-387.

GİRİŞ

Geçmişten günümüze endüstriyel devrimler, insanoğlunun ekonomik, sosyal, kültürel anlamda hayatlarını büyük ölçüde etkilemiştir ve bu etkisini devam ettirmektedir. Şimdiye kadar insanlık tarihinde dört farklı endüstri devrimiyle karşılaşmıştır. Bu noktada, her bir devrimin ekonomilere ve küreselleşme süreçlerinde meydana gelen gelişmelere katkı sağladığını belirtmek mümkündür. Nitekim 21. yüzyılda hızla gelişen teknolojinin temelinde Endüstri 4.0, dijitalleşme ve internete bağlanabilirlik özellikleri yer almaktadır. Bu süreçte, nesnelerin interneti, yapay zekâ, robotlar, öğrenebilen makineler, otonom teknolojiler gitgide artarak yaygınlaşmıştır. Bunun sonucunda da Endüstri 4.0'ın gerek üretim ağları gerekse ekonomik hizmetleri etkilemesi kaçınılmaz hale gelmiştir.

Endüstri 4.0, ekonomik büyümeye katkı sağlama, istihdam yapısını ve sektörel dinamikleri değiştirebilme, dünya ekonomisinde rekabet avantajı sağlayabilme ve ekonomik sosyal katkılar sunabilme potansiyeli ile araştırılması gereken son derece önemli bir konudur. Sonuç olarak, iktisat alanyazınında Endüstri 4.0 devriminin ekonomik büyümeye etkilerinin dönüşümde ekonomik, sosyal ve sektörel sonuçların anlaşılması açısından araştırılması gerekmektedir. Bu araştırmalar, politika yapıcılar ve işletmeler açısından stratejik kararlar alındığında rehberlik sağlayabilme ve rekabet avantajı elde edebilme potansiyeli sunmaktadır. Bu çalışmanın amacı, 2000-2019 dönemine ait yıllık verilerin kullanılmasıyla Endüstri 4.0'ın ekonomik büyüme üzerine etkilerini panel veri analiz yöntemiyle araştırmaktır. Bu kapsamda seçilen ülkeler "Almanya, ABD, Japonya, İngiltere, Fransa, İsveç, Norveç, Danimarka, Güney Kore, Singapur, Çin, Brezilya, Rusya, Tayland, Arjantin, Polonya, Güney Afrika ve Türkiye" genellikle Endüstri 4.0' da öne çıkan ve çeşitli planları (stratejileri) olan ülkelerdir. Çalışmada kullanılan ülke verileri Dünya Bankası ve Penn Dünya Tablosu veri tabanından elde edilmiştir.

Çalışmada ilk olarak kavramsal çerçeveden Endüstri 4.0 yolunda ekonomik büyüme kavramı ele alınmıştır. Daha sonra da konuya ilişkin uygulamalı literatür taramasına yer verilmiştir. Ardından araştırmanın yöntemi açıklanarak bulgulara değinilmiştir. Sonuç kısmında ise konuya ilişkin genel bir bilgilendirme yapılmış ve bulgular yorumlanmıştır.

1. ENDÜSTRİ 4.0 YOLUNDA EKONOMİK BÜYÜME: TEORİK ÇERÇEVE

Ekonomiler tıpkı canlılar gibi büyümekte, fakat bu büyüme süreci ülkeden ülkeye farklı oranlarda gerçekleşmektedir. Bu farklılıkların nedeni, ülkelerdeki mevcut sermaye birikimi, doğal kaynaklar, emek (işgücü), teknoloji düzeyi, bilgi ve benzeri sınırlı kaynakların varlığıdır (Ülgener, 1980). Bu unsurlar ile belirlenen ekonomik büyüme, bir ülkenin belli bir dönem (genellikle bir yıl) içinde üretim kapasitesinde ya da reel GSYH'de oluşan, sayısal anlamda ölçülebilen reel artışlardır (Turan, 2008). Bir başka deyişle, üretim olanakları eğrisinde genişleme, bir ekonominin üretim kapasitesindeki artış ile daha fazla mal ve hizmet üretilmesine "ekonomik büyüme" denmektedir. Kişi başına gelirin büyümesi, kişi başına reel gelirden (hâsılda) gerçekleşen artış ifade etmektedir. Nitekim ekonomik büyüme, kısa dönemli statik bir olgu değil de uzun dönemli dinamik bir olgu şeklinde kabul edilmektedir (Taban, 2011). İktisadi büyümenin ölçümünde "reel gelirdeki artış"ın, tek başına pek fazla anlam ifade etmemesi de söz konusu olabilmektedir. Gelir üzerinde gerçekleşen yıllık büyüme oranı $g_t = \Delta Y / Y_{t-1}$ ile (Y =reel gelir) ifade edilmektedir. Bazen nüfustaki artış oranı " $\Delta N / N$ ", reel gelirdeki artış oranının " $\Delta Y / Y$ " üzerinde olabilmektedir. Dolayısıyla net bir gelişme, ancak $(\Delta Y / Y) > (\Delta N / N)$ durumuyla mümkün olmaktadır (Taban, 2011).

Bir ülkenin uzun dönemli ekonomik büyümesinde belirleyici ve büyüme teorilerinde şekillendirici unsurlar; ekonomik faktörler (beşeri ve fiziki sermaye, makroekonomik istikrar,

ticari ve finansal dışa açıklık), demografik faktörler (nüfus artışı), doğal kaynaklar, coğrafya ve iklim, sosyal, kültürel ve politik faktörler (demokrasi, hukukun üstünlüğü, kurumlar), teknolojik gelişme olarak sıralanmaktadır (Gallup vd., 1999; Temple, 1999). Bilinen şudur ki ilgili faktörler, tek başına ve/veya karşılıklı etkileşim ile iktisadi büyümenin sağlanmasına, sürdürülebilmesine katkıda bulunmaktadır.

Genellikle tam istihdam koşulunda gerçekleşen ekonomik büyümeye dayanan “büyüme teorileri”, gelişmiş ülkeler için kullanılan bir kavramdır. Tablo 1’de iktisadi büyüme teorileri detaylıca incelenmiştir.

Tablo 1: Büyüme Teorileri

Büyüme Teorileri		
Büyüme Teorisi	Büyümenin Kaynağı	Büyümenin Niteliği
Klasik Büyüme Teorileri <i>Smith (1776)</i> <i>D. Ricardo (1857)</i> <i>T. R. Malthus (1799)</i> <i>Karl Marx (1876)</i>	İş bölümü Artık değer yatırımına dönüşümü	Sınırlı büyüme Tarımda azalan verimler yasasından kaynaklı sınırlı büyüme Nüfus kanunu kaynaklı sınırlı büyüme
<i>J.A. Schumpeter (1911-1939)</i>	Sermaye birikimi Yenilikler demeti	Kapitalist süreçte kâr oranlarındaki düşüşten kaynaklı sınırlı büyüme Kararsız büyüme, kararsız denge
Post-Keynesyen Büyüme Modeli (Modern Büyüme Modeli) <i>R. Harrod (1939)</i> <i>E. Domar (1946)</i>	Tasarruflar ve yatırımlar	Kararsız denge
Neo-Klasik Büyüme Teorileri (Dışsal Büyüme Modeli) <i>R. Solow (1956)</i>	Nüfus ve teknolojik gelişme “dışsal”	Teknolojik gelişme varlığının kabul edilmemesinden ötürü geçici büyüme
Roma Kulübü Modeli Dennis Meadows (1972)	Doğal kaynaklar	Nüfus patlaması, Çevre kirliliği ve enerji tüketiminden kaynaklı sonlu büyüme
Yeni Büyüme Teorileri (İçsel Büyüme Teorileri) <i>P. Romer (1986)</i> <i>R. Lucas (1998)</i> <i>R. Barro (1990)</i> <i>J. Greenwood (1990)</i> <i>B. Jovanovic (1990)</i> <i>S.Rebelo (1991)</i>	Fiziki sermaye, Beşeri sermaye, Teknoloji, Kamu sermayesi, Mali araçlar	Büyümenin içselliği, Devletin yenilenişi, Tarihsel geçmişin dikkate alınışı
Sanayi Bölgeleri Modeli <i>G. Becattini (1991)</i>	Sınai ve mahalli örgütlenme biçimi	Büyümede bölgesel dengesizliğin açıklanması

Kaynak: Berber (2011)

İktisadi büyümenin teorik temelleri öncelikle klasik iktisatçılar olan A. Smith (1776), T. Malthus (1798), D. Ricardo (1817) ve bunları takiben K. Marx (1867), F. Ramsey (1928), A. Young (1928), F. Knight (1944) ve J. Schumpeter (1934)’in çalışmalarına dayanmaktadır. Ekonomik büyüme kapsamında bu ekonomistler, beşeri ve fiziksel sermaye ile büyüme ilişkilerini, dış ticaret, eksik rekabet ve üretim yöntemlerini, kişi başına gelir ve nüfusun büyüme oranını,

teknolojik ilerlemeyi, temel denge dinamiklerini değerlendirmiştir. Tarihsel perspektifte Smith, Malthus ve Ricardo gibi ekonomistler tarafından ortaya koyulan büyüme modellerine “klasik büyüme teorisi” denmektedir. Klasik büyüme teorisinden sonra geliştirilen teoriler ise Marksist (1867) büyüme modeli, Keynesyen (1930) büyüme modeli, Schumpeter (1942) büyüme modeli ve sonrası ileri sürülen modern ekonomik büyümenin (Post-Keynesyen) öncüsü kabul edilen Harrod (1939) ve Domar (1946)’ın büyüme modelleri, R. Solow (1956) ile Neo-klasik (dışsal) büyüme modeli, Roma Kulübü Modelleri (Meadows, 1972) ve büyümenin iktisadi sistem içerisinde içsel bir şekilde belirlendiğini öne süren içsel (yeni) büyüme teorileri olarak sıralanmaktadır (Parasız, 2003; aktaran Berber, 2011).

Ekonomik büyüme teorilerini kısaca ele aldıktan sonra, ülkelerin Endüstri 4.0 yolunda nelerle karşılaştığını ve bu durumun ekonomilerini nasıl etkilediğini ele almak gerekmektedir.

Buhar gücü ile çalışan makinenin icat edilmesiyle Endüstri 1.0 Devrim süreci başlamıştır. Bu bağlamda gerçekleşen ilk sanayi devrimi, James Watt’ın buhar makinesinin icadından ötürü buhar çağı veya makine çağı olarak da adlandırılmaktadır (Koç ve Teker, 2019). İnsanlık tarihinde bir dönüm noktası olarak kabul edilen bu devrim, 18. yüzyıl sonlarında İngiltere’de başlamış olup öncelikle kıta Avrupa’sına, sonrasında da tüm dünyaya yayılmıştır (Mohajan, 2019). Bu dönemin öncesinde üretim, genel olarak ailelere dayalı ustalar, çıraklar tarafından yapılmaktaydı. Endüstri 1.0 Devrimi, iplik eğirme, dokumanın makineleşmesi ile tetiklenmiş olup İngiltere’de tekstil endüstrisine geçilmiştir. Sonraki 100 yıl boyunca ise, o dönemdeki endüstrilerin tamamının dönüştürülmesi, gerek makine takımlarından çelik üretime gerekse buhar makinesinden demiryollarına kadar pek çok endüstrinin doğmasına imkân tanımıştır. Bu yeni teknolojiler ile işbirliğinin yanı sıra, rekabette de değişim yaşanmıştır (Schwab ve Davis, 2019). Nitekim Endüstri 1.0, aletli üretim yerine makinalı üretime dayalı gerçekleşmiş olup bu dönemde atölye tarzı üretim yerine ise, fabrika üretimine geçilmiştir. Bu bağlamda fabrikalardaki üretimin makineleşmesi, kırsal kesimlerden kentsel kesimlere milyonlarca insanın göç etmesine yol açmış olup bu durum, insanlara önemli istihdam imkânları yaratmıştır (Şahin ve Kaya, 2019).

Tablo 2: Birinci Endüstriyel Devrim

Endüstri 1.0							
Dönem	Geçiş dönemi	Enerji kaynağı	Önemli teknik gelişmeleri	Gelişen önemli sektörler	Ulaştırma olanakları	Başarılar	Dezavantajlar
1760-1900	1860-1900	Kömür	Buhar Motoru	Tekstil, Çelik	Tren	İstihdam, Sürdürülebilir Büyüme, Tarımsal kalkınma, Ulaşım	Kirlilik, İmalattaki Uzun Süreçler

Kaynak: Prisecaru (2016); Alyoshina (2019); Türkcan ve İnce (2021)

Tablo 2’de Endüstri 1.0’a ilişkin bilgiler değerlendirilmiştir. Endüstri 1.0 ile insanlık, tarım toplumundan endüstriyel topluma geçmiştir. Bu dönemde hem buhar gücü, hem de kömür birer enerji kaynağı olarak kullanılmıştır. Bu devrim, suyun buhara dönüşümüne imkân sağlayan ilk fabrikaların yapımı ile başlamıştır. Buhar motorunun getirdiği yenilikler, imalat sanayinin üretim kapasitesini artırmakta, kömür madenciliği ve benzeri endüstrilerin gelişmesi açısından kritik

önem taşımaktadır (Agarwal ve Agarwal, 2017). Pamuklu dokuma üreticileri, buharlı makineler ile doğan fırsatı ilk kavrayan imalatçılar olmuştur. Nitekim bu devrim neticesinde insan ve hayvan gücüne dayalı işçiliği ikame eden makineler ile büyük ölçekli fabrikaların oluşması, üretim hacmini arttırarak yeni piyasalara girilmesine imkân sağlamıştır. Bu nedenle dokuma sanayi ve metal sanayinde meydana gelen gelişmeler ile çelik üretiminin artması, yeni kimyasal üretimi, denizcilik ve demiryolu gibi alanlarda sanayinin yaygınlaşması mümkün olmuştur (Bulut ve Akçacı, 2017).

19. yüzyılın sonları ve 20. yüzyılın başlarında elektrik gücünün kullanılarak seri üretimin yaygınlaşması “Endüstri 2.0” olarak nitelendirilmiştir. İkinci endüstriyel devrim ve küreselleşme aşaması, Tablo 3’ten takip edilebilir. Bu dönemde elektrik kullanımının yaygınlaşması, seri üretimin arttırılarak işgücünün çeşitlenmesine imkân tanımıştır (Bayuk ve Öz, 2017). Üretimde elektrik kullanımı ve elektrik enerjisinin montaj hatlarını çalıştırması ile gerek üretim şekli gerekse maliyetler değişmiştir. Elektrik enerjisi ile çalışan üretim hattı ilk olarak ABD’de hayvan kesim işlemlerinde kurulan sistemlerle başlamıştır. Fakat asıl olarak sistemin, Ford Motor fabrikalarında kurulan seri üretim hatları vasıtasıyla uygulanması mümkün olmuştur. Bu model üretimde iş bölümüne ve taşıyıcı seri üretim bantları kullanımına dayanmaktadır. Bu özelliği nedeniyle “sürekli üretim hattı modeli” olarak da adlandırılmaktadır. Nitekim seri üretim teknolojileri ile talebe yönelik üretim başlayarak “ne üretirsem onu satarım” anlayışı piyasalarda (pazarlarda) hâkim olmuştur. Bu bağlamda, endüstriyel üretiminin büyük oranda kitlesel üretim biçiminde gerçekleştirildiği, iş bölümü ile iş tanımlarının katı olarak yapıldığı, ürün standartlaştırması ile verimlilik artışlarının sağlandığı ve talep artışlarıyla bu standartlaştırmanın hız kazandığı üretim şekline teknik anlamda “Fordizm” denmektedir. Kısacası bu dönemin üretim anlayışını, Henry Ford’un siyah renkte tek tip otomobili olarak adlandırılan “T Model”i temsil edilmektedir (Şahin ve Kaya, 2019).

Tablo 3: İkinci Endüstriyel Devrim

Endüstri 2.0							
Dönem	Geçiş dönemi	Enerji kaynağı	Önemli teknik gelişmeleri	Gelişen önemli sektörler	Ulaştırma olanakları	Başarılar	Dezavantajlar
1900-1960	1940-1960	Benzin, Petrol, Elektrik	Demir yolu ağları, Elektrik gücü, İçten yanmalı motor, Telefon, Telgraf	Metalurji, Otomobil, Makine yapımı	Tren, Araba	Elektrik şebekesi, İçten yanmalı motor, Telefonlar, Telgraflar	Elektrik Enerjisi Kullanımına İlişkin Yüksek Maliyet

Kaynak: Prisecaru (2016); Alyoshina (2019); Türkcan ve Ince (2021)

1970’li yılların sonuna doğru, bilgi teknolojilerinin gelişimiyle birlikte bilgisayarların ve otomasyonun yaygınlaşması ile beraber “Endüstri 3.0” dönemi başlamıştır. “Elektronik devrim” olarak da adlandırılan “Endüstri 3.0” bilgisayar, lazer ve genetik, mikro elektronik, nükleer enerji ve benzeri alanlardaki gelişmeler neticesinde ortaya çıkmıştır (Akbulut, 2011). Bu bağlamda, Endüstri 3.0 devriminin başrolünü, bilgisayarların yanı sıra dijital ürünler ile internet almıştır. Bu gelişmeler ile ağır sanayi ve bilgi teknolojilerinde yaşanan ciddi ilerlemeler, iktisat literatürüne

bilgi toplumu kavramını kazandırmıştır ve “Bilgi toplumu” terimini ilk kez 1962 yılında ABD’li iktisatçı Fritz Machlup kullanmıştır (Geray, 1997). Tablo 4’te, Üçüncü Sanayi Devrimi’ne yer verilmiştir.

Tablo 4: Üçüncü Endüstriyel Devrim

Endüstri 3.0							
Dönem	Geçiş dönemi	Enerji kaynağı	Önemli teknik gelişmeleri	Gelişen önemli sektörler	Ulaştırma olanakları	Başarılar	Dezavantajlar
1960-2000	1980-2000	Doğal gaz, Nükleer Enerji	Bilgisayar, Endüstri Otomasyonu, İnternet, Programlanabilir Entegre Devre, Robot	Kimya, Otomobil	Araba, Uçak	Otonom Endüstriler, Robotlar, Telekomünikasyon	Belirsiz Durumlarda Otonom Sistem Sorunları

Kaynak: Prisecaru (2016); Alyoshina (2019); Türkcan ve İnce (2021)

Endüstri 3.0’ın yarattığı dijital teknolojiler, üretim ve hizmetlerin otomasyonuna izin vererek bu sistemlerde radikal değişimlere neden olmuştur. Ayrıca imalat, seri üretimden kişiye özgü kitlesel üretime doğru gelişim göstermiştir (Şahin ve Kaya, 2019).

Endüstri 4.0, gelişen teknolojilerin entegrasyonundan kaynaklı sanayinin radikal dönüşümünü temsil eden bir terim olarak karşımıza çıkmaktadır (Menendez vd., 2020). İlk olarak 2011 yılında (Almanya’nın Hannover kentindeki) Hannover Fuarında Endüstri 4.0 kavramı gündeme gelmiştir. Bu nedenle “Endüstri 4.0” için kuramsal başlangıç olarak 2011 tarihli “eski Bosch ve SAP’ın Alman yazılım şirketi CEO’su” Kagermann (2013)’ın makalesi esas alınmıştır. İlgili makale, bu devriminin yalnızca otomasyondaki gelişimi değil, aynı zamanda akıllı gözlem-karar alma süreçlerini içerdiğini ortaya koymaktadır. 2013 yılında Kagermann (2013), oluşturduğu bir çalışma grubu ile hazırladığı “Endüstri 4.0 öneri dosyası”nı “Alman Federal Hükümeti”ne sunmuştur (Şahin ve Kaya, 2019).

Tablo 5: Dördüncü Endüstriyel Devrim

Endüstri 4.0							
Dönem	Geçiş dönemi	Enerji kaynağı	Önemli teknik gelişmeleri	Gelişen önemli sektörler	Ulaştırma olanakları	Başarılar	Dezavantajlar
2000+	2000-2010	Yeşil Enerjiler/ Yenilenebilir Enerjiler	Artırılmış Gerçeklik, Bulut Bilişim, Büyük Veri, Nesnelerin İnterneti, Otonom Robotlar	Yüksek Teknoloji Ürünleri	Elektrikli Araba, Yüksek Hızlı Tren	Belirsiz Durumlarda Çalışan Endüstri Uygulaması, Tam Otonom Sistem, Yapay Akıllı Sistem	Buluttaki Verilerde Güvenlik Problemleri

Kaynak: Prisecaru (2016); Alyoshina (2019); Türkcan ve İnce (2021)

Tablo 5’te ise, dördüncü sanayi devrimi incelenmiştir. Toplumların ekonomik üretim modelleri tarihinde son durak “Endüstri 4.0” olarak tanımlanmaktadır. Endüstri yapısının özellikle siber fiziksel sistemlerin uygulanması ile üretimdeki değişiklikler; kişiye özel, çevre dostu, görsel algısı yüksek ürünlerin elde edilmesini sağlamıştır (Çeliktaş vd., 2015).

Sonuç olarak, Endüstri 4.0 yolunda yeni ürün ve hizmetlerin sunulması, ekonomik büyümeyi teşvik edecektir. Dolayısıyla bir ülke için Endüstri 4.0’a dâhil olarak sürecin bir parçası haline gelmek ve bu süreçte aktif bir rol üstlenmek, ekonomik büyümeye katkı sağlamaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Endüstri 4.0 ile dijital ekonomi, teknolojik gelişmelerin (ileri teknoloji ihracatı, bilgi iletişim teknolojileri ihracatı, yenilik) bağlamında dünyada ve Türkiye’de yapılan bazı uygulamalı çalışmalara, kronolojik sıraya uygun olarak aşağıda yer verilmiştir.

Aydın (2018) tarafından yapılan çalışmada, Türkiye’de Endüstri 4.0 bağlamında teknolojik ilerleme ile istihdam yapısı arasındaki ilişkinin 1981-2015 dönemleri arasını kapsayan yıllık veri seti kullanılarak Eşbütünleşme için gecikmesi dağıtılmış otoregresif (ARDL) yöntemiyle analizi amaçlanmıştır. Analizde teknolojik ilerlemeyi temsilen “AR-GE harcamaları” ve “bilgi iletişim teknoloji ihracatı” verisi, istihdam yapısını temsilen ise “yükseköğretim mezunu istihdam” verisi kullanılmıştır. Analiz sonucuna göre, teknolojik ilerlemenin istihdam yapısını, eğitim düzeyi ve yüksek istihdam talebini değiştirdiği tespit edilmiştir. Elde edilen bu tespit, teorik olarak ileri sürülen teknolojik ilerlemenin istihdam yapısını vasıflı emek talebi yönünde değiştirdiği savını destekler niteliktedir.

Atlı (2019), Türkiye ekonomisinde 2003-2014 dönemleri arasını kapsayan yıllık veri setini kullanarak yaptığı ARDL sınır testiyle her bir alt imalat sektöründe eşbütünleşme ilişkisini sınamış, kısa ve uzun dönem katsayısını tahmin etmiştir. Daha sonra, çalışmadaki tüm alt sektörlerin veri seti bir araya getirilmiş ve panel ARDL yaklaşımıyla uzun dönemli bir analiz ortaya koyulmuştur. Çalışmada, Türkiye’de Endüstri 4.0’a en uygun sektörlerin, sermaye değişken katsayıları yüksek olan sektörlerden “ağaç işleri, diğer ulaşım ve imalat araçları sanayi, fabrikasyon metal, giyim, içecek ve kara taşıtları alt sektörleri” olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Bulut (2019) Endüstri 4.0’ın gelişimi ile Türkiye ve dünya üzerindeki olası etkilerini incelemiştir. Çalışmada panel veri analiz yöntemi kullanılmış olup genel olarak teknolojinin istihdamı ve Gini katsayısı üzerinde durulmuştur. Yapılan regresyon analizi sonuçlarına göre, AR-GE harcamalarının toplam istihdamı negatif yönde etkilerken, ileri teknoloji ürün ihracatını pozitif yönde etkilediği sonucuna varılmıştır. Ayrıca, gelişmiş ülkeler bazında ileri teknoloji ihracatının Gini katsayısı üzerinde negatif bir etkisi olduğu saptanmıştır. Ancak AR-GE harcamalarının Gini katsayısı üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

Myovella vd.(2019) çalışmasındaki amaç, karşılaştırmalı olarak 33 Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (OECD) ve 41 Sahra Altı Afrika (SGA) ekonomilerinde dijitalleşmenin iktisadi büyümeye etkisini incelemektir. Bu çalışmanın analizinde, her iki ülke grubu için 2006-2016 yıl aralığında (11 yıl) oluşan bir panel veri seti ile genelleştirilmiş doğrusal momentler yöntemleri (GMM) tahmini kullanılmıştır. Analizde bağımlı değişken kişi başına düşen GSYH iken, bağımsız değişkenler brüt sabit sermaye oluşumu, devlet tüketimi, nüfus artışı, geniş bant abonelikleri, internet kullanımı, mobil aboneler ve ticaret açığıdır. Çalışmada elde edilen sonuçlar, her iki ülke grubunda da dijitalleşmenin iktisadi büyümeye olumlu katkısı olduğunu kanıtlamıştır. Çalışmada genişbant internetin etkisinin OECD ülkelerine kıyasla SGA için daha düşük, mobil

telekomünikasyonun etkisi ise SGA'da OECD ülkelerine kıyasla daha yüksek düzeyde olduğu sonucuna varılmıştır.

Öztürk ve Alaşahan (2019) yaptıkları çalışmada, Küresel İnovasyon Endeksi'nde yer alan 9 ülke ve Türkiye ekonomisini kapsayan örneklem bazında Endüstri 4.0'ın ülkeler arası karşılaştırmasını yapmayı amaçlamıştır. Bu çalışmada, ekonometrik yöntem olarak Pedroni eşbütünleşme testi ve Granger nedensellik analizini kullanmıştır. Çalışmada sonuç olarak Türkiye'nin de Endüstri 4.0 noktasında kendini gerçekleştirebilmesi adına daha fazla teknoloji ihracatı yapması ve yüksek teknoloji üretimi gerçekleştirmesinin önemi vurgulanmıştır. Çalışmadaki bulgular, Türkiye'nin Endüstri 4.0'a yönelik eğitim ve AR-GE çalışmalarına ağırlık vermesi gerekliliğini de adeta gözler önüne sermektedir.

Pehlivan ve Efeoğlu (2019) çalışmalarında, 1990-2018 dönemleri arasını kapsayan yıllık veri setini kullanarak Endüstri 4.0'ın dış ticaret üzerindeki etkilerini incelemeyi amaçlamıştır. Çalışmada teknolojik gelişmeleri (Endüstri 4.0)'ı temsilen patent başvuruları, ileri teknoloji ihracatı ve ticaret değişkenleri kullanılmıştır. Bu çalışmada teknolojik gelişmelerin, Endüstri 4.0'ın dış ticaret yapısının gelişmesine olumlu etkileri olacağı tespit edilmiştir. Öncelikle değişkenlere birim kök testleri uygulanarak durağan olmayan değişkenlerin ilk farkları alınarak durağan hale getirilmiştir. Bunun yanı sıra, değişkenlere aynı seviyede eşbütünleşme testi uygulanmıştır. Ardından değişkenlerin katsayıları Düzenlenmiş (Geliştirilmiş) En Küçük Kareler Yöntemi'ni (Fully Modified Ordinary Least Squares [FMOLS] ve Dinamik En Küçük Kareler Yöntemi (Dynamic Ordinary Least Squares Estimator [DOLS]) testleri ile yorumlanmıştır. Son olarak, değişkenler arasındaki ilişkinin yönünü belirlemek için nedensellik testi kullanılmıştır. Bu testlerin sonuçlarına göre; değişkenler arasında pozitif ve uzun vadeli bir ilişki olduğu ve dış ticareti en fazla etkileyen değişkenin patent başvuruları olduğu tespit edilmiştir. Özetle, araştırmada kullanılan değişkenler arasında pozitif bir etkileşim olmuştur. Çalışmada ulaşılan sonuca göre, ileri teknoloji ihracatı üzerinde en fazla etkiye sahip olan değişkenin dış ticaret olduğu ortaya koyulmuştur.

Shabardina (2019) yapmış olduğu çalışmada 2014-2017 dönemleri arasını kapsayan yıllık veri seti ile Rusya'nın her bir bölgesinin gelişimini ayrıntılı olarak ele alarak bilgi teknolojisinin yaygınlaştırılması ve kullanılması noktasında potansiyelini belirlemeyi amaçlamıştır. Çalışmada belirlenen faktörlerin dijitalleşme endeksi üzerindeki etkisini değerlendirmek için korelasyon analizi ve modeli uygulanmıştır. Çalışmada dijitalleşme endeksinin hesaplanmasıyla son 5 yılda bölgelerin gelişimindeki değişiklikleri incelenmesinin mümkün hale geldiği sonucuna varılmıştır.

Adedoyin vd. (2020) çalışmasında Endüstri 4.0 dönemi için hava taşımacılığı (ulaşımı), enerji, bilgi iletişim teknolojileri (BİT) ve doğrudan yabancı yatırımları (DYY) ile iktisadi büyüme arasındaki nedensel ve uzun vadeli ilişki analiz edilmiştir. Bu çalışma temelinde 1981-2017 dönemi bazında Amerika Birleşik Devletleri (ABD) için turizme dayalı büyüme hipotezini doğrulamak amacıyla yapılmıştır. Ayrıca turizme dayalı büyüme hipotezi çerçevesinde kömür gelirlerinin (coal rents) yanı sıra Bilgi ve İletişim Teknolojilerini (BİT) de ele alınmıştır. Çalışmada kullanılan ekonometrik yöntemler ise "Tam Değiştirilmiş EKK, Dinamik En Küçük Kareler ve Kanonik Eşbütünleşme Regresyonu (Canonical Cointegrating Regression [CCR])" olmuştur. Bu çalışmada hava taşımacılığı sektörünün doğrudan ve dolaylı olarak milli gelire önemli bir katkı sunduğu ve ABD turizm sektöründe katalitik etkilerinin belirgin olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca ekonometrik analizde elde edilen anlamlı bulguya göre kömür gelirlerinin (coal rents) ekonomik büyümeyi artıracığı tespit edilmiştir.

Anuşlu ve Fırat (2020) Endüstri 4.0 aktörlerinin ve araçlarının, sürdürülebilir kalkınma ve çevresel performanslar üzerine etkilerinin regresyon analizi ile tespit edilmesi amaçlanmıştır. Analiz için endekslerde bulunan 116 ülke bazında 2018 yılına ilişkin veri seti kullanılmıştır. Bu bağlamda, “Küresel İnovasyon Endeksi” (etkileyen “bağımsız” değişken) Endüstri 4.0’ı temsil ederken, “Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları” ve “Çevresel Performans Endeksi” (etkilenen “bağımlı” değişkenler) sürdürülebilir kalkınmayı temsil etmektedir. Ayrıca “Çevresel Performans Endeksine ait Çevresel Sağlık ve Ekosistem Canlılığı boyutları” bir diğer etkilenen (bağımlı) değişkendir. Analiz sonuçlarına göre Endüstri 4.0’ı temsil eden göstergelerin, genellikle sürdürülebilir kalkınma üzerinde olumlu etkileri (pozitif işaretli kısmi korelasyon katsayıları) olduğu, ancak göstergelerden bazılarının ise sürdürülebilir kalkınmayı olumsuz etkilediği (negatif işaretli kısmi korelasyon katsayıları) tespit edilmiştir.

Aydın (2020) tarafından yapılan çalışmada seçilmiş 47 ülke için 2004-2016 yıllarına ilişkin robotlar ve istihdam arası ilişki, dinamik panel veri tekniklerinden Genelleştirilmiş Momentler Metodu’nun sistem yöntemi (System-Generalized Methods of Moments [System GMM]) ile araştırılmıştır. Çalışmada elde edilen bulgular, bir birim ilave robot kullanımının toplam istihdamı %0,7 düşürdüğü ortaya koymuştur. Ayrıca yüksek gelirli ülkeler için robotların istihdama etkisinin daha olumsuz olduğu tespit edilmiştir. Bu bakımdan yüksek gelirli ülkeler için bir birim ilave robot kullanımının toplam istihdamı %3,1 oranında düşürdüğü sonucuna varılmıştır.

Balan ve Koyuncu (2020) çalışmalarında 2007-2018 dönemleri arasını kapsayan yıllık veri setini kullanarak 36 OECD ülkesinin Endüstri 4.0 sisteminin elzem bir parçası olan yüksek teknoloji ürün ihracatı ile emek piyasasında işgücü verimliliği arasındaki nedensel ilişkiyi panel veri analiziyle belirlemeyi amaçlamıştır. Analizde elde edilen bulgulara göre 8 ülke bazında yüksek teknoloji ürün ihracatından işgücü verimliliğine doğru nedensel ilişkilerin, 6 ülke için işgücü verimliliğinden yüksek teknoloji ürün ihracatına doğru nedensel ilişkilerin ve üç ülke için de iki yönlü nedensel ilişkilerin bulunduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Kasa (2020) çalışmasında amaç, Endüstri 4.0 sürecine uyum sağlamayı ve/veya bu bağlamda gerekli reformları yapmayı başaran yenilikçi ülkelerin gelişimlerinde en çok etkili olan faktörleri araştırmaktır. Seçilmiş 16 ülke bazında AR-GE harcamaları, beşeri sermaye endeksi, doğrudan yabancı sermaye yatırımları, patent başvuruları ve yüksek teknoloji ürün ihracatlarının ekonomik büyümeye etkisi araştırıldığı çalışmada, ekonometrik yöntem olarak dinamik panel veri modellerinden “Sistem GMM” tahmincisi kullanılmıştır. Analiz sonucunda elde edilen bulgulara göre yüksek teknoloji ihracatı ve doğrudan yabancı sermaye yatırımlarının kişi başına GSYH’yı pozitif yönde etkilediği tespit edilmiştir.

Erkekoğlu ve Uslu (2021) yapmış oldukları çalışmada, teknolojik dönüşümün yaşandığı Endüstri 4.0 devrim sürecinde seçilmiş ülkeler ve Türkiye’nin geldiği konumu, teorik ve uygulamalı olarak araştırmayı amaçlamıştır. Çalışmanın analiz kısmında 2019 yılı Küresel İnovasyon Endeksi sıralamasında ilk 20 içerisinde yer alan ülkeler ve Türkiye bazında 2013-2019 dönemine ait veri seti kullanılmıştır. Bu analizde, ülkelerin Endüstri 4.0 sürecine uyumunu gösteren Küresel İnovasyon Endeksi bağımlı değişken olarak alınmıştır. Ayrıca AR-GE alanında çalışan uzman personel sayısı, AR-GE harcamaları, kişi başına düşen milli gelir ve insani gelişmişlik endeksi verileri ise bağımsız değişken olarak kullanılmıştır. Ekonometrik yöntem olarak ise panel regresyon analizleri ve Granger panel nedensellik testleri uygulanmıştır. Bu çalışmanın bulgularına göre inovasyon seviyelerini artırarak Endüstri 4.0 Devrimini yakalamayı hedefleyen ülkelerin, AR-GE alanında istihdam edilen araştırmacı sayısını, AR-GE harcamalarını, kişi başına

düşen milli gelirlerini ve insani gelişmişlik seviyelerini artırmaya yönelik politikalar uygulamaları gerekmektedir.

Koç (2021) tarafından yapılan çalışmada 2013-2017 dönemi bazında endüstriyel dijitalleşmenin işsizlik oranı üzerindeki etkisinin belirlenmesi ile mekânsal faktörlerin ilişkili olup olmadığının analiz edilmesi amaçlanmıştır. Endüstriyel dijitalleşme endeksi verilerine ulaşılabilen (31) OECD ülkesi kapsamında yapılan çalışmada, rassal etkili dinamik mekânsal panel veri analizi kullanılmıştır. Modelde bağımlı değişken olarak “işsizlik oranı”; bağımsız değişkenler olarak ise “bir önceki dönemin işsizlik oranı”, “endüstriyel dijitalleşme düzeyi” ve “mekânsal etki faktörü” belirlenmiştir. Çalışmada, modele dâhil edilen tüm değişkenlerin istatistiksel olarak anlamlı olduğu saptanmıştır. Sonuç olarak bir önceki dönemin işsizlik oranı cari dönem işsizlik oranını pozitif etkilediğini, ancak endüstriyel dijitalleşme düzeyi ile cari işsizlik oranı arasında negatif ilişki bulunduğu belirlenmiştir. Bunun yanı sıra negatif mekânsal bağımlılığın söz konusu olduğu tespit edilmiştir.

Yavuz (2021) çalışmasında temel olarak Endüstri 4.0 araçlarına yönelik ilgi düzeyinin ileri teknoloji ürün ihracatı ve ithalatına etkisini belirlemeyi amaçlamıştır. Bu çalışmada 31 ülkenin 2007-2019 dönemleri arasında kapsayan yıllık veri seti kullanılmış olup ekonometrik yöntem olarak panel veri analizi uygulanmıştır. Çalışmada ele alınan faktörler AR-GE, altyapı, beşeri sermaye, doğrudan yabancı yatırımlar, döviz kurları, enflasyon, gayrisafi yurt içi tasarruflar, gayrisafi sermaye oluşumu, göç, internet kullanımı, patent, teknoloji ve Endüstri 4.0’a olan ilgi düzeyidir. Panel veri analiz sonuçlarına göre, yurt içi tasarruflar, ülkelerin ihracatını ve ithalatını pozitif yönde etkilemektedir. Ayrıca patent sayısının ileri teknoloji ithalatını artırırken, ihracatını azalttığı, AR-GE harcamalarının ise tüm değişkenler modele dâhil edildiğinde ileri teknoloji ihracatını artırırken ithalatı üzerinde herhangi bir etkisinin bulunmadığı saptanmıştır.

Guliyev (2023) çalışmasının amacı, 2005-2021 dönem aralığı için yüksek teknolojiye sahip 24 gelişmiş ülke bazında yapay zekânın işsizlik üzerindeki etkisini incelemektir. Yapay zekânın işsizlik üzerindeki etkisini belirlemek adına ekonometrik yöntem olarak dinamik panel veri ve GMM-sistem tahmini kullanılmıştır. Sonuç olarak, tüm tanıtıcı testler ile ekonometrik modelin geçerli olduğu ve modelde yer alan değişkenlerin %5 düzeyinde istatistiksel bakımdan anlamlı olduğu kanıtlanmaktadır.

Literatürde Endüstri 4.0 üzerine yapılan çalışmalar genellikle mikro düzeyde ele alınmış olup makro düzeyde ise özellikle istihdama odaklanılmıştır. Ancak bu çalışmanın önemi ve orijinal yönü, Endüstri 4.0’ın ekonomik büyümeye etkilerinin stratejileri, hedefleri olan 18 seçilmiş ülke için panel veri analiz yöntemi ile araştırılmasıdır. Bu bakımdan çalışmanın literatürdeki mevcut çalışmalarını tamamlayıcı, gelecekte yapılacak çalışmalarını aydınlatarak yol gösterici nitelikte olacağı düşünülmektedir.

Tablo 6’da bu çalışmadaki ölçmek istenen etki için literatürdeki benzer değişkenlerin kullanıldığı çalışmalara yer verilmiştir.

Tablo 6: Literatürdeki Çalışmalardan Örnekler

YIL	YAZAR	YÖNTEM	DEĞİŞKENLER	AMAÇ	SONUÇ
2019	Bulut	Panel Veri Analizi	Toplam İstihdam, Ülkelerin Milli Gelirleri, İşçünün Nüfusa Oranı, Toplam Nüfus, Ar&Ge Harcamaları, Yüksek Teknoloji İhracatı	Endüstri 4.0'ın gelişimi ile Türkiye ve dünya üzerindeki olası etkilerini incelemek.	AR-GE harcamalarının toplam istihdamı negatif yönde etkilerken, ileri teknoloji ürün ihracatını pozitif yönde etkilediği sonucuna varılmıştır.
2019	Myovella, Karacuka ve Haucap	Genelleştirilmiş Doğrusal Momentler Yöntemleri (GMM)	Kişi Başına Düşen Gsyh, Brüt Sabit Sermaye Oluşumu, Devlet Tüketimi, Nüfus Artışı, Geniş Bant Abonelikleri, İnternet Kullanımı, Mobil Aboneler Ve Ticaret Açığı	Karşılaştırmalı olarak (33) Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (OECD) ve (41) Sahara Altı Afrika'nın (SGA) ekonomilerinde dijitalleşmenin iktisadi büyümeye etkisini incelemek.	Çalışmada, her iki ülke grubunda da dijitalleşmenin iktisadi büyümeye olumlu katkısı olduğunu sonucuna varılmıştır.
2020	Aydın	Dinamik Panel Veri Tekniklerinden Genelleştirilmiş Momentler Metodu	Robot Kullanımı, Toplam İstihdam	Seçilmiş 47 ülke için 2004-2016 yıllarına ilişkin robotlar ve istihdam arası ilişkinin incelenmesi.	Çalışmada elde edilen bulgular, bir birim ilave robot kullanımının toplam istihdamı %0,7 düşürdüğü ortaya koymuştur.
2020	Balan ve Koyuncu	Panel Veri Analizi	Yüksek Teknoloji İhracatı, İşgücü Verimliliği	36 OECD ülkesinin Endüstri 4.0 sisteminin elzem bir parçası olan yüksek teknoloji ürün ihracatı ile emek piyasasında işgücü verimliliği arasındaki nedensel ilişkiyi incelemek.	8 ülke bazında yüksek teknoloji ürün ihracatından işgücü verimliliğine doğru nedensel ilişkilerin, 6 ülke için işgücü verimliliğinden yüksek teknoloji ürün ihracatına doğru nedensel ilişkilerin ve üç ülke için de iki yönlü nedensel ilişkiler bulunmuştur.
2020	Kasa	Dinamik Panel Veri, Sistem GMM Tahmincisi	AR-GE Harcamaları, Beşeri Sermaye Endeksi, Doğrudan Yabancı Sermaye Yatırımları, Patent Başvuruları ve Yüksek Teknoloji Ürün İhracatları	Endüstri 4.0 sürecine uyum sağlamayı ve/veya bu bağlamda gerekli reformları yapmayı başaran yenilikçi ülkelerin gelişimlerinde en çok etkili olan faktörleri incelemek.	Çalışmada elde edilen bulgulara göre yüksek teknoloji ihracatı ve doğrudan yabancı sermaye yatırımlarının kişi başına GSYH'yi pozitif yönde etkilediği tespit edilmiştir.
2021	Koç	Panel Veri Analizi	İşsizlik Oranı, Bir Önceki Dönemin İşsizlik Oranı, Endüstriyel Dijitalleşme Düzeyi, Mekânsal Etki Faktörü	2013-2017 dönemi bazında endüstriyel dijitalleşmenin işsizlik oranı üzerindeki etkisinin belirlenmesi ile mekânsal faktörlerin ilişkili olup olmadığını incelemek.	Çalışmada, bir önceki dönemin işsizlik oranı cari dönem işsizlik oranını pozitif etkilediğini, ancak endüstriyel dijitalleşme düzeyi ile cari işsizlik oranı arasında negatif ilişki bulunduğu belirlenmiştir. Bunun yanı sıra negatif mekânsal bağımlılığın söz konusu olduğu tespit edilmiştir.
2023	Guliyev	Dinamik Panel Veri Analizi, Sistem GMM	Yapay zeka ile ilgili Google Trend Endeksi, İşsizlik Oranı	2005-2021 dönem aralığı için yüksek teknolojiye sahip 24 gelişmiş ülke bazında yapay zekânın işsizlik üzerindeki etkisini incelemek.	Çalışmada elde edilen sonuca göre, tüm tanınal testler ile ekonometrik modelin geçerli olduğu ve modelde yer alan değişkenlerin %5 düzeyinde istatistiksel bakımdan anlamlı olduğu kanıtlanmaktadır.

3. ARAŞTIRMANIN METODOLOJİSİ VE BULGULARI

Bu çalışmada Endüstri 4.0'ın ekonomik büyüme üzerine etkilerini incelerken "Almanya, ABD, Japonya, İngiltere, Fransa, İsveç, Norveç, Danimarka, Güney Kore, Singapur, Çin, Brezilya, Rusya, Tayland, Arjantin, Polonya, Güney Afrika ve Türkiye" için 2000-2019 dönemine ait yıllık veri seti kullanılmıştır. Bu kapsamda seçilen ülkeler, hem dünya ekonomisinin önemli bir kısmını oluşturan hem de Endüstri 4.0'ın öncüleri olan ve bu dönüşümün uygulandığı, denenmekte olduğu ülkelerdir. Dolayısıyla ekonomik büyüme potansiyeli yüksek olan bu ülkeler, Endüstri 4.0'ın ekonomik büyüme üzerindeki etkisini anlayabilmek adına önemli birer örnek teşkil etmektedirler. Tam bu noktada, seçilen ülkelerde Endüstri 4.0'ın ekonomik büyümeye etkisinin araştırılması, teknolojik dönüşümün potansiyelini anlama ve diğer ülkelerin bu dönüşüme nasıl adapte olabileceğini öğrenme açısından son derece elzemdir.

Tablo 7: Değişkenler, Açıklamaları ve Kaynakları

Değişkenler	Sembol	Değişken Türü	Gözlem Aralığı	Verilerin Alındığı Kaynak
Kişi Başına GSYH	GSYH	Bağımlı Değişken	2000-2019	Dünya Bankası (World Bank-WB)
15 Yaş Üstü Nüfus İstihdamı (Toplam %)	İSTH	Kontrol Değişken		Dünya Bankası (World Bank-WB)
Sermaye Stoku	SS	Kontrol Değişken		Penn Dünya Tablosu (Penn World Table, version 10.0-PWT)
Patent Başvuru Sayısı	PTNT	Bağımsız Değişken		Dünya Bankası (World Bank-WB)
Orta ve İleri Teknoloji İhracatı (İmal Edilen ihracat %)	OİT	Bağımsız Değişken		Dünya Bankası (World Bank-WB)
Bilgi İletişim Teknolojileri İhracatı (Toplam %)	BİT	Bağımsız Değişken		Dünya Bankası (World Bank-WB)

Tablo 7'de çalışmanın analizindeki değişkenler, açıklamaları ve temin edildiği kaynaklara yer verilmiştir. Çalışmada kullanılan ülke verileri Dünya Bankası (<https://www.worldbank.org/en/home-2023/09/26>) ve Penn Dünya Tablosu (<https://www.rug.nl/ggdc/productivity/pwt/?lang=en-2023/09/26>) veri tabanından elde edilmiştir. Modelde kişi başına düşen GSYH (GSYH) bağımlı değişken olarak belirlenmiştir. Söz konusu modelde, kontrol değişkenleri olarak istihdam oranı (İSTH), sermaye stoku (SS) ve bağımsız değişkenler olarak patent başvuru sayısı (PTNT), orta ve ileri teknoloji ihracatının imalat ihracatındaki payı (OİT) ve bilgi iletişim teknolojileri ihracatının toplam ihracattaki payı (BİT) analize dâhil edilmiştir.

Dijitalleşmenin ve otomasyonun yoğun bir şekilde kullanıldığı bir üretim süreci olan Endüstri 4.0'ın ekonomik büyüme üzerinde önemli etkiler ortaya çıkaracağı düşünülmektedir. Bu etkileri incelemek adına kontrol değişkenleri olarak sermaye stoku ve istihdam seçilmiştir.

Sermaye stoku, bir ekonomideki toplam sermaye miktarını temsil etmektedir. Endüstri 4.0 dönüşümü ile otomasyonun artması ve dijital teknolojilerin kullanımı, işletmelerin verimliliğini artırabilir ve sermaye birikimine katkıda bulunabilir. İstihdam ise bir ekonomideki işgücü miktarını temsil etmektedir. Endüstri 4.0 ile otomasyonun artışı, bazı işlerin yapay zekâ ve robotlar tarafından üstlenbilmesine neden olabilir, bu da istihdamı etkileyebilir. Dolayısıyla, sermaye stoku ve istihdam, Endüstri 4.0'ın ekonomik büyümeye etkisini değerlendirme noktasında önemli kontrol değişkenleridir.

Ekonomik büyüme düzeyini yansıtan bir gösterge niteliğinde kişi başına GSYH, bağımlı değişken olarak seçilmiştir. Bu bağlamda kişi başına gelir, Endüstri 4.0'ın ekonomik büyümeye etkisini ölçmek adına önemli bir bağımlı değişkendir. Bağımsız değişken olarak ise bilgi iletişim teknolojileri ihracatı ile orta ve ileri teknoloji ihracatı seçilmiştir. Bilgi iletişim teknolojileri ihracatı, dijitalleşme sürecinde kullanılan teknolojilerin ihracatını ifade ederken, orta ve ileri teknoloji ihracatı, Endüstri 4.0 sürecinin gerektirdiği ileri teknoloji ürünlerinin ihracatını temsil etmektedir. Nitekim, bu değişkenler, Endüstri 4.0'ın ekonomik büyümeye nasıl katkıda bulunduğunu anlamak açısından önemli bağımsız değişkenlerdir.

Bu çalışmanın literatürdeki diğer çalışmalardan farkı, özel bir odak noktasına sahip olmasıdır. Bu çalışma, Endüstri 4.0'ın ekonomik büyümeye etkisini sermaye stoku, istihdam, bilgi iletişim teknolojileri ihracatı, orta ve ileri teknoloji ihracatı aracılığıyla değerlendirirken, diğer çalışmalar genellikle tek bir kontrol veya bağımsız değişkene odaklanmaktadır. Bu nedenle, Endüstri 4.0'ın ekonomik büyümeye etkisini çoklu değişkenler kullanarak daha kapsamlı bir şekilde incelemesi ile bu çalışma farkını ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, bu değişkenler çalışmanın konusuna ilişkin olarak belirlenmiştir. Ekonomik büyümeyi temsilen kişi başına GSYH değişkeni, Endüstri 4.0'ı temsilen ise bilgi ve iletişim teknolojileri ihracatı ile orta ve yüksek teknoloji ihracatı kullanılmıştır. Kontrol değişkenler ise temel ekonomik büyümenin bileşenleridir. İlgili değişkenler ile kurulan model aşağıda formüle edilmiştir:

$$GSYH_{it} = \alpha_0 + \beta_1(\dot{I}STH)_{it} + \beta_2(SS)_{it} + \beta_3(PTNT)_{it} + \beta_4(OiT)_{it} + \beta_5(BiT)_{it} + \epsilon_i \quad (1)$$

Tablo 8: Tanımlayıcı (Özet) İstatistikler

Değişken	Gözlem	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
GSYH	360	28704.79	20889.85	2.193.893	76085.24
İSTH	360	5.745.403	7.821.573	36.8	74.82
SS	360	10200000.00	14100000.00	506261	69100000.00
PTNT	360	28735.69	58787.21	112	336340
OiT	360	5.724.503	1.440.619	0	8.538.837
BiT	360	9.907.235	1.068.397	.0599616	5.497.448

Tablo 8’de kişi başına GSYH, 15 yaş üstü nüfus istihdamı (toplam %), sermaye stoku, patent başvuru sayısı, orta ve ileri teknoloji ihracatı (imal edilen ihracat %), bilgi iletişim teknolojileri ihracatı (toplam %) değişkenlerinin gözlem sayısı, ortalaması ve standart sapma değerleri Stata 16 paket programı ile hesaplanmıştır.

Çalışmada, ekonometrik yöntem olarak panel veri analizi uygulanmaktadır. Analizlere ilişkin tahmin sonuçları hesaplanırken Eviews 12, Gauss 16 ve Stata 16 paket programları kullanılmıştır. Çalışma doğrultusunda oluşturulan hipotez “Endüstri 4.0, kişi başına gelir düzeyini artırır” şeklindedir.

Analizde öncelikle değişkenlerin zaman serisi özellikleri incelenmiş olup bu amaçla, kesit bağımlılığı test edilmiştir. Bu doğrultuda, ilk olarak seçilen ülkeler için değişkenlerin seriye gelen bir şoktan aynı derece etkilenip etkilenmediğini tespit etmek adına yatay kesit bağımlılığının varlığını sınamasında Breusch-Pagan (1980) CD_{LM1} testi kullanılmıştır. Ardından kesit bağımlılığı test sonuçlarına göre hangi nesil testlerin (birinci nesil ya da ikinci nesil) uygulanacağına karar verilmiştir. Dolayısıyla seriyi oluşturan sürecin zaman ilerledikçe sabit olup olmadığını (serinin durağan olup olmadığı) belirlenmesi amacıyla yatay kesit bağımlılığının varlığına da uygun olarak ikinci nesil birim kök testlerinden biri olan CIPS birim kök testi uygulanmıştır. Daha sonra ise, ekonometrik çalışmalar için uygun analiz yöntemlerinin seçilmesi ve daha gerçekçi yorumlar yapılabilmesi adına eğim katsayılarının homojenliği sınanmıştır. Eğim katsayılarının heterojen olması ve birim kök testi sonuçlarına göre değişkenlerin $I(0)$ ve $I(1)$ düzeylerinde karışık bir şekilde durağan hale gelmesi sebebiyle bir sonraki aşamada, Westerlund (2008) Durbin-Hausman eşbütünlük testi uygulanmıştır. Bu testin sonucunda, eşbütünlük ilişkisinin varlığı kanıtlanmıştır. Son olarak, panel veri analizi kapsamında uzun ve kısa dönemli ilişkilerin tahmini için gerekli koşullar sağlandığı için Havuzlanmış Ortalama Grup Tahmini (Pooled mean group estimation [PMGE]) yönteminin kullanılması uygun olduğu belirlenmiştir.

Tablo 9: Yatay Kesit Bağımlılık Test Sonuçları

Test	Her Bir Değişken ve Model için Yatay Kesit Bağımlılığı Testi Sonuçları	
	Breusch-Pagan (1980) CD_{lm}	
<i>Değişkenler ve Modeller</i>	<i>İstatistik Değeri</i>	<i>Olasılık Değeri</i>
GSYH	2411.960***	0.0000
İSTH	932.9554***	0.0000
SS	2615.550***	0.0000
PTNT	1243.490***	0.0000
OİT	722.5596***	0.0000
BİT	1611.312***	0.0000
MODEL: GSYH=F (İSTH, SS, PTNT, OİT, BİT)	786.4914***	0.0000

Yatay kesit bağımlılığını test edebilmek adına çalışmada kullanımı uygun olan test ($T > N$ olmasından dolayı), Breusch ve Pagan (1980) testi olmuştur. Değişkenlerdeki ve denklemlerdeki (modellerdeki) yatay kesit bağımlılığı, Eviews 12 kodlarıyla sınanmıştır. Tablo 8’de, yatay kesit bağımlılık testi sonuçları gösterilmiştir.

Tablo 9'a göre, değişkenlerin ve modellerin tümünde yatay kesit bağımlılığının varlığı Eviews 12 programı kullanılarak kanıtlanmıştır. Bunun nedeni, değişkenlerin ve modellerin olasılık değerlerinin 0,05'ten küçük olması ve bunun neticesinde de "Yatay kesit bağımlılığı yoktur." şeklindeki H_0 hipotezinin (sıfır hipotezi) reddedilmesidir. Dolayısıyla, çalışmanın devamında, yatay kesit bağımlılığını dikkate alan birim kök testleri ve tahmin yöntemleri kullanılmıştır.

Mutlak değer olarak CIPS (Yatay Kesit Genişletilmiş Im-Pesaran-Shin) test istatistiğinin kritik değerlerden büyük olması hali serilerin durağan olduğu şeklinde yorumlanmaktadır (Pesaran vd., 2013). Tablo 10, Stata 16 paket programı ile hesaplanan CIPS birim kök testi sonuçlarını göstermektedir.

Tablo 10: CIPS Birim Kök Testi Sonuçları

CIPS istatistiği			Kritik değerler	
Değişkenler	Seviye	Fark		
GSYH	-1.729	-3.035		
İSTH	-1.525	-2.583	1%	-2.400
SS	-2.448	-3.094	5%	-2.210
PTNT	-2.025	-3.474		
OİT	-2.140	-3.202	10%	-2.100
BİT	-2.910	-4.062		

Panel veride kurulan model tahmin edilmeden önce, serilerin birim kök içerip içermediği incelenmiştir. Tablo 10'a göre; sermaye stoku, bilgi iletişim teknolojileri ihracatı I(0)'da (düzey) durağan iken; kişi başına GSYH, istihdam oranı, patent başvuru sayısı, orta ve ileri teknoloji ihracatı değişkenleri ise I(1)'de (birinci fark) durağan hale gelmiştir. Bu durumda, panel eşbütünleşme analizine yönelik gereken koşullar sağlanmıştır.

Panel veri yönteminde Pesaran ve Yamagata (2008) tarafından geliştirilen Delta testi, eşbütünleşme testi yönteminin doğru şekilde seçimi ve analizlerin anlamlılığı noktasında son derece önemlidir. Dolayısıyla, bu çalışmada eşbütünleşme testlerini yapmadan önce, Pesaran ve Yamagata (2008) tarafından geliştirilen "Delta (Homojenlik) Testi"nden yararlanılmıştır. Tablo 11'de, homojenlik testi sonuçları incelenmiştir:

Tablo 11: Homojenlik Testi Sonuçları

MODEL		
Test istatistiği	T istatistiği	Olasılık değeri
<i>Delta_tilde</i>	11.322***	0.000
<i>Delta_tilde_adj</i>	14.043***	0.000

Tablo 11'de, birim kök testi sonrası, sabit ve eğim parametrelerinin homojenliği sınanmaktadır. Sabit ve eğim parametrelerinin testleri, tahmin yöntemleri arasında seçim yapılması halinde, birimlere göre homojen ve heterojen olması durumu göz önünde

bulundurulmaktadır. Bu tablodan modele ilişkin H_0 hipotezinin reddedilerek alternatif hipotezin (H_1 hipotezi) kabul edildiği anlaşılmaktadır. Bu durum ise, eğim katsayılarının heterojen olduğunu göstermektedir. Eğim katsayılarının heterojen olması, bir sonraki aşamanın Westerlund (2008) Durbin-H eşbütünlük testi olacağını kanıtlamaktadır.

Yatay kesit bağımlılığı, birim kök testi ve eşbütünlük katsayılarının homojenliği testi neticesinde bu çalışmada, Westerlund (2008) Durbin-H yönteminin kullanılması uygun görülmüştür. Nitekim Westerlund (2008) tarafından geliştirilen Durbin-H yöntemine ilişkin sınıma, Gauss 16 kodlarıyla gerçekleştirilmiştir. Tablo 12’de, Gauss 16 paket programı ile hesaplanan Westerlund (2008) Durbin-H eşbütünlük testi sonuçları gösterilmiştir:

Tablo 12: Westerlund (2008) Durbin-H Eşbütünlük Testi Sonuçları

Kritik Değerler	MODEL	
%1=2.333	Panel	
%5=1.645		
%10=1.28	<i>İstatistik değeri</i>	<i>Olasılık değeri</i>
Testler		
Durbin-H grup istatistiği	1.345*	0.089
Durbin-H panel istatistiği	1.537*	0.062

Birim kök testi sonucunun $I(0)$ ve $I(1)$ düzeylerinde durağanlaşmasından dolayı, modellerin her biri için Westerlund (2008) testi (Durbin-H eşbütünlük testi) uygulanmıştır. Tablo 12’ye göre, bu modelde %10 düzeyinde Durbin H-Grup istatistiği ve Durbin H-Panel istatistiğinde eşbütünlük ilişkisinin olmadığı H_0 hipotezi reddedilmiştir. Bu sonuç ile seçilen ülkeler için eşbütünlük ilişkisinin varlığı kanıtlanmıştır.

Dinamik heterojen paneller için Havuzlanmış Ortalama Grup (Pooled mean group estimation tahmircisi [PMGE]) Pesaran, Shin ve Smith (2001) tarafından önerilmiştir. PMGE’nin MGE’den (Ortalama Grup tahmircisi “Mean Group Estimation”) ayrıldığı nokta, katsayıların havuzlanması ve ortalamalarının bir bileşimi niteliğindeki ara tahmircilerden oluşmasıdır. PMGE modelinde, değişkenler için uzun dönemde homojenite ile bağlantılı kalarak kısa dönemde heterojenite elde edilmesine imkân tanımaktadır (Pesaran vd., 2001). Tablo 13’te, seriler arasındaki ilişkisinin uzun ve kısa dönem katsayıları ve bu katsayıların yönünün belirlendiği PMG modeli tahmin sonuçlarına yer verilmiştir.

Tablo 13: PMGE Tahmin Sonuçları

MODEL				
N=18			Gözlem=342	
T=20			Ortalama=19	
			Log-Likelihood= -2343.098	
Uzun dönem tahminleri				
<i>ΔGDPC</i>	<i>Katsayı</i>	<i>Standart hata</i>	<i>Z-değeri</i>	<i>Olasılık değeri</i>
İSTH	5.64051***	3.226758	4.35	0.000
SS	.005917***	.0001132	5.23	0.000
PTNT	.4474384***	.085629	5.23	0.000
OİT	9.37882***	8.43621	4.37	0.000
BİT	7.828192	6.16206	1.58	0.114
Kısa dönem tahminleri				
ECM	-.0735053***	.0190243	-3.86	0.000
ΔİSTH	-2.2575***	1.6587	-5.20	0.000
ΔSS	.0011831*	.0006686	1.77	0.077
ΔPTNT	.2113577	.263423	0.80	0.422
ΔOİT	5.49602	3.45847	0.01	0.988
ΔBİT	2.61255	1.0031	0.79	0.431
Sabit	28.845***	24.464	3.11	0.002
Her bir ülke için hata düzeltme katsayıları				
Almanya	-.1193521**	.0541241	-2.21	0.027
Amerika	-.012149*	.0071452	-1.70	0.089
Japonya	-.0324488*	.0584914	-0.55	0.079
Danimarka	-.0124418	.0116552	-1.07	0.286
Fransa	-.091009***	.0347131	-2.62	0.009
İngiltere	-.1764812***	.0533617	-3.31	0.001
İsveç	-.0422182***	.0130884	-3.23	0.001
Norveç	-.1132818***	.0297861	-3.80	0.000
Güney Kore	-.1637214**	.0653558	-2.51	0.012
Singapur	-.2662381***	.0400084	-6.65	0.000
Arjantin	-.012024**	.0057363	-2.10	0.036
Çin	-.0371245*	.0218322	-1.70	0.089
Brezilya	-.0052912	.0390106	-0.14	0.892
Güney Afrika	-.0072003	.0070645	-1.02	0.308
Polonya	-.008304	.0174608	-0.48	0.634
Rusya	-.0041695***	.0011407	-3.66	0.000
Tayland	-.1488563***	.0400111	-3.72	0.000
Türkiye	-.1297123***	.0315175	-4.12	0.000

Not: ***, **, * sırasıyla %1, %5, %10 anlamlılığı ifade etmektedir.

Model için uzun dönemde 15 yaş üstü istihdamın toplam istihdamdaki payında %1’lik artışın, kişi başına gelir düzeyini 5.6 birim artırdığı görülmektedir. Uzun dönemde sermaye stoğunda bir artış, kişi başına gelir üzerinde 0.0059 birimlik bir artışa yol açmaktadır. Uzun dönemde patent başvuru sayısındaki bir artış ile kişi başına gelir üzerinde 0.44 birimlik bir artış gerçekleşmektedir. Uzun dönemde orta ve ileri teknolojinin ihracattaki payında %1’lik artış, kişi başına geliri 9,3 birim artmaktadır. Sonuç olarak, kişi başına gelir ile %1 düzeyinde anlamlı ve pozitif yönlü ilişkisi bulunan değişkenler, 15 yaş üstü istihdam oranı, sermaye stoku, patent başvuru sayısı orta ve ileri teknoloji ihracatının imal edilen ihracattaki oranıdır. Ancak, kişi başına gelir düzeyi ile bilgi iletişim teknolojileri ihracatının toplam ihracattaki payı arasında uzun dönemde istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunamamıştır. Kısa dönemde ise, kişi başına gelir ile istatistiksel bakımdan anlamlı ilişki bulunan değişkenler, negatif yönde %1 düzeyi için 15 yaş üstü istihdam oranı ve pozitif yönde %10 düzeyi için sermaye stoğudur. Ancak kişi başına gelir ile patent başvuru sayısı, orta ve ileri teknolojinin ihracattaki payı arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir ilişki bulunamamıştır. Bu duruma detaylı olarak bakıldığında, kısa dönemde 15 yaş üstü istihdamın toplam istihdamdaki payında %1’lik artışın, kişi başına gelirden 2.25 birimlik bir düşüşe yol açtığı görülmektedir. Kısa dönemde sermaye stoğunda bir artış, kişi başına geliri 0.0011 birim artırmaktadır. Ancak kısa dönemde, kişi başına gelir ile patent başvuru sayısı, orta ve ileri teknolojinin imal edilen ihracattaki payı, bilgi iletişim teknolojileri ihracatının toplam ihracattaki payı arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir ilişki saptanamamıştır. Kısa dönem tahmininde yer alan değişkenler için hata düzeltme katsayısının beklendiği gibi negatif ve istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir.

Ülkeler bazında uzun dönem etkilerine ait sonuçlar incelendiğinde ise, “Almanya, Amerika, Japonya, Fransa, İngiltere, İsveç, Norveç, Güney Kore, Singapur, Arjantin, Çin, Rusya, Tayland ve Türkiye”nin hata düzeltme parametrelerine ait katsayılar negatif ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Bunun yanı sıra, uzun dönemde “Danimarka, Brezilya, Güney Afrika ve Polonya” için hata düzeltme parametrelerine ait katsayılar negatiftir ancak anlamlı bir ilişki tespit edilememiştir. Dolayısıyla modelde bu çalışmada Endüstri 4.0 dijital dönüşümü için strateji ve planlara sahip olan 18 ülkeden 14’ü kapsamında Endüstri 4.0’ın ekonomik büyüme üzerinde anlamlı bir etkisi olduğu kanıtlanmıştır. Almanya, ABD, Japonya, Güney Kore ve Singapur gibi dijital dönüşümde öncü ülkeler için test sonuçları bazında anlamlı bir ilişkinin ortaya çıkması ile belirtilen her bir ülkede en son teknolojilere yatırım ve entegrasyon, otomasyon ve dijitalleşmenin benimsenmesi, beceri geliştirme, verimlilik artışı ve Endüstri 4.0’a yönelik politika girişimleri dikkat çekmiştir. Ayrıca Endüstri 4.0 devrimi, dijitalleşme, akıllı fabrikalar, büyük veri analitiği, IoT otomasyon gibi teknoloji ve uygulamaların kullanımı, Türkiye ekonomisinde büyümeyi artırabilecektir. Bu teknolojilere yatırım yaparak ve bu değişimlere uyum sağlayarak Türkiye, rekabet gücünü artırabilecek ve daha sürdürülebilir bir ekonomik büyüme sağlayabilecektir.

4. SONUÇ

İçinde bulunulan dijital çağın yapay zekâ, robotlar, makine öğrenimi, nesnelerin interneti, otomasyon ve benzeri yeni teknolojiler, mühendislik bilimleri kadar sosyal bilimlerin de ilgi alanına giren bir konu haline gelmiştir. Bu çalışmadaki amaç, Endüstri 4.0 devriminin ekonomik büyüme olgusuna etkilerini incelemektir. Çalışmada Endüstri 4.0’ın iktisadi büyüme üzerine etkileri araştırılırken “Almanya, ABD, Japonya, İngiltere, Fransa, İsveç, Norveç, Danimarka, Güney Kore, Singapur, Çin, Brezilya, Rusya, Tayland, Arjantin, Polonya, Güney Afrika ve

Türkiye"ye ait 2000-2019 için yıllık veri seti kullanılmıştır. Bu kapsamda seçilen ülkeler, genellikle Endüstri 4.0'da öne çıkan ve çeşitli planları (stratejileri) olan ülkelerdir.

Çalışmada, panel veri analiz yöntemi uygulanmaktadır. Analizlere ilişkin tahmin sonuçları hesaplanırken Eviews 12, Gauss 16 ve Stata 16 paket programları kullanılmıştır. Çalışmada kurulan modelde bağımlı değişken olarak iktisadi büyümeye ilişkin gösterge kişi başına gelir düzeyi, kullanılmıştır. Çalışmadaki bağımsız değişkenler ise Endüstri 4.0'ı temsil eden değişkenler olan patent başvuru sayısı, orta ve ileri teknoloji ihracatı, bilgi iletişim teknoloji ihracatı olarak belirlenmiştir. Dijitalleşmenin ve otomasyonun yoğun biçimde kullanıldığı bir üretim süreci olan Endüstri 4.0'ın ekonomik büyüme üzerinde önemli etkiler oluşturacağı düşünülmektedir. Bu etkilerin incelenmesi amacıyla kontrol değişkenleri olarak sermaye stoku ve istihdam seçilmiştir.

Çalışmada kullanılan kişi başına gelir, Endüstri 4.0'ın ekonomik büyümeye etkisini ölçmek açısından önemli bir bağımlı değişkendir. Bağımsız değişken olarak ise bilgi iletişim teknolojileri ihracatı ile orta ve ileri teknoloji ihracatı seçilme nedeni; bilgi iletişim teknolojileri ihracatının, dijitalleşme sürecinde kullanılan teknolojilerin ihracatını ifade etmesiyken, orta ve ileri teknoloji ihracatının, Endüstri 4.0 sürecinin gerektirdiği ileri teknoloji ürünlerinin ihracatını temsil etmesidir. Dolayısıyla ilgili değişkenler, Endüstri 4.0'ın ekonomik büyümeye nasıl katkıda bulunduğunu anlamak noktasında son derece elzem bağımsız değişkenlerdir.

Bu çalışma, özel bir odak noktasına sahip olarak literatürdeki diğer çalışmalardan farklıdır. Bu çalışma, Endüstri 4.0'ın ekonomik büyümeye etkisini sermaye stoku, istihdam, bilgi iletişim teknolojileri ihracatı, orta ve ileri teknoloji ihracatı aracılığıyla değerlendirirken, diğer çalışmalar genel olarak tek bir kontrol veya bağımsız değişken üzerine odaklanmaktadır. Dolayısıyla, Endüstri 4.0'ın ekonomik büyümeye etkisini çoklu değişkenlerin kullanılmasıyla daha kapsamlı bir şekilde incelemesi, bu çalışmanın farkını ortaya koymaktadır.

Analizde öncelikle değişkenlerin seçilen ülkeler için seriye gelen bir şoktan aynı derece etkilenip etkilenmediğini tespit etmek adına yatay kesit bağımlılığının varlığı sınanmış olup bu amaçla Breusch-Pagan (1980) CD_{LM1} testi kullanılmıştır. Ardından seriyi oluşturan sürecin zaman ilerledikçe sabit olup olmadığını (serinin durağan olup olmadığı) belirlenmesi amacıyla yatay kesit bağımlılığın varlığına da uygun olarak CIPS birim kök testi uygulanmıştır. Daha sonra ise, ekonometrik çalışmalar için uygun analiz yöntemlerinin seçilmesi ve daha gerçekçi yorumlar yapılabilmesi adına eğim katsayılarının homojenliği sınanmıştır. Eğim katsayılarının heterojen olması ve birim kök testi sonuçlarına göre değişkenlerin $I(0)$ ve $I(1)$ düzeylerinde karışık bir şekilde durağan hale gelmesinden dolayı bir sonraki aşamada Westerlund (2008) Durbin-Hausman eşbütünleşme testi uygulanmıştır. Bu testin sonucunda, eşbütünleşme ilişkisinin varlığı kanıtlanmıştır. Son olarak da, panel veri analizi kapsamında uzun ve kısa dönemli ilişkilerin tahmini için gerekli koşullar sağlandığı için Havuzlanmış Ortalama Grup Tahmini yönteminin kullanılması uygun görülmüştür.

Araştırma bulguları değerlendirildiğinde, kurulan modelde uzun dönemde kişi başına gelir ile 15 yaş üstü istihdamın toplam istihdamdaki payı arasında pozitif yönde ve anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir. Söz konusu bulgu, Arthur Melvin Okun'un (1962) bir ekonomide daha fazla mal ve hizmet üretmenin daha fazla emek gerektirdiği görüşünü destekler niteliktedir. Uzun dönemde kişi başına gelir ile sermaye stoğu arasında pozitif yönlü ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğu saptanmıştır. Solow (1956) tarafından kurulan modelin ilk kurgusunda, iktisadi büyümenin temel dinamiğinin sermaye birikimi sürecine dayandırılması, söz konusu bulgunun iktisadi teori ile de uyumlu olduğunu kanıtlamaktadır. Uzun dönemde, kişi başına gelir ile patent

başvuru sayısı arasında pozitif yönde ve anlamlı bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. İlgili tespit, Sucuoğlu (2021) çalışmasındaki bulgular ile uyumlu olup teorik açıdan “patent”in gerek iktisadi büyümeyi gerekse rekabet gücünü arttırdığı kanıtlanmıştır. Nitekim, Konak (2018)’in çalışmasında da belirtildiği üzere, teorik olarak patent başvuru sayısı ve tescil edilen patent sayısındaki artış, yeni teknolojik ürünlerin üretimini ve teknolojik gelişmeyi artırmaktadır. Uzun dönemde kişi başına gelir ile orta ve ileri teknoloji ihracatının imal edilen ihracatındaki payı arasında pozitif yönde ve anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir. Bu tespit, Erdinç ve Aydınbaş (2020), Durgun ve Çapık (2018), Yıldız (2017) ve Falk (2009) tarafından yapılan çalışmalarda elde edilen bulguları destekleyici niteliğe sahiptir. Dolayısıyla, analiz çerçevesinde kişi başına gelir ile %1 düzeyinde anlamlı ve pozitif yönlü ilişkisi bulunan değişkenler “15 yaş üstü istihdam oranı, sermaye stoğu, patent başvuru sayısı orta ve ileri teknoloji ihracatının imal edilen ihracatındaki oranı”dır. Ancak, kişi başına gelir düzeyi ile bilgi iletişim teknolojileri ihracatının toplam ihracattaki payı arasında uzun dönemde istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunmamıştır. Söz konusu bulgu, Ishida (2015) çalışmasındaki istatistiksel tespiti destekler niteliktedir. Ayrıca ilgili bulgu teorik olarak, Karahan ve Erçakar (2018) çalışmasında da yer verdiği gelişmiş bir insan sermayesine sahip olmanın bilgi ve iletişim teknolojilerinin benimsenmesini ve kullanımını kolaylaştırdığı görüşünü kanıtlamaktadır. Nitekim verilerin işlenmiş hali olarak da ifade edilen bilgi, her şeyin temelini oluştursa da tek başına üretimde etkili olamamaktadır.

Bilginin üretkenliği yalnızca insanlarla, işlerle ve görevlerle bir bütün hale gelmesi neticesinde mümkün olmaktadır. Bu üretkenlik, toplumlar ve örgütlerin uzmanlık alanlarındaki birleşme ile gerçekleşmektedir. Dolayısıyla her bilgi ve teknoloji, bir ekonomik sistem ve bu sistem ile oluşan bir toplumsal yapıyı gerektirmektedir. Tam bu noktada bilgi iletişim teknolojileri ihracatının gelişmesiyle birlikte insani faktörlerin (beşeri sermaye) de dikkate alınması gerekmektedir. Ancak beşeri sermaye ile birlikte kişi başına geliri yükseltici bir katkı sağlanabilmesi mümkün olmaktadır. Kısa dönemde ise, kişi başına gelir ile istatistiksel bakımdan anlamlı ilişki bulunan değişkenler, negatif yönde %1 düzeyi için 15 yaş üstü istihdam oranı ve pozitif yönde %10 düzeyi için sermaye stoğudur. Ancak kişi başına gelir ile patent başvuru sayısı, orta ve ileri teknoloji ihracatının imal edilen ihracatındaki payı arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir ilişki bulunmamıştır. Kısa dönemde, kişi başına gelir ile 15 yaş üstü istihdamın toplam istihdamdaki payı arasında istatistiksel olarak anlamlı ancak negatif yönlü ilişki tespiti, Momete (2007) tarafından elde edilen bulguyu (ekonomik büyüme arttıkça istihdamın azalması) destekler niteliktedir. Teorik açıdan yeni teknolojilerin ortaya çıkması ile eski sistemdeki bazı işlerin tekrar edici ve kol gücüne dayanan işlerin geçersiz hale gelmesi neticesinde istihdam edilen kişi sayısındaki azalmayı, kısa dönemdeki istihdamdaki azalışın nedeni olarak belirtmek mümkündür. Nihayetinde teorik olarak uzun dönemde düzelme eğilimine giren istihdamdaki bu durum, uzun dönem için yapılan analizde istatistiksel olarak da kanıtlanmıştır. Bu durumun bir nedeni olarak, uzun dönemde endüstri 4.0’ın yeni iş kollarının ortaya çıkması sonucu istihdam üzerinde olumlu bir etki yaratacağının beklenmesidir. Kısa dönemde kişi başına gelir ile sermaye stoğunu arasında pozitif yönde ve anlamlı bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Ancak kısa dönemde kişi başına gelir ile patent başvuru sayısı, orta ve ileri teknoloji ihracatının imal edilen ihracattaki payı, bilgi iletişim teknolojileri ihracatının toplam ihracattaki payı arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir ilişki bulunmamıştır. Kısa vadede Endüstri 4.0’a ilişkin değişkenler olan (patent başvuru sayısı, orta ve ileri teknoloji ihracatı ve bilgi iletişim teknolojileri ihracatı) istatistiksel açıdan anlamlı ilişkinin tespit edilememesi, teorik açıdan yeni ürünlerin bütünleşik hale getirilmesi ve bireylerin bu doğrultuda eğitilmesinin zor olması, bu sürecin gerçekleşebilmesi için zaman ve sermaye gereksinimi olmasından kaynaklanıyor olabilir. Kısa dönem tahmininde yer alan değişkenler için

hata düzeltme katsayısının beklendiği gibi negatif ve istatistiksel olarak anlamlı olduğu görölmektedir.

Sürdürülebilir bir büyüme için Endüstri 4.0 teknoloji devrimiyle gelen yeniliklerin önemi aşikârdır. Sürdürülebilir büyüme portföyü, gelişen yeni teknolojiler (özellikle de yapay zekâ) ile güçlendirilebilecektir. Dolayısıyla gerek ölkelerin, gerekse firmaların Endüstri 4.0 gerçeğini kabul ederek bu sürece uyum sağlamaları gerekmektedir. Ülke içinde bu doğrultuda akademik çalışmalar, kongreler, konferanslar, seminerler yaygınlaştırılmalı ve farkındalık yaratılması gerekmektedir. Ayrıca tüm eğitim kademelerinde (ilkokuldan üniversiteye) Endüstri 4.0 içerikli derslerin ve eğitimlerin verilmesi çok faydalı olacaktır. Multidisipliner bir konu olan Endüstri 4.0'ın ekonomik büyümeye etkilerinin değerlendirildiği bu çalışmanın gerek sosyal bilimler ve mühendislik gibi alanlarda çalışan akademisyenler ve araştırmacılar gerekse politika yapıcılar ve uygulayıcıları için son derece yararlı bir kaynak niteliğinde olduğu düşünölmektedir.

Sonuç olarak, Endüstri 4.0 kapsamında gelecekteki çalışmalar, ekonomik kalkınma üzerine yapılabilir. Bu doğrultuda kalkınmanın bileşenleri olarak "Telekomünikasyon ve Ulaştırma Yatırımları", "Telekomünikasyon ve Altyapı Sermayesi" gibi farklı değerşkenler de (eksizsiz bir şekilde erişilebildiği takdirde) modele dâhil edilerek inceleme yapılabilmesi önerilebilmektedir.

YAZAR BEYANI

Araştırma ve Yayın Etiđi Beyanı

Bu çalışma bilimsel araştırma ve yayın etiği kurallarına uygun olarak hazırlanmıştır.

Etik Kurul Onayı

Bu araştırma için etik kurul onay belgesi gerekli değerildir.

Yazar Katkıları

Yazar Katkı oranı (%50) , 2. Yazar Katkı Oranı (%50)

Çıkar Çatışması

Yazarlar açısından ya da üçüncü taraflar açısından çalışmadan kaynaklı çıkar çatışması bulunmamaktadır.

KAYNAKÇA

Adedoyin, F. F., Bekun F. V., Drihad, O. M., & Balsalobre-Lorentee, D. (2020). The effects of air transportation, energy, ICT and FDI on economic growth in the industry 4.0 era: Evidence from the United States. *Technological Forecasting & Social Change*, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120297>

- Agarwal, H., & Agarwal, R. (2017). First industrial revolution and second industrial revolution: Technological differences and the differences in banking and financing of the firms. *Saudi Journal of Humanities and Social Sciences*, 2(11), 1062-1066. <https://doi.org/10.21276/sjhss.2017.2.11.7>
- Akbulut, U. (2011). *Sanayi devrimleri dünya gidişini değiştirdi*. 02. 01.2023 tarihinde <http://www.uralakbulut.com.tr/wp-content/uploads/2009/11/.pdf> adresinden alınmıştır.
- Alyoshina, I. V. (2019). *Artificial Intelligence as a challenge for industries, economy and society*. International Conference Technology & Entrepreneurship in Digital Society. <https://doi.org/10.17747/TEDS-2018-132-134>.
- Anuşlu Doğruel, M., & Fırat, S. Ü. (2020). Ülkelerin endüstri 4.0 seviyesinin sürdürülebilir kalkınma düzeylerine etkisinin analizi. *Journal of Industrial Engineering*, 31(0), 44-58.
- Atlı, H. (2019). *Endüstri 4.0; imalat sanayi alt sektörler uyumluluğu* [Yayınlanmamış yüksek lisans tezi]. Kayseri: Nuh Naci Yazgan Üniversitesi.
- Aydın, E. (2018). Türkiye’de teknolojik ilerleme ile istihdam yapısındaki değişme projeksiyonu: Endüstri 4.0 bağlamında ampirik analiz. *Yönetim Bilimleri Dergisi*, 16(31), 461-471.
- Aydın, A. (2020). Robotların istihdam üzerindeki etkisi: Seçilmiş ülkeler üzerine ampirik inceleme. *Çalışma ve Toplum*, 1(68), 269-288.
- Balan, F., & Koyuncu, G. (2020). Endüstri 4.0 bağlamında yüksek teknoloji içeren ürün ihracatı ile işgücü verimliliği ilişkisi: Panel nedensellik analizi. *Girişimcilik ve Kalkınma Dergisi*, 15(1), 1-10.
- Bayuk, M. N., & Öz, A. (2017). Nesnelerin interneti ve işletmelerin pazarlama faaliyetlerine etkileri. *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 43, 41-58. <https://doi.org/10.16992/ASOS.12107>
- Berber, M. (2011). *İktisadi büyüme ve kalkınma* (4.Baskı). Trabzon: Celepler Matbaacılık.
- Breusch, T. S., & Pagan, A. R. (1980). The lagrange multiplier test and its applications to model specification in econometrics. *Review of Economic Studies*, 47, 239-253. <https://doi.org/10.2307/2297111>
- Bulut, E., & Akçacı, T. (2017). Endüstri 4.0 ve inovasyon göstergeleri kapsamında Türkiye analizi. *ASSAM Uluslararası Hakemli Dergi*, 4(7), 55-77.
- Bulut, E. (2019). *Endüstri 4.0’ın gelişimi, Türkiye ve dünya üzerindeki olası etkileri* [Yayınlanmamış yüksek lisans tezi]. Aydın: Adnan Menderes Üniversitesi.
- Çeliktaş, M. S., Sonlu G., Özgel S., & Atalay Y. (2015). Endüstriyel devrimin son sürümünde mühendisliğin yol haritası. *Mühendislik ve Makine Dergisi*, 56(662), 24-34.
- Durgun, A., & Çapık, E. (2018). Ar-Ge harcamaları ve yüksek teknoloji ürün ihracatının büyümeye etkisi: Türkiye örneği. *Journal of Management and Economics Research*, 16(4), 301-314. <https://doi.org/10.11611/yead.463205>
- Erdinç, Z., & Aydınbaş, G. (2020). Yüksek teknoloji ürünleri ihracı ve belirleyicileri: Panel veri analizi. *International Social Mentality and Researcher Thinkers Journal*, 6(30), 496-507. <http://dx.doi.org/10.31576/smryj.479>

- Erkekoğlu, H., & Uslu, H. (2021). Endüstri 4.0 teknolojik dönüşüm sürecinde seçilmiş ülkeler ve Türkiye'nin durumu: Ampirik bir analiz. *Verimlilik Dergisi*, (4), 51-65. <https://doi.org/10.51551/verimlilik.792865>
- Falk, M. (2009). High-tech exports and economic growth in industrialized countries. *Applied Economics Letters*, 16(10), 1025-1028. <https://doi.org/10.1080/13504850701222228>
- Gallup, J. L., Sachs, J. D., & Mellinger, A. D. (1999). Geography and economic development. *International Regional Science Review*, 22(2), 179-232. <https://doi.org/10.1177/016001799761012334>
- Geray, H. (1997). İletişim, bilgi toplumu ve küreselleşme. I. Kansu (der), *Küreselleşme içinde*, 34-45, Ankara: İmge Yayınevi.
- Guliyev, H. (2021). Artificial intelligence and unemployment in high-tech developed countries: New insights from dynamic panel data model. *Research in Globalization*, 7(2023), 100140. <https://doi.org/10.1016/j.resglo.2023.100140>.
- Ishida, H. (2015). The Effect of ICT development on economic growth and energy consumption in Japan. *Telematics and Informatics*, 32, 79-88. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2014.04.003>
- Kagermann, H., Wolfgang W., & Johannes, H. (2013). *Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0*. Berlin: Industrie 4.0 Working Group of Acatech, 2013.
- Karahan, Ö., & Erçakar, M. E. (2018). Bilgi iletişim teknolojileri ve insan sermayesi arasındaki karşılıklı ilişkinin analizi. *Birinci Uluslararası Sosyal Bilimlerde Kritik Tartışmalar*, 5-7 Ekim, İzmir.
- Kasa, H. (2020). Endüstri 4.0'ın ekonomik büyümeye etkisi: Yenilikçi ekonomilere yönelik ampirik bir analiz. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Özel Sayı, 305-312.
- Koç, T. C., & Teker, S. (2019). Industrial revolutions and its effects on quality of life. *PressAcademia Procedia*, 9(1), 304-311. <https://doi.org/10.17261/Pressacademia.2019.1109>
- Konak, A. (2018). Yüksek teknoloji içeren ürün ihracatının ihracat hacmi ve ekonomik büyüme üzerine etkisi: Seçilmiş OECD ülkeleri ve Türkiye örneği. *Yönetim Ekonomi Edebiyat İslami ve Politik Bilimler Dergisi*, 3(2), 56-80. <https://doi.org/10.24013/jomelips.489768>
- Menendez, M. H., Menendez, R. M., Escobar, C. A., & McGovern, M. (2020). Competencies for industry 4.0. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 14, 1511-1524. <https://doi.org/10.1007/s12008-020-00716-2>
- Mohajan, H. K. (2019). The first industrial revolution: Creation of a new global human era. *Journal of Social Sciences and Humanities*, 5(4), 377-387.
- Momete, D. C. (2007). Analysis of the relationship between employment and economic growth in Romania. *Fascicle of Management and Technological Engineering*, 6(16), 2052-2057.
- Myovella, G., Karacuka, M., & Haucap, J. (2019). Digitalization and economic growth: A comparative analysis of Sub-Saharan Africa and OECD economies. *Telecommunications Policy*, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2019.101856>

- Okun, A. M. (1962). Potential GNP & Its measurement and significance. *American Statistical Association, Proceedings of the Business and Economics Statistics Section*, 98-104.
- Öztürk, S., & Alaşahan, Y. (2019). Türkiye’de endüstri 4.0 uygulamalarının değerlendirilmesi: Panel veri analiz. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 61, 1-18.
- Parasız, İ. (2003). *İktisadi büyüme teorileri*. Bursa: Ezgi Yayınları.
- Pehlivan, C., & Efeoğlu, R. (2019). Empirical investigation of technology-industry 4.0 relation of the effect on trade: An analysis on Turkey. *Turkish Studies-Economics, Finance, Politics*, 14(4), 1487-1502, <https://doi.org/10.29228/TurkishStudies.30185>
- Pesaran, M. H. & Shin, Y. & Smith, R. J. (2001). *Bounds testing approaches to the analysis of long-run relationships*. *Journal of Applied Econometrics*, 16(3), 289-326, <https://doi.org/10.1002/jae.616>.
- Pesaran, M. H., & Yamagata, T. (2008). Testing slope homogeneity in large panels. *Journal of Econometrics*, 142, 50-93
- Pesaran, M. H., Smith, V., & Yamagata, T. (2013). Panel unit root tests in the presence of a multifactor error structure. *Journal of Econometrics*, 175(2), 94-115, <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2013.02.001>.
- Prisecaru, P. (2016). Challenges of the Fourth Industrial Revolution. *Knowledge Horizons. Economics*, 8(1), 57-62. 03.08.2023 tarihinde <https://search-proquest-com.ezproxy.libraries.udmercy.edu:2443/docview/1793552558?accountid=28018> adresinden alınmıştır.
- Schwab, K., & Davis, N. (2019). *Dördüncü sanayi devrimini şekillendirmek* (Çev: N. Özata). İstanbul: Optimist Yayıncılık.
- Shabardina T. V. (2019). Econometric analysis of the Russian regions’ digital inequality. *Advances in Economics, Business and Management Research*, 81, 1st International Scientific Conference, Modern Management Trends and the Digital Economy from Regional Development to Global Economic Growth (MTDE 2019).
- Solow, R. M. (1956). A contribution to the theory of economic growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 70, 65-94. <https://doi.org/10.2307/1884513>.
- Sucuoğlu, N. (2021). *Seçilmiş OECD ülkelerinde bilgi iletişim teknolojileri ve ekonomik büyüme arasındaki ilişki* [Yayınlanmamış yüksek lisans tezi]. Aydın: Adnan Menderes Üniversitesi.
- Şahin, E., & Kaya, F. (2019). *Pazarlamada yeni dönem: Endüstri 4.0, yapay zekâ ve akıllı asistanlar*. Ankara: Çizgi Kitabevi.
- Taban, S. (2011). *İktisadi büyüme: Kavram ve modeller* (2. baskı). Ankara: Nobel Yayınevi.
- Temple, J. (1999). The new growth evidence. *Journal of Economic Literature*, 37(1), 112-156. <https://doi.org/10.1257/jel.37.1.112>
- Turan, T. (2008). *İktisadi büyüme teorisine giriş*. İstanbul: Yalın Yayıncılık.
- Türkcan, H., & İnce, H. (2021). Endüstri 4.0 kavramsal çerçeve (1.baskı). S. M., İmamoğlu ve S., Erat (Editörler), Endüstri 4.0’dan toplum 5.0’a dijitalleşmenin gücü içinde (s. 1-19), Ankara: Nobel Yayıncılık.

- Ülgener, S. F. (1980). *Milli gelir, istihdam ve iktisadi büyüme* (6. baskı). İstanbul: Der Yayınevi.
- Westerlund, J. (2008). Panel cointegration test of the fisher effect. *Journal of Applied Econometrics*, 23, 193-233.
- Yavuz, O. (2021). Üretimde kullanılan endüstri 4.0 araçlarına olan ilgi düzeyinin yüksek teknoloji ürünleri ihracatı üzerine etkisi. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 13(1), 825-843.
- Yıldız, Ü. (2017). BRICS ülkeleri ve Türkiye’de yüksek teknoloji ihracatı ve ekonomik büyüme ilişkisinin panel veri analizi. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Üniversitesi Dergisi*, 53, 26-34.