



BRICS ÜLKELERİNDE ENDÜSTRİ 4.0 DÖNEMİNİN EKONOMİK BÜYÜMEYE YANSIMALARI

Emel ABA ŞENBAYRAM¹

Öz

Endüstrileşme, üretim sürecine teknolojik gelişmelerin entegre edilerek verimlilik artışını hedeflerken aynı zamanda ülkelerin kalkınmasındaki en önemli göstergedir. Dördüncü evresini yaşamakta olan endüstrileşmenin son yıllarda dijitalleşmenin de etkisi ile önemi daha da artmaktadır. Endüstri 4.0 gelişmiş ekonomilere sahip ülkelerin rekabet avantajı sağlamak ve küresel ekonomide güç elde etme noktasında avantaj sağlayacaktır. Bu noktadan hareketle bu çalışma ile Endüstri 4.0'ın, milli gelirlerindeki hızlı artışla dikkat çeken BRICS ülkelerinin (Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin ve Güney Afrika) ekonomik büyümeleri üzerindeki etkisinin tespiti amaçlanmaktadır. 2004-2023 dönemine ait yıllık verilerinin kullanıldığı araştırmada, panel veri analiz yönteminden yararlanılmıştır. Elde edilen bulgular neticesinde, Endüstri 4.0'ın BRICS ülkelerinin ekonomik büyümeleri üzerinde pozitif etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Endüstri 4.0, Ekonomik Büyüklük, Panel Veri Analizi, BRICS
JEL Sınıflandırması: O47, O34, O31.

REFLECTIONS OF THE INDUSTRY 4.0 ERA ON ECONOMIC GROWTH IN BRICS COUNTRIES

Abstract

While industrialization aims to increase productivity by integrating technological developments into production process, it is also the most important indicator development of countries. Industrialization, which is in its fourth phase, has become more important in recent years with the influence of digitalization. Industry 4.0 will provide an advantage for countries with developed economies to gain competitive advantage and gain power in the global economy. Starting from this point, this study aims to determine the impact of Industry 4.0 on the economic growth of BRICS countries (Brazil, Russia, India, China and South Africa), which attract attention with the rapid increase in their national income. In the research using annual data for the period 2004-2023, the Augmented Mean Group (AMG) cointegration estimator from the panel data analysis method was used. As a result of the findings, it has been determined that Industry 4.0 has a positive effect on the economic growth of BRICS countries.

Keywords: Industry 4.0, Economic Size, Panel Data Analysis, BRICS
JEL Classification: O47, O34, O31.

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Harran Üniversitesi, Suruç Meslek Yüksek Okulu, Finans, Bankacılık ve Sigortacılık Bölümü, e-posta: emel.aba@harran.edu.tr, ORCID iD: [0000-0003-2573-402X](https://orcid.org/0000-0003-2573-402X)

1. GİRİŞ

Sanayi, ülkelerin üretim gücünün ve kapasitesinin temel göstergesi olup ekonomilerin gelişim sürecini doğrudan etkileyen öncü bir faktördür. Tarih boyunca sanayinin gelişim sürecinde ise teknolojik gelişmeler etkili olmuştur. “Endüstriyel devrim” olarak da ifade edilen bu süreç teknolojide, sosyal hayatta ve otomasyonda yaşanan köklü değişmelerin sanayileşme çerçevesinde hayata geçirilmesidir. Endüstri 1.0’dan 4.0’a geçişin her aşamasında özellikle enerji sektöründe yaşanan gelişmelerin üretim metotlarına yansımalarının etkisi oldukça fazladır.

Endüstri 1.0’da su ve buhar enerjisinin mekanik üretim aşamasına entegre edilmesi ile başlarken Endüstri 2.0’da elektrik enerjisi kitlesel üretim mekanizmasına dahil edilmiştir. Teknolojik gelişmelere paralel olarak dijitalleşmenin de etkisi ile Endüstri 3.0’da elektronik ve bilgi teknolojileri imalat otomasyonuna dahil olmaktadır. Otonom araçların ve sanal değişkenlerin sisteme dahil olduğu Endüstri 4.0 ise endüstrinin evrildiği güncel süreç olup küresel birçok olası değişimi de bünyesinde barındırmaktadır. Nesnelerin interneti (IoT), nesnelerin endüstriyel interneti (IIoT), bulut bilişimi (Cloud), büyük veri (Big Data), siber-fiziksel sistemler (CPS) gibi yeni nesil teknolojilerinin kullanıldığı Endüstri 4.0 de amaç, üretim sürecinin daha verimli, esnek, rekabetçi ve sürdürülebilir olmasıdır. Endüstri 4.0 üretim süreçlerini otonom hale getirirken işgücüne olan ihtiyacı da minimize etmektedir. Söz konusu süreç maliyetlerin düşürülmesi, kaynakların etkin kullanımı, insan kaynaklı hataların ve kayıpların en aza indirilmesi, rekabet avantajı gibi beklentiler sebebiyle özellikle gelişmiş ekonomilere sahip ülkeler için önem arz etmektedir. Dolayısıyla üretimdeki bahsedilen bu gelişmeler ekonomik büyümeyi de beraberinde getirmektedir. Önümüzdeki dönemlerde Endüstri 4.0’ün sadece ekonomi değil sağlık, eğitim, güvenlik, istihdam, yatırım gibi birçok alanda dönüştürücü etkilerini görmek mümkün olacaktır. Söz konusu etkileri öngörebilen ülkeler diğerlerine nazaran ciddi bir rekabet avantajı sağlayacaktır.

Endüstri 4.0 uygulamalarını etkin bir şekilde hayata geçirme gayretinde olan ülkeler, kendi endüstriyel süreçlerini iyileştirirken aynı zamanda bu doğrultuda şekillenen piyasanın da öncülüğünü yaparak bir kez daha karlı çıkacaktır. Diğer bir ifade ile Endüstri 4.0 devrine geçiş yapan ülkeler elde edecekleri altyapı ve bilgi birikimlerini sürece dahil olmak isteyen ülke veya kurumlara pazarlayarak rekabet avantajını ellerinde tutarken kar sağlayacaklardır. Almanya ve İngiltere gibi gelişmiş ekonomilere sahip olan ülkeler, Endüstri 4.0’ın ekonomik güç olma noktasında önemli olduğu bilinciyle öncü olmaya gayret etmektedirler. İlk olarak Almanya’da duyurulan Endüstri 4.0, aslında gelişmiş teknolojik alt yapı sistemlerine sahip Avrupa ülkelerinin, Uzak Doğu ülkelerinin ucuz işgücü ile elde ettikleri rekabet avantajını yakalama çabasıdır. Küresel ekonomi dinamikleri için son derece önemli olan Endüstri 4.0 ve etkilerinin araştırılarak değişik parametrelerde değerlendirilmesi önem arz ederken, söz konusu etkileri BRICS ülkeleri özelinde incelemek konuyu araştırmaya değer kılmaktadır. Bu noktadan hareketle bu çalışma ile Endüstri 4.0 sürecinin BRICS ülkelerinin (Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin ve Güney Afrika) ekonomik büyümeleri üzerindeki etkilerinin panel veri analizi ile incelenmesi amaçlanmaktadır. Çalışma kapsamında incelemeye alınan ülkeler, son yıllarda milli gelirlerindeki hızlı artışla dikkat çeken ve küresel güç olma potansiyeli yüksek olan ülkelerdir. Söz konusu özellikleri nedeniyle BRICS ülkeleri çalışmada örneklem olarak belirlenmiştir. Araştırma kapsamında BRICS ülkelerinin 2004-2023 dönemine ait yıllık verileri panel veri analizi yönteminin kullanıldığı analiz edilmiştir. Çalışmada bağımlı değişken olarak ülkelerin ekonomik büyümelerini temsilen kişi başı gayri safi yurtiçi hasıla, bağımsız değişken olarak Endüstri 4.0 potansiyelini temsilen Ar-Ge harcaması, patent başvuru sayısı ile yüksek teknoloji ihracatı ve kontrol değişkeni olarak da bilgi iletişim teknolojileri ihracatı ve küresel inovasyon endeksi kullanılmıştır. Analizler neticesinde elde edilen bulgular Endüstri 4.0’ın BRICS ülkelerinin ekonomik büyümeleri üzerinde pozitif etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

Analizler neticesinde elde edilen bulgular literatürdeki bir takım çalışma ile birbirini tamamlar ve destekler nitelikte iken bazı çalışma sonuçları ile de ters düşmektedir. Söz konusu uyum ve ayrışmalar çalışmanın yöntem bölümünde verilmektedir. Çalışmanın alan yazındaki benzer konuda yapılmış çalışmalardan analiz yöntemi, araştırma dönemi ve örneklem noktasında farkları bulunurken, söz konusu çalışmaları destekleyerek literatüre katkı sağlaması beklenmektedir. Çalışma bilimsel araştırma ve yayın etiği kriterlerine uygun olarak hazırlanmış olup etik kurul onayı gerektirmemektedir.

2. ENDÜSTRİ 4.0 ve YANSIMALARI

Günümüzde endüstrileşme, üretim sürecine mekanik ürünlerin kullanılması ile üretim hacminin artırılmasından ziyade üretim sürecinin dijital sistemler aracılığı ile teknolojik araçların kullanılarak verimlilik ve etkinliğin artırılmasıdır. Ülkelerin ekonomik büyümelerinin temel göstergelerinden biri olan endüstrileşme aynı zamanda ülkelerin refah seviyelerini de doğrudan etkilemektedir. Tarih boyunca teknoloji alanında meydana gelen her gelişme medeniyetlerin oluşumunda ve toplumsal düzenin kurulmasında önemli rol oynayarak toplumların refah düzeylerinin inşasında etkili olmuştur. Özellikle enerji sektöründe meydana gelen köklü değişimler endüstri sektörünü de değişime uğratmaktadır.

Endüstrileşmenin küresel gelişimi dört safhadan oluşmaktadır. Endüstri 1.0 olarak ifade edilen ilk sanayi devrimi, 18. Yüzyılda buhar makinasının icadı ile başlayıp su ve buhar gücünün mekanik üretim sürecine dâhil edilmesi faaliyet bulan dönemi ifade etmektedir. Endüstri 2.0, elektrik enerjisinin üretim sürecine dahil edildiği süreci ifade etmektedir. 19. yüzyılda başlayan bu dönemde telefon ve telgraf gibi kitle iletişim araçlarının icadı ile iş bölümüne dayalı seri üretim hayata geçirilmiştir. Endüstri 3.0 olarak ifade edilen bu dönem 20. Yüzyılda ilk mikro bilgisayarın icadı ile başlamış ve üretim sürecine elektronik ve bilgi teknolojilerinin kullanıldığı günümüz endüstri sektörünün mevcut dönemini ifade etmektedir. Endüstri 3.0 dönemi zaman içerisinde teknolojideki gelişmelere paralel gelişerek şekillenmekte ve küresel endüstri sektörünün büyük bir çoğunluğunun mevcut durumunu ifade etmektedir. 20'nci yüzyılın sonlarına doğru yazılım sistemlerinin de kullanılması ile Siber-Fiziksel Sistemler olarak ifade edilen donanım ve yazılımı bünyesinde barındıran akıllı sistemler gündemde yerini almıştır. Programlanabilir mantık denetleyicileri (PLC) ile özellikle montaj hattında kullanılan otomatik sistemler, insanların yapmakta oldukları birçok işi mekanik araçlarla yapabilmektedir. Ancak her ne kadar otomatik sistemler üretim sürecinin her aşamasında yer alsın da hala insan girişine veya müdahalesine ihtiyaç duyulmaktadır. Dolayısıyla bu durumda Endüstri 3.0 sürecinin tamamlandığını söylemek doğru olmayacaktır.

1960'lı yıllardan sonra ABD ve Japonya'nın öncülüğünü yaptığı bu süreç, mekanik ve mikro elektronik ürün ve sistemlerin özellikle sanayide sağladıkları gelişmelerle başlamıştır. Söz konusu gelişmeler aynı zamanda bilgiyi ve sürekliliğini de gerekli kılmıştır. Sanayi toplumunun bir uzantısı olarak ortaya çıkan bilgi toplumu, "bilgi ekonomisi", "sanayi-sonrası toplum", "bilişim toplumu", "bilgi çağı" (Akkuşçu, 2019:71) şeklinde de ifade edilirken, beraberinde yaşanan gelişmeler kısa sürede tüm dünyayı etkisi altına almış ve uluslararası alanda siyasi, ekonomik, sosyal ve kültürel entegrasyonu sağlamıştır (Aktan, Tunç, 2003: 8). Teknolojiye uyumlu dönüşüm sürecinin dünya geneline yayılması küreselleşmenin de etkisi ile önceki endüstrileşme safhalarından daha kısa sürede gerçekleşmiştir. Bilgi toplumunun gelinen son aşamasında söz konusu dönüşüm süreci tamamlanmış ve gelişmiş ekonomilere sahip ülkeler için üretimde siber-fiziksel sistemlerin kullanıldığı Endüstri 4.0 dönemi yaşanmaya başlamıştır. Endüstri 4.0 dönemini diğer endüstriyel dönemlerden ayıran birtakım farklılıklar bulunmaktadır (Bayram ve Karadağ, 3023; Fırat ve Fırat, 2017; Bulut ve Akçacı, 2017; Verl, 2017). Bunlar;

Hız: Endüstri 4.0 dönemindeki gelişmeler önceki dönemlerin aksine doğrusal değil istikrarlı ve olumlu yönde gelişim gösteren bir hızlar ilerlemektedir.

Genişlik ve Derinlik: Endüstri 4.0 dönemine ait gelişmeler dijital teknoloji alt yapısı üzerine kurulurken toplumu ve toplumu doğrudan etkileyen tüm tarafların gelişime açık paradigmalara donatarak sürdürülebilirliğine olanak tanımaktadır.

Sistem Etkisi: Endüstri 4.0 tüm yönetim bilişim sistemlerine ek olarak üretime doğrudan katkısı ve etkisi olan tüm tarafların ağ sistemi üzerinden birbirleri ile bağlantıda olduğu bütünlük bir dönüşümü kapsamaktadır.

Endüstri 4.0'ın önceki endüstri dönemlerinden ayıran en önemli fark ise Endüstri 4.0'ın devrimsel niteliğinin yanında aynı zamanda evrimsel de olmasıdır. Diğer bir ifade ile Endüstri 1.0 ve Endüstri 2.0 teknolojik gelişmelere paralel olarak üretim sürecinde yaşanan devrim niteliğinde değişimlerin sonucunda son bulmaktadır. Ancak Endüstri 3.0 dönemi için bir devrin kapandığını söylemek doğru olmayacaktır. Çünkü her dönemin sona erişinde üretimde kullanılan teknolojilerde meydana gelen değişimlerin neden olduğu dikkate alındığında, Endüstri 3.0 döneminde bilgisayar ve mikroişlemcilerle kontrol edilen üretim sistemleri otomasyona dayandırılırken Endüstri 4.0 'da söz konusu üretim mantığı devam ederken süreç insanlar yerine akıllı sistemlere bağlı makine ve robotlarla yürütülmektedir.

İlk olarak Almanya'nın Hannover Fuar'ında ifade edilen Endüstri 4.0 kavramı aslında gelişen teknolojilerin entegrasyonundan kaynaklı olarak sanayinin radikal dönüşümünü temsil etmektedir (Menendez vd., 2020). Siber fiziksel sistemler, nesnelerin interneti, internet servisleri ve akıllı fabrikalar şeklinde dört ana bileşenden oluşan Endüstri 4.0 için kompleks yapısı sebebiyle net bir tanımlama yapılamamaktadır. Endüstri 4.0 ile öngörülen sistem gerekli verilere ulaşabilme, hedefler doğrultusunda bu verileri kullanabilme ve aynı zamanda sürekli öğrenim sağlayarak maksimum fayda elde edebilme kabiliyetine sahiptir. Dolayısıyla bu kompleks yapı üretimin artmasına olanak tanırken maliyetleri düşürerek üretim sürecinde etkinlik ve verimliliği ön plana çıkarmaktadır. Ayrıca çevreye duyarlı yapısı ve kaynak tasarrufu sağlama özelliği ile sürdürülebilir kalkınma noktasında önem arz etmektedir.

Günümüzde insanlar arasında iletişimi sağlayan internet, Endüstri 4.0 ile nesnelere ile nesnelere, nesnelere ile insanlar hatta hizmetler arasında da iletişimi sağlayan bir araç haline gelmiştir. Bu sürecin en dikkat çeken özelliği insandan nesneye, fabrikadan tüketiciye hayatın her bir alanını bir tür ağla birbirine bağlamayı hedeflemesidir. Büyük veri ve analitiği, bulut bilişim sistemleri, siber güvenlik, akıllı robotlar, yapay zekâ gibi pek çok yeni teknolojiyi barındıran Endüstri 4.0 önümüzdeki dönemde ekonomiden sağlığa, eğitime güvenliğe, istihdamdan yatırıma birçok alanda dönüştürücü etki gösterecektir (TBMM, 2023:15) Bu noktada Endüstri 4.0'ın aslında üretim sürecini doğrudan ve dolaylı olarak etki eden tüm hizmetleri ifade ettiğini belirtmek gerekmektedir. Bir zaman sonra Endüstri 4.0'a yön veren tüm etken ve teknolojilerin çeşitli sektörler kapsamında ele alınarak "Tarım 4.0, İnşaat 4.0, Lojistik 4.0, Eğitim 4.0, İnovasyon 4.0, Sağlık 4.0, Enerji 4.0, İş 4.0, vb." yeni terimlerin ortaya çıkması muhtemeldir. Söz konusu öngörülerin gerçekleşmesi için ihtiyaç duyulan sürenin çok da uzun olmadığını Dünya Ekonomi Formu'nun hazırladığı 2015 Araştırma Raporu kanıtlar niteliktedir. Raporda 2025 yılı itibariyle dünyada gerçekleşmiş olması muhtemel gelişmelerin bir kısmı şu şekilde sıralanmaktadır (World Economic Forum, 2015: 7):

- İnsanların % 10'unun internete bağlanabilen giysiler giymesi
- İnsanların % 90'ının sınırsız ve ücretsiz (reklam destekli) depolama alanına sahip olması
- Üretimdeki ilk 3D baskılı otomobilin üretilmesi
- Vücuda yerleştirilebilir ilk telefonun satışa sunulması
- Şirket denetimlerinin % 30'unun yapay zekâ ile denetlenmesi

- Vergisini blockchain ile toplayan ilk devletin olması
- İnternet kullanımının %50'sinden fazlasının ev aletleri ve cihazlar için kullanılması
- 50.000'den fazla nüfusu olan ve trafik ışığı olmayan ilk şehir
- Küresel gayri safi yurt içi hasılanın %10'unun blockchain teknolojisinde depolanması

Teknolojik gelişmelerin yanı sıra bilimsel birikimlerin de belirli bir olgunluk düzeyine ulaşması neticesinde ortaya çıkan Endüstri 4.0, özellikle gelişmiş ülkelerde belirginleşen ekonomik ve sosyal zorluklara karşı yapılan stratejik projelerden biri olduğunu söylemek mümkündür. Avrupa ülkelerinin de dahil olduğu birçok gelişmiş ekonomiye sahip ülkenin yaşam süresinin uzaması, nüfus artışının hızının düşmesi ve nüfusun yaş ortalamasının artması gibi demografik durumlar işgücünü olumsuz yönde etkilemektedir. Almanya'nın öncülüğünde gelişmiş ülkelerin birçoğu söz konusu olumsuz demografik eğilimi, sahip oldukları teknolojik kaynaklar aracılığı ile avantaja dönüştürme gayreti göstermektedirler. Dolayısıyla söz konusu ülkeler için işgücünde genç nüfusa olan ihtiyacın minimize edecektir. Ancak aynı şeyi genç nüfus yoğunluğu fazla olan ve ekonomik gelişimini henüz tamamlayamamış ülkeler için söylemek mümkün olmayacaktır. Çünkü bu noktada önemli olan ülkelerin dijital dönüşüm süreçlerini tamamlayabilmiş olmalarıdır. Günümüzde Endüstri 4 ve dijital dönüşüm performansı en yüksek olan ülkeler içerisinde ilk sırada Japonya, ABD, Güney Kore ve Almanya yer alırken gelişmiş ekonomiye sahip bu ülkeleri Danimarka, Fransa, İsveç, Finlandiya, İsviçre, İngiltere gibi Avrupa'nın önde gelen ülkeleri takip etmektedirler. Slovenya, İspanya, Slovakya, Türkiye ve Meksika gibi ekonomik gelişim süreci devam eden ülkeler OECD üyesi ülkeler içerisinde son sıralarda yer almaktadırlar (Eşiyok ve Demircioğlu, 2022: 394).

Özellikle Avrupa ülkelerinin en kısa sürede dijital dönüşümü tamamlayarak Endüstri 4.0'a geçme gayretlerinin temelinde son yıllarda Asya ülkelerine kaptırılan rekabet gücü yer almaktadır. Diğer bir ifade ile Endüstri 4.0 ile başta Almanya olmak üzere gelişmiş ekonomilere sahip batılı ülkelerin hedefinde dünyanın doğusuna kayan üretim hacmi, verimlilik ve rekabet avantajını yüksek teknolojiye dayalı sanayi aracılığı ile elde etmektir. Bu Endüstri 4.0 stratejisinin ilk olarak Almanya'da ifade edilmesinin sebebi Almanya'nın imalat sanayisinde dünyanın en rekabetçi ülkelerden biri olmasıdır. Ayrıca imalat endüstrisinde küresel lider konumunda olan Almanya'ya güçlü makine bilgi portföyü, bilgi ve iletişim teknolojileri altyapısı, yazılım ve otomasyon mühendisliğindeki bilgi birikimi de ülkeye ayrıcalık sağlamaktadır (Bartodziej, 2017: 32). Endüstri 4.0 sürecinde önem arz eden diğer bir durum ise ülkelerin söz konusu süreci gereğine uygun tamamlamaktan ziyade sürece öncülük edip ardından gelmekte olan diğer ülkelere altyapı ve bilgi satışını yaparak bir kez daha kara geçmesidir. Bu durum gelişmiş ülkeler arasındaki Endüstri 4.0 sürecinde öncü olma gayretinin temel sebeplerinden birini oluşturmaktadır. Çünkü tarihsel olarak, imalat sektöründeki üretim kabiliyetini iyi değerlendiren ülkelerde sürdürülebilirliğin ve refah düzeyinin arttığı gözlenmiştir. Ayrıca imalat sektörünün ve destekleyici sektörlerin ülkelerin istihdam ve ihracatında doğrudan etkiye sahip olduğu, geliştirme faaliyetlerinde kilit oynadığı ve teknolojik gelişmelere dayalı gelişmelerle ekonomik büyümeyi olumlu yönde etkilediği çeşitli araştırmalar tarafından kanıtlanmaktadır (Özer ve Çiftçi, 2015:1; Erden Özsoy ve Tosunoğlu, 2020:5; Karami vd. 2019:133; Doğru ve Meçik, 2018:1585). Dünyada GSYH açısından dünyanın birincisi ABD, sahip olduğu üretim yapısı göz önünde bulundurulduğunda Endüstri 4.0 için potansiyel ülkelerin başında gelmektedir. Çin, öncülüğünü yaptığı yüksek iş gücünün yanı sıra küresel imalat sektöründeki liderliğini garanti altında tutabilmek için endüstriyel robot kullanımına odaklanarak diğer ülkelere nazaran en büyük endüstriyel robot stokuna elinde bulunduran ülke durumundadır. Güney Kore Endüstri 4.0 sürecini sunduğu Ar-Ge teşvikleri ile desteklemektedir. Dünyada robot ihracatı noktasında öncü ülke konumunda olan Japonya ise üretim yapısı ve mevcut teknolojik altyapı açısından bakıldığında Endüstri 4.0 sürecine adaptasyonu daha erken sağlarken Toplum 5.0 kavramının da bahse konu olduğu tek ülkedir (TBMM, 2023: 6).

Endüstri 4.0'ın GSYH, dış ticaret, ekonomik büyüme ve istihdam gibi makro ekonomik değişkenlerin yanı sıra toplumları sosyal açıdan da önemli ölçüde etkileyeceği muhakkaktır. Teknoloji danışmanlık şirketi Accenture'ın 2015 yılında yaptığı çalışmada, endüstriyel nesnelere interneti alanına yapılan yatırımların ülkelerin GSYH'ye olası etkisi incelenmiş ve çalışmada gelecek 15 yıllık öngörü sunulmuştur. ABD, Avustralya, Finlandiya, Hollanda, Birleşik Krallık, Almanya, İspanya, Brezilya, Çin, Danimarka, Kanada, Güney Kore, Fransa, İsveç, Hindistan, İsviçre, İtalya, Japonya, Norveç ve Rusya'nın planlanmış yatırım tutarları, sanayi yapıları ve nesnelere interneti teknolojilerini kullanma kapasiteleri incelenmiştir. Çalışmada, 2030 yılına kadar söz konusu 20 ülkenin reel GSYH'sine birikimli olarak 10,6 trilyon dolar katkı sağlaması beklenmektedir (Purdy ve Davarzani 2015:5). Aynı şekilde söz konusu ülkelerde yapay zekânın ekonomik büyümeyi iki katına kadar çıkaracağı öngörülmüştür. Örneğin 2035 yılı itibarıyla büyüme oranları, temel senaryoda Almanya'da %1,4, ABD %2,6 ve Japonya'da %0,8 olarak rahmin edilmiştir. Öte yandan yapay zekâ senaryosunda ise Almanya için %3,0, ABD için %4,6 ve Japonya için %2,7'lik büyüme olması öngörülmüştür (Purdy ve Davarzani 2015:16).

Dünya Ekonomik Forumu 2018 yılında dünya genelinde GSYH'si küresel ekonominin %96'sını oluşturan 100 ülkenin Endüstri 4.0'a temel olan mevcut üretim kapasiteleri ile gelecekteki uyum kabiliyetlerini ölçmeyi amacıyla bir çalışma yürütmüştür. Araştırma ülkelerin üretim yapısı (mevcut üretim kapasitesi) ve üretim dinamikleri (üretim sistemlerinin Endüstri 4.0'a dönüştürülebilmesine olanak sağlayan unsurlar) olmak üzere iki ana eksen üzerine modellenmiştir. İki ana eksen için; teknoloji ve inovasyon, kurumsal çerçeve, beşerî sermaye, üretim karmaşıklığı ve üretim ölçeği, küresel ticaret ve yatırım, talep ve sürdürülebilir kaynaklar şeklinde alt bileşenleri değerlendirilmiştir. Araştırma kapsamında incelemeye alınan ülkeler "lider ülkeler, sınırlı altyapısı olan ancak ilerisi için potansiyeli yüksek ülkeler, geçmişten gelen altyapıya sahip ancak gelecek için riskli olan ülkeler ve olgunlaşmamış" ülkeler olmak üzere dört ana başlık altında sınıflandırılmıştır. Araştırma sonuçları incelenen 100 ülkeden 25'i lider (ABD, Almanya, Belçika, Birleşik Krallık, Çin, Japonya, Güney Kore bunlardan birkaçı), 7'si potansiyeli yüksek (Avustralya, BAE, Hong Kong, Katar ve Norveç bunlardan birkaçı), 10'u gelecek için riskli (Rusya, Slovakya, Filipinler, Hindistan ve Türkiye bunlardan birkaçı) kalan 56'sı ise olgunlaşmamış ülke (Arjantin, Arnavutluk, Azerbaycan, Bahreyn, Bangladeş ve Bosna Hersek bunlardan birkaçı) kategorisinde yer almıştır (Dünya Ekonomi Formu, 2018).

3. LİTERATÜR TARAMASI

Yapılan literatür taramasında Endüstri 4.0 ile ilgili çok sayıda çalışmanın olduğu ve bu çalışmaların konuya ilişkin yapılması muhtemel araştırmaların henüz bir kısmını oluşturduğunu söylemek mümkündür. Küresel ölçekte salgınlar ve sonrasında yaşananlar her ne kadar insan hayatındaki dijitalleşmeye hız kazandırsa da bu kaçınılmaz süreç Endüstri 4.0 ile dönemin gerçeği olarak önümüze çıkmaktadır. Çalışmanın bu bölümünde ekonomi, sağlık, eğitim, siyaset vb. her alanda etkilerinin görüleceği Endüstri 4.0'ın özellikle ekonomi üzerindeki etkilerine yönelik yapılan çalışmalar ve sonuçları kronolojik sıra ile yer almaktadır.

Dalenogare ve arkadaşlarının (2018) Endüstri 4.0 teknolojilerinin firmaların endüstriyel performansları üzerindeki olması muhtemel katkılarının tespitini amaçladıkları çalışmada, Brezilya'da faaliyet gösteren 2225 firmayı temsil eden, 27 endüstriyel sektöre ait veriler incelenmektedir. Araştırma kapsamında veriler anket yöntemi ile elde edilirken, sektörler için Endüstri 4.0 teknolojilerinin benimsenmesinin ürün, operasyonlar ve yan etkiler açısından beklenen faydalarla ne ölçüde ilişkili olduğu incelenmiştir. Regresyon analizinin kullanıldığı analizler sonucunda Endüstri 4.0 teknolojilerinin bir kısmının endüstriyel performans için umut verici olduğu ancak söz konusu faydanın gelişmekte olan teknolojilerin bir kısmı için geçerli olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Çalışmada düşük maliyet, verimlilik veya operasyonel esnekliğe odaklanan şirketlerin üretim teknolojileri boyutuna

önemli katkısı olan Endüstri 4.0 teknolojilerine öncelik vermeleri gerektiği vurgulanmıştır. Ayrıca Brezilya operasyonel yönetici ve endüstriyel politika yapıcılara, ülkenin Endüstri 4.0'a doğru dijitalleşme yolculuğuna başlamak isteyen şirketlere teknolojik uygulamaların hayata geçirilmesinden önce stratejik hedeflerin belirlenmesi noktasında destekleyici ve yol gösterici olmaları tavsiye edilmektedir.

Ünlü ve Atik (2018) çalışmalarında Avrupa Birliği politikalarının temelini oluşturan Endüstri 4.0 olgusunun AB'ne aday ülke konumunda bulunan Türkiye ile AB ülkeleri özelinde değerlendirmeyi amaçlamıştır. Bu amaç doğrultusunda 28 AB ülkesi ile Türkiye'ye ait 2015-2016 dönemini kapsayan 10 Endüstri 4.0 göstergesinden faydalanılmıştır. Uygulanan faktör ve kümeleme analizler sonucunda Endüstri 4.0 performansının en yüksek olduğu ülke Almanya iken, en düşük olan ülke Letonya olduğu ortaya konmuştur. 29 ülke arasında 27. sırada olan Türkiye'nin Endüstri 4.0 performansının bu denli düşük olmasının temel nedenin, Endüstri 4.0 sürecine geç kalınması ve Türk Sanayiinin içinde bulunduğu gelişme aşaması olabileceği vurgulanmıştır. Ayrıca Türkiye'deki Endüstri 4.0'a dönüşümü hız kazandırmak adına şirketlerin teknolojik alt yapıları için daha fazla yatırım yapmaları gerektiği ifade edilmiştir.

Castelo-Branco ve arkadaşlarının (2019) üretimde Endüstri 4.0 hazırlık sürecinin değerlendirildiği çalışmada Avrupa Birliği ülkelerinin sürecin hangi aşamasında olduğu ve söz konusu hazırlıkların AB ülkeleri arasındaki karşılaştırması yapılmaktadır. İşletmelerde bilgi ve iletişim teknolojilerinin kullanımı ve *e-ticaret* anketine verilen yanıtlardan oluşan veri seti Eurostat veri tabanından alınarak faktör analizi ve kümleme analizleri ile test edilmiştir. Çalışmada dijitalleşmenin üretim firmalarında inovasyonu ne ölçüde etkilediğinin ölçütü olan Endüstri 4.0 altyapısı ve büyük veri uygunluğu boyutlarının ülkeler arasındaki üstünlüğünü açıklamada öncelikli faktör olduğu vurgulanmaktadır. Elde edilen bulgular neticesinde söz konusu iki boyutun özellikle İskandinav ülkelerinde yüksek düzeyde benimsendiğini ve Endüstri 4.0 uyum sürecinde Avrupa Birliği ülkeleri arasında büyük farklılıklar olduğunu göstermektedir. Ayrıca Alman sanayisinin bu göstergede ortalamanın üzerinde yer aldığı, Fransa ve İtalya'nın ise AB'nin en büyük ekonomilerinden olmasına rağmen her iki boyutta da ortalamanın altında değerler gösterdikleri sonucuna ulaşılmıştır.

Öztürk ve Alaşahan (2019) çalışmalarında, Endüstri 4.0'ın ülkelerin ekonomik büyümeleri üzerindeki olası etkileri incelemektedirler. Araştırmanın örneklemini Küresel İnovasyon Endeksi'nin ilk 20'sinde yer alan ülkeler arasından seçilmiş Kanada, Japonya, Birleşik Krallık, Almanya, Kore, Danimarka, İsviçre, Amerika Birleşik Devletleri, Singapur ve Türkiye oluşturmaktadır. Panel veri analizinin kullanıldığı çalışmada örneklem ülkelerin 2011-2016 dönemine ilişkin küresel inovasyon endeksi, GSYH, patent başvuru sayısı, yüksek teknoloji ihracatı ve AR-GE harcamaları verileri incelenmiştir. Araştırma sonucunda Türkiye'nin Endüstri 4.0 sürecinde varlığını kanıtlaması için mevcut teknoloji ihracatının çok daha fazlasını sağlaması ve yüksek teknoloji üretimindeki ağırlığını artırması gerektiği ifade edilmiştir. Çalışmada Türkiye'nin aynı şekilde Endüstri 4.0 sürecinin tamamlayıcısı olan eğitim ve Ar-Ge çalışmalarına gerekli hassasiyeti göstermesi gerektiği önemle vurgulanmıştır.

Adedoyin vd. (2020) çalışmalarında Endüstri 4.0 dönemi ile gelişme gösteren bilgi iletişim teknolojileri, hava taşımacılığının enerji ve doğrudan yabancı yatırımları gibi ek açıklayıcı değişkenlerin dahilinde ekonomik büyüme üzerindeki etkisinin nedensel ve uzun vadeli durumu incelenmiştir. ABD'nin turizme dayalı büyüme hipotezini doğrulamak amacıyla yapılan çalışmada 1981-2017 yılları arasındaki veriler analiz edilmiştir. Endüstri 4.0 sürecinin özellikle ABD için önemine dikkat çeken araştırma kapsamında Dinamik En Küçük Kareler, Tam Değiştirilmiş EKK ve Eşbütünleşme Regresyon analizlerinden yararlanılmıştır. Araştırma sonuçları Endüstri 4.0 dönemi ile başlayan sürecin üretimden

sosyal hayata tüm alanlarda önemli değişikliklerin teşvik edildiği bilgi iletişim teknolojilerinin önemine doğrulamaktadır. Endüstri 4.0 döneminin önceki devirlere kıyasla değişimin daha büyük ve daha hızlı olacağı vurgusunun yapıldığı çalışmada, Endüstri 4.0 ile hava taşımacılığı sektörünün ekonomik büyümeyi olumlu yönde etkilediği ve bu etkinin uzun vadede devam edeceği tespit edilmiştir.

Kasa (2020) çalışmasında Endüstri 4.0 sürecine uyum sürecini başlatan ve bu noktada gerekli reformları yapmayı başarmış yeniliğe açık ülkelerin ekonomik gelişmelerini doğrudan etkileyen faktörleri belirlemeyi amaçlamaktadır. Çalışmada Endüstri 4.0 teknolojilerini temsilen Ar-Ge harcamaları, beşerî sermaye indeksi ve patent başvuru sayıları kullanılırken kontrol değişkeni olarak da yüksek teknoloji ürün ihracatı ve doğrudan yabancı sermaye yatırımları kullanılmıştır. Asya, Avrupa ve Amerika kıtalarında yer alan ve inovasyon endeksi dünya sıralamasında ilk on sırada olan 16 ülkenin 1991- 2018 yıllarına ait veriler kullanılmıştır. Verilerin analizinde panel veri modellerinden Sistem Genelleştirilmiş Monmentler Yöntemi (GMM) kullanılmıştır. Analiz sonuçları yüksek teknoloji ihracatı ve doğrudan yabancı sermaye yatırımlarının kişi başına GSYH'i olumlu yönde etkilediğini ortaya koymuştur.

Menelau ve arkadaşları (2020) çalışmalarında Endüstri 4.0 ve ekonominin üretkenliğindeki olası zorluklarının tespitini amaçlamaktadırlar. Çalışmada gelişim süreci devam eden Endüstri 4.0'ın Brezilya ekonomisinin üretkenliğindeki zorlukları ve dönüşüm endüstrisindeki etkileri incelenirken, Brezilya'daki sanayisizleşme olgusu, düşük nitelikli işgücü, inovasyona ve teknolojik gelişime yönelik zayıf yönlere odaklanılmıştır. Araştırma kapsamında sadece Endüstri 4.0 ile ilgili teknolojik yönler ve üretim yönetimi yer almamakta aynı zamanda ekonominin üretkenliği, sektör performansı ve uluslararası karşılaştırmalar bulunmaktadır. Çalışmada Brezilya'nın dördüncü sanayi devrimine geçiş sürecinde teknolojik yönelimler ve üretim yönetimine yansımalarının bulunduğu ikili inovasyon ve ekonomik üretkenliğin önemini vurgulanmak istenmektedir. Araştırma sonuçları STEM alanlarında (bilim, teknoloji, mühendislik ve matematik) işgücü eğitimini de içeren ve biyolojik olarak teknolojik yeniliği teşvik etmeyi amaçlayan yeni bir endüstriyel ve teknolojik politikaya ihtiyaç olduğunu göstermektedir.

Erkekoğlu ve Uslu (2021) çalışmalarında Endüstri 4.0 ile başlayan teknolojik dönüşüm sürecinin Türkiye ve 2019 yılı itibarıyla Küresel İnovasyon Endeksi sıralamasında yer alan ilk 20 ülke özelinde teorik ve uygulamalı olarak incelemeyi amaçlamaktadırlar. Ülkelerin 2013-2019 yıllarına ait verilerinin kullanıldığı çalışmada, panel regresyon analizleri ve Granger panel nedensellik testleri uygulanmıştır. Analiz sonuçları Endüstri 4.0 sürecine dahil olmayı hedefleyen ülkelerin öncelikli olarak inovasyon stratejilerini arttırarak bu doğrultuda gerekli dijital dönüşüm altyapılarını tamamlamaları gerektiğini ortaya koymaktadır. Çalışmada ülkelerin AR-GE'ye yönelik girişimlerini arttırmak adına istihdam edilen araştırmacı sayısını, harcamalarını, kişi başına düşen milli gelirlerini ve refah seviyelerini arttırmak gibi hedeflerin belirlenerek söz konusu hedefleri hayata geçirme noktasında gerekli politikaların gerçekleştirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

Raj ve arkadaşları (2020) çalışmalarında gelişmiş ve gelişmekte olan ekonomiler bağlamında imalat sektöründe Endüstri 4.0 teknolojilerinin uygulanmasının önündeki engellerin tespitini amaçlamaktadır. Kapsamlı literatür taraması ve endüstri uzmanlarından alınan görüşler neticesinde Endüstri 4.0 sürecinde yüksek yatırım, ekonomik fayda noktasında kararsızlık, değer zinciri entegrasyonundaki zorluklar, güvenlik ihlali vb. 15 engel belirlenmiştir. Çalışmada belirlenen amaç doğrultusunda elde edilen veriler Grey Küme Teorisi ve DEMATEL'in kombinasyonu olan hibrit bir yaklaşım ile incelenmiştir. Bu yaklaşımla belirlenen her bir engelin bir diğer üzerindeki etki derecesi tespit edilirken, uzman görüşleri ile arasındaki tutarlılığın çözümlenmesini hedeflenmektedir. Çalışmada gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin Endüstri 4.0 sürecinde farklı politikalar benimsedikleri, kalkınma

noktasında gelişmiş ülkelerin genellikle ulusal stratejiler oluştururken, gelişmekte olan ülkelerin ulusal ve koordineli politikalarından ziyade bireysel kurumsal girişimlere bağlı olarak kurumsal düzeyde Endüstri 4.0 teknolojilerini benimsedikleri vurgulanmaktadır.

Bag ve arkadaşları (2021) çalışmalarında ülkelerin Endüstri 4.0'ın benimsenmesinin, 10R gelişmiş üretim yetenekleri ve sürdürülebilir kalkınma üzerindeki etkisinin tespitini amaçlamaktadır. Bahsedilen 10 R (Refuse, Rethink, Reduce, Reuse, Repair, Refurbish, Remanufacture, Repurpose, Recycle and Recover) döngüsel ekonomide kaynakların sistemde daha uzun süre kalmasını sağlamak ve sonrasında maksimum değer elde etmek için gerekli olan gelişmiş üretim yeteneklerini oluşturmaktadır. Çalışma kapsamında belirtilen amaç doğrultusunda Güney Afrika'da çoğu imalat ve otomotiv sektöründe olmak üzere 124 firmadan anket yöntemi ile elde edilen veriler incelemeye alınmıştır. Bulgular, Endüstri 4.0'ın benimsenme derecesinin, 10 R gelişmiş üretim yetenekleri ve sürdürülebilir kalkınma üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Çalışmada ekonomik gelişim sürecini henüz tamamlamamış olan Afrika için öncelikli olarak teknolojik değişime uyarlabilir bir kültürün oluşturulması önerilmiştir. Ayrıca çalışmada kilit sektörlerle ilgili olarak uluslararası düzeyde rekabet edebilirliğin geliştirilmesi ve 10 R tabanlı akıllı üretim ortamlarında insan emeğine paralel olarak robotik/otomatik sistemlerin kullanımını çevreleyen etik, yasal ve güvenlik konularını temel alan net bir politikanın gerekliliği vurgulanmaktadır.

Aydınbaş ve Erdinç (2023) çalışmalarında Endüstri 4.0'ı ülkelerin ekonomik büyümeleri üzerindeki etkileri incelemeyi amaçlamaktadırlar. Endüstri 4.0 döneminin ekonomik büyüme etkilerini, dönüşümün sürecinin ekonomik, sosyal ve sektörel etkilerini ortaya koymak adına yapılan araştırmada dönüşüm süreci içerisinde olan ve sürece hazırlık yapan bazı ülkeler incelenmiştir. ABD, Almanya, Japonya, Güney Kore, Arjantin, İngiltere, İsveç, Fransa, Danimarka, Singapur, Norveç, Çin, Brezilya, Polonya, Rusya, Güney Afrika, Tayland ve Türkiye'nin 2000-2019 dönemine ait yıllık verilerinin kullanıldığı araştırmada, kişi başına düşen GSYH bağımlı değişken, orta ve ileri teknoloji ihracatının imalat ihracatındaki payı, patent başvuru sayısı ve bilgi iletişim teknolojileri ihracatının toplam ihracattaki payı bağımsız değişkenler olarak belirlenmiştir. Kontrol değişkenleri olarak da istihdam oranı ve sermaye stokunun belirlendiği analizlerde panel veri analizinde yararlanılmıştır. Araştırma sonuçları uzun dönemde ülkelerin patent başvuruları ile orta ve ileri teknolojinin ihracattaki payındaki artışın kişi başına geliri artırdığını göstermiştir.

Bayram ve Karadaş (2023) çalışmalarında Endüstri 4.0 teknolojilerinin iklim değişikliğine duyarlı enerjileri bünyesinde barındıran üretim biçimlerinin ve yeşil büyüme göstergelerinin ekonomik büyüme üzerine etkilerini incelemeyi amaçlamaktadır. Seçili OECD ülkelerinin (Avustralya, Kanada, Avusturya, Belçika, Finlandiya, Almanya, Fransa, Danimarka, İrlanda, Lüksemburg, İtalya, Hollanda, Japonya, Portekiz, Norveç, İspanya ve İsveç) 2000-2021 dönemine ait verilerin incelendiği çalışmada Johansen Fisher panel eş bütünleşme testi ve Kao eş bütünleşme testinden faydalanılmıştır. Analiz sonuçları çevresel bütçe Ar-Ge payı ve çevresel resmi yardımların paylarının artması ile kişi başına düşen milli gelirin oluşan artışla birlikte ekonomik büyüme ivme kazanacağını göstermiştir. Çalışmada yenilenebilir enerji kullanımı ve Endüstri 4.0 teknolojileri ile enerji kullanımında meydana gelecek olan düşüş ekonomik sürdürülebilirlik ve çevresel denge açısından önemi vurgulanmıştır.

Koç ve Özcan (2023) çalışmalarında Endüstri 4.0 döneminin G7 ülkelerinin (Almanya, Amerika, Fransa, İngiltere, İtalya, Japonya, Kanada) ekonomik büyümeleri üzerindeki etkilerini incelemeyi amaçlamaktadırlar. Bu kapsamda söz konusu ülkelerin 1990-2019 yıllarına ait verilerin incelendiği çalışmada ekonomik büyümeyi temsilen gayri safi yurtiçi hasıla bağımlı değişken olarak belirlenirken, Endüstri 4.0'ı potansiyelini temsilen de Ar-Ge harcaması, patent başvuru sayısı, bilgi iletişim teknolojileri ihracat göstergeleri tercih edilmiştir. Çalışmada panel veri yöntemlerinden Ortak İlişkili

Etkiler ve Genişletilmiş Ortalama Grup eşbütünleşme tahmincileri kullanılmıştır. Araştırma sonuçları her iki analiz yöntemi için Ar-Ge harcamalarının büyüme üzerindeki etkisinin olumlu olduğunu, patent sayısının sadece Almanya, ABD ve İngiltere için anlamlı ve pozitif olduğunu ve bilgi iletişim teknolojileri ihracatının ise sadece Almanya için olumlu olduğunu göstermektedir.

4. METODOLOJİ

4.1. Veri Seti ve Yöntem

Çalışmada Endüstri 4.0 sürecinin BRICS ülkelerinin (Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin ve Güney Afrika) ekonomik büyümelerine etki düzeyini tespit etmek amacıyla örneklem ülkelerin 2004-2023 dönemine ait yıllık verileri panel veri analizi yöntemi ile incelenmiştir. Belirtilen dönem aralığı çalışmada panel veri analizinin kullanımı için yeterli olup ((N) 19), mikro panel veri olarak ifade edilmiştir. Panel veri analiz modelleri kapsadıkları döneme göre mikro ve makro olarak iki kısma ayrılmaktadır. Mikro paneller 20 döneme kadar olan panel verileri ele alırken, makro panellerde 20 dönemden fazla olan panellerin incelenmesini ifade etmektedir (Baltagi, 2013:199). Çalışma kapsamına alınan ülkeler, dünya nüfusunun yaklaşık %45'ini oluşturan ve milli gelirlerindeki hızlı artışla küresel güç olma potansiyeli yüksek olan ülkelerdir. Bu noktadan hareketle yüksek ekonomik büyüme potansiyeline sahip olan bu ülkeler örneklem olarak belirlenirken, Endüstri 4.0'ın ekonomik büyüme üzerindeki etkisinin belirlenmesi noktasında önem arz etmektedir.

Analizde bağımlı değişken olarak ekonomik büyümeyi temsilen kişi başı gayri safi yurtiçi hasıla (GSYH), bağımlı değişken olarak Endüstri 4.0 potansiyelini temsilen Ar-Ge harcaması (ARGE), patent başvuru sayısı (PBS) ve yüksek teknoloji ihracatı (YTI), kontrol değişkenleri için ise küresel inovasyon endeksi (KIE) ve bilgi iletişim teknolojileri ihracatı (BIT) kullanılmıştır. Tablo 1'de analizde kullanılan değişkenler, temin edildiği kaynaklar ve açıklamalara yer verilmiştir.

Tablo 1. Değişkenlere İlişkin Bilgiler

2004-2023 Analiz Dönemi				
	Değişken	Kısaltma	Kaynak	Açıklama
Bağımlı Değişken	Gayri Safi Yurt İçi Hâsıla	GSYH	Dünya Bankası	Bir ekonomide belli bir zaman diliminde üretilen tüm nihai mal ve hizmet üretiminin ve satın alım harcamalarının parasal değeridir.
	Ar-Ge harcaması	ARGE	Dünya Bankası	Araştırma, geliştirme ve tasarım kapsamındaki çalışmalara ilişkin direkt ve indirekt harcamalardır.
Bağımsız Değişkenler	Yüksek Teknoloji İhracatı	YTI	Dünya Bankası	Bir ülkenin sürdürülebilir refah düzeyini arttırmada kilit rol oynayan yüksek katma değerli ürünlerin (elektronik cihazlar, havacılık, biyoteknoloji ve tıbbi ekipman) ürünlerin ihracatını ifade eder.
	Patent Başvuru Sayısı	PBS	Dünya Bankası	Bir ülkenin gelişmişlik seviyesi göstergelerinden biri olan patent başvuru sayısı buluş konusu olan tüm ürünlerin üretim, kullanım ve satışı için yapılan başvurulardır.
Kontrol Değişkenleri	Küresel İnovasyon Endeksi	KIE	Küresel İnovasyon Endeksi	Dünya ekonomilerinin inovasyon performanslarını sıralayarak ortaya koyan göstergedir.
	Bilgi İletişim Teknolojileri İhracatı	BIT	Dünya Bankası	Bilgisayar sistemleri, ağlar ve yazılımlar kapsamında üretin kitle iletişim araçlarını kapsamaktadır.

Alan yazında konuya ilişkin yapılmış çalışmaların büyük bir kısmı bir veya iki bağımsız değişken odağında analiz yapılmıştır. Ancak dijitalleşme ile günlük hayatın her alanına sirayet eden otomasyon sistemi Endüstri 4.0'ın ülkelerinin gelişiminde doğrudan etkili olduğunu kanıtlar niteliktedir. Bu sebeple çalışmada Endüstri 4.0'ın ülkelerin ekonomik büyümelerine etkisi patent başvuru sayısı Ar-Ge harcaması ve yüksek teknoloji ihracatı ile değerlendirilirken, küresel inovasyon endeksi ve bilgi iletişim teknolojileri ihracatı verileri ile de kontrol edilmiştir. Diğer bir ifade ile Endüstri 4.0'ın ekonomik büyüme üzerindeki etkisinin çoklu değişkenler ışığında kapsamlı olarak incelenmesi çalışmaya önemini artırırken diğer çalışmalardan farkını ortaya koymaktadır. İlgili değişkenler kullanılarak oluşturulan model aşağıda verilmiştir:

$$GSYH_{it} = \beta_{0it} + \beta_1(ARGE)_{it} + \beta_2(YTI)_{it} + \beta_3(PBS)_{it} + \beta_4(KIE)_{it} + \beta_5(BIT)_{it} + \varepsilon_i \quad (1)$$

Modelde $i = 1, 2, 3, \dots, N$ yatay kesitlerin birimlerini temsil ederken, $t = 1, 2, 3, \dots, T$ ise zaman boyutunu ifade etmektedir. ε ise panel hata terimini göstermektedir. Aşağıdaki tabloda analizler kapsamında kullanılan değişkenlere ilişkin tanımlayıcı istatistik sonuçları verilmiştir

Tablo 2. Değişkenlere İlişkin Tanımlayıcı İstatistikler

Değişkenler	Ortalama	Standart Sapma	Asgari Değer	Azami Değer	Gözlem Sayısı
GSYH	2.827284	1.906018	0.035616	8.802940	100
ARGE	22.318265	1.510931	0.120801	33.536400	100
YTI	29.468742	0.927504	2.047356	42.616270	100
PBS	48.926493	3.810034	14.351127	64.401131	100
KIE	27.950981	11.239484	2.682339	42.004634	100
BIT	9.053715	1.054286	0.900313	17.511456	100

İlgili tabloda görüldüğü üzere ülkelerin 2004-2023 yıllarına ait yıllık verileri ile yapılan analizde ekonomik büyümeyi temsil eden GSYH'nın ortalama 2.827 olduğu tespit edilmiştir. Ülkelerin Endüstri 4.0'ı temsil eden araştırma geliştirme ve tasarım harcamalarının ortalama 22,318, yüksek teknoloji ihracatının ortalama 29,468 ve patent başvuru sayısının ise ortalama 48,926 olduğu görülmektedir. Ayrıca ülkelerin yeniliklere verdiği önemin (KIE) ortalama 27,950 ve bilgi iletişim teknolojilerine yapılan harcamaların ise ortalama 9,053 olduğu tespit edilmiştir.

4.2. Bulgular

Panel veri analiz yönteminin güvenilirliği açısından bazı varsayımların önceden test edilmesi gerekmektedir. Bunlar çoklu doğrusal bağlantı sorunu, yatay kesit bağımlılığı, homojenlik ve serilerin durağan olup olmamasıdır. Çoklu doğrusal bağlantı sınavında, araştırma kapsamına alınan bağımsız değişkenler arasındaki olası korelasyon probleminin tespiti amaçlanmaktadır. Araştırma kapsamında test edilen korelasyon ve varyans şişirme faktör (VIF <10) sonuçları Tablo 3'te yer almaktadır.

Tablo 3. Korelasyon ve VIF Analiz Sonuçları

	GSYH	ARGE	YTI	PBS	KIE	BIT	VIF
GSYH	1	0,242	-0,318	0,193	-0,311	0,413	1,39
ARGE		1	0,288	0,367	0,467	-0,222	1,72
YTI			1	0,402	-0,281	-0,159	2,21

PBS	1	0,351	0,418	1,90
KIE		1	0,389	2,05
BIT			1	1,89

İlgili tabloda görüldüğü üzere çalışma kapsamına alınan bağımsız değişkenler arasında yüksek korelasyon sorununun olmadığı, söz konusu ilişkinin analizler için uygun olduğu tespit edilmiştir. Analizlerde uygun modelin kullanılabilmesi için değişkenlerin durağanlık düzeylerinin de test edilmesi gerekmektedir. Bunun için birim kök testlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Kullanılacak birim kök testleri ise serilerin yatay kesit bağımlılığı içerip içermemesine durumuna göre birinci ve ikinci nesil olmak üzere iki farklı şekildedir. Bu noktadan hareketle ilk olarak ülkelerin her bir değişken için aynı derecede etkilenip etkilenmediğini ortaya koyan yatay kesit bağımlılığı, Breusch-Pagan (1980) CD_{LM1} testiyle test edilmiştir. Ardından ülke eğilim katsayılarının homojen olup olmadıklarını ortaya koyan ve Pesaran ve Yamagata (2008) tarafından geliştirilen Delta testi uygulanmıştır. Yatay kesit bağımlılığı ve homojenlik testlerine ilişkin sonuçlar Tablo 4'te yer almaktadır.

Tablo 4. Yatay Kesit Bağımlılığı ve Homojenlik Testleri Sonuçları

Model : $GSYHit = \beta_{0it} + \beta_1(ARGE)_{it} + \beta_2(YTI)_{it} + \beta_3(PBS)_{it} + \beta_4(KIE)_{it} + \beta_5(BIT)_{it} + \varepsilon_i$		
	İstatistik	Olasılık değeri
GSYH	3611.003*	0.000
ARGE	1945.118*	0.000
YTI	3255.132*	0.000
PBS	3661.111*	0.000
KIE	1713.615*	0.000
BIT	2633.013*	0.000
Delta_tilde - (Δ)	1426.233*	0.000
Delta_tilde_adj - (Δ_{adj})	1622.265*	0.000

* istatistiki olarak %1 anlam düzeyini ifade etmektedir.

İlgili tabloda görüldüğü üzere Breusch-Pagan (1980) CD_{LM1} testi sonuçlarına göre tüm değişkenler için yatay kesit bağımlılığının söz konusu olduğu tespit edilmiştir. Öte yandan uygulanan homojenlik testi sonucunda ise eğim katsayılarının heterojen olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar analizlerin devamında yatay kesit bağımlılığının varlığı sebebiyle ikinci nesil birim kök testinin ve eğilim katsayılarının heterojenliği sebebiyle de eşbütünleşme testlerinin uygulanması gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu noktada sınanması gereken diğer bir varsayım olan panel birim kök testi ile serilerin durağan olup olmadığı tespit edilmelidir. Serinin durağanlığının tespiti için yatay kesit bağımlılığının dikkate alan ikinci nesil birim kök testlerinden Smith vd. (2004) geliştirdiği birim kök testi kullanılmıştır. Söz konusu birim kök testi Im vd. (2003) tarafından geliştirilen birim kök testine dayanırken, yöntem kapsamında yatay kesit bağımlılık bootstap yaklaşımı ile modellenmektedir ve t istatistikleri bireysel ADF istatistiklerinin ortalaması ile elde edilmektedir (Acaravcı ve Erdoğan, 2017: 78). Araştırma kapsamında yapılan birim kök analiz sonuçları Tablo 5'te yer almaktadır.

Tablo 5. Smith vd. Bootstrap Panel Birim Kök Test

Sabit Terimli Model					
	<i>LM</i>	<i>t</i>	<i>Min.</i>	<i>Max.</i>	<i>WS</i>
Düzey	-3.582 (0.510)	-2.335 (0.688)	-2.668 (0.913)	-1.255 (0.488)	-1.479 (0.962)

GSYH	Fark	-4.714 (0.000) ***	-3.534 (0.000) ***	-2.669 (0.000) ***	-1.713 (0.000) ***	-1.622 (0.000) ***
	Düzey	-4.824 (0.701)	-3.544 (0.690)	-2.345 (0.669)	-4.477 (0.483)	-4.824 (0.779)
ARGE	Fark	-4.052 (0.002) ***	-4.688 (0.005) ***	-2.573 (0.000) ***	-4.113 (0.000) ***	-4.052 (0.000) ***
	Düzey	-2.144 (0.620)	-4.467 (0.980)	-3.145 (0.536)	-2.265 (0.633)	-2.144 (0.890)
YTI	Fark	-3.714 (0.000) ***	-5.002 (0.000) ***	-3.455 (0.000) ***	-2.665 (0.011) **	-3.714 (0.000) ***
	Düzey	-4.012 (0.917)	-3.578 (0.986)	-4.839 (0.573)	-4.012 (0.886)	-4.012 (0.813)
PBS	Fark	-4.043 (0.000) ***	-3.043 (0.001) ***	-4.729 (0.000) ***	-4.043 (0.000) ***	-4.043 (0.012) **
	Düzey	-2.488 (0.610)	-2.480 (0.366)	-3.990 (0.367)	-3.366 (0.880)	-4.478 (0.374)
KIE	Fark	-2.918 (0.000) ***	-2.687 (0.000) ***	-3.902 (0.005) ***	-2.692 (0.000) ***	-2.224 (0.000) ***
	Düzey	-5.557 (0.610)	-3.662 (1.000)	-3.035 (0.689)	-3.293 (0.336)	-2.461 (0.986)
BIT	Fark	-5.986 (0.000) ***	-4.165 (0.000) ***	-3.904 (0.000) ***	-3.847 (0.000) ***	-2.986 (0.000) ***

Sabitli ve Trendli Model

		LM	t	Min.	Max.	WS
GSYH	Düzey	-4.588 (0.750)	-6.582 (0.510)	-4.582 (0.760)	-3.967 (0.790)	-5.780 (0.360)
	Fark	-4.264 (0.000) ***	-6.714 (0.009) ***	-4.714 (0.000) ***	-3.844 (0.001) ***	-5.365 (0.000) ***
ARGE	Düzey	-4.667 (0.845)	-4.833 (0.701)	-5.889 (0.855)	-4.847 (0.822)	-4.825 (0.798)
	Fark	-4.966 (0.000) ***	-4.078 (0.000) ***	-5.576 (0.000) ***	-4.086 (0.000) ***	-4.990 (0.000) ***
YTI	Düzey	-5.856 (0.676)	-3.746 (0.620)	-4.811 (0.744)	-4.998 (0.998)	-5.237 (1.000)
	Fark	-5.833 (0.023) **	-3.265 (0.000) ***	-4.376 (0.000) ***	-4.757 (0.000) ***	-5.362 (0.000) ***
PBS	Düzey	-5.712 (0.976)	-2.890 (0.917)	-3.744 (0.733)	-5.967 (0.847)	-4.370 (0.845)
	Fark	-5.254 (0.000) ***	-2.366 (0.000) ***	-3.744 (0.001) ***	-5.090 (0.000) ***	-4.050 (0.000) ***
KIE	Düzey	-4.678 (0.833)	-3.378 (0.610)	-4.497 (0.990)	-4.724 (0.870)	-4.855 (0.355)
	Fark	-4.866 (0.000) ***	-3.790 (0.000) ***	-4.745 (0.000) ***	-4.946 (0.000) ***	-4.857 (0.000) ***
BIT	Düzey	-5.467 (0.860)	-2.756 (0.618)	-2.565 (0.463)	-5.887 (0.916)	-3.836 (1.000)
	Fark	-5.246 (0.000) ***	-2.645 (0.000) ***	-2.986 (0.000) ***	-5.900 (0.000) ***	-3.698 (0.000) ***

***, **, * istatistiki olarak sırasıyla %1, %5 ve %10 anlam düzeyini ifade etmektedir. Gecikme uzunluğu 4 olarak alınmış olup olasılık değerleri 10.000 bootstrap dağılımından elde edilmiştir.

İlgili tabloda görüldüğü üzere araştırma kapsamındaki değişkenlerin düzeyde birim kök içerdikleri ve birinci farklarının alınmasının ardından durağan duruma geldikleri tespit edilmiştir. Bu aşamada gerek yatay kesit bağımlılığının varlığı ve gerek katsayıların heterojen oluşu sebebiyle yatay kesit bağımlılığını dikkate alırken, heterojen katsayılarının da hesaplanmasına imkân sağlayan ikinci nesil panel eşbütünleşme testlerden biri olan ve Westerlund ve Edgerton (2007) tarafından geliştirilen LM Bootstrap eşbütünleşme testi kullanılmıştır. Kesitler arası bağımlılığı göz önünde bulunduran LM eşbütünleşme testi, kesitler arasında ve içerisinde korelasyona izin vermek için bootstrap özelliğini kullanılmaktadır (Özcan ve Arı, 2014: 47). Ayrıca test, yatay kesit bağımlılığının bulunması veya bulunmaması fark etmeksizin uygulanabilmekte ve özellikle küçük örnekler için tutarlı sonuçlar vermektedir (Koçbulut ve Altıntaş, 2016: 160,161). LM Bootstrap eşbütünleşme testi sonuçları Tablo 6'da yer almaktadır.

Tablo 6. LM Bootstrap Eşbütünleşme Testi Sonuçları

BRICS	Sabit			Sabit ve Trend			
	Test	İstatistik	Asymptotic p-value	Bootstrap p-value	İstatistik	Asymptotic p-value	Bootstrap p-value
LM N ⁺ _N		2.492	0.000	0.861	3.543	0.0002	0.488

LM bootstrap
(H₀:cointegration)

Bootstrap olasılık değerleri 10.000 tekrardan oluşmaktadır.

Tablo 6'da görüldüğü üzere hesaplanan LM⁺_N test istatistiği ile eşbütünleşmenin söz konusu olduğu kabul edilmektedir. Yatay kesit bağımlılığı durumunda ise bootstrap prosedürü ile elde edilen kritik değerler kullanılmaktadır. Dolayısıyla Bootstrap olasılık değerlerine görüldüğü üzere eşbütünleşmenin bulunduğu yani serilerin eşbütünleşme ilişkisi içerisinde olduğu kabul edilmektedir. Serilerin eşbütünleşik olduklarının tespitinin ardından serilerin uzun dönem katsayılar tahmini yapılmalıdır. Tahminde bulunulurken yine yatay kesit bağımlılığı ve heterojen yapıyı dikkate alacak bir yöntem kullanılmalıdır. Bu sebeple söz konusu iki durumu da dikkate alan ve Eberhardt ve Bond (2009) tarafından geliştirilen AMG (Augmented Mean Group Estimator) tahmincisi kullanılmıştır. Serilerdeki ortak faktörlerin yanında ortak dinamik etkilerin de dikkate alan AMG yöntemi (Göçer, 2013: 233) aynı zamanda kesitler için farklı katsayıların hesaplanmasına da olanak tanımaktadır (Acaravcı vd., 2015: 125). Bu tahminci homojen modellerde panelin geneline ait bir katsayı hesaplamakta, heterojen modellerde ise birimlere ait birer katsayı ve bu katsayıların ağırlaştırılmış ortalamalarından hareketle panel için grup ortalaması hesaplar (Yaman Songur, 2017: 127). AMG tahmincisinden elde edilen sonuçlar Tablo 7'de yer almaktadır.

Tablo 7. AMG Tahmin Sonuçları

	ARGE	YTI	PBS	KIE	BIT
Panel Değeri	6.213 * (0.000)	2.362*** (0.000)	1.119 ** (0.023)	2.611*** (0.000)	1.162 * (0.011)
Brezilya	7.151 * (0.073)	2.193*** (0.000)	-4.137 * (0.0032)	1.516** (0.003)	4.218 * (0.013)
Rusya	1.618 *** (0.000)	1.417*** (0.002)	2.542 *** (0.000)	2.490*** (0.021)	3.136 ** (0.007)
Hindistan	-1.792 ** (0.003)	2.338*** (0.005)	1.364 * (0.012)	1.199** (0.009)	-1.263 *** (0.034)

Çin	2.295 *** (0.000)	4.215*** (0.000)	2.439 *** (0.069)	3.379*** (0.000)	2.271 *** (0.000)
Güney Afrika	1.288 * (0.013)	2.893*** (0.002)	2.286 *** (0.000)	2.933* (0.010)	3.372 *** (0.009)

***, **, * istatistiki olarak sırasıyla %1, %5 ve %10 anlam düzeylerini ifade etmektedir.

Tablo 7’de Brezilya, Çin, Hindistan Rusya ve Güney Afrika için AMG tahmincisiyle elde edilen panel eş-bütünleşme tahmincisi sonuçları yer almaktadır. Endüstri 4.0’ın ekonomik büyüme üzerindeki etkilerine ilişkin AMG analiz sonuçları BRICS ülkelerini içeren panelin genelinde yüksek teknoloji ihracatı, patent başvuru sayısı, Ar-Ge harcaması, küresel inovasyon endeksi ve bilgi iletişim teknolojileri ihracatı değişkenlerine ait katsayıların istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir. Söz konusu durum ülkeler özelinde incelendiğinde ise; Brezilya, Çin, Rusya ve Güney Afrika’da Ar-Ge harcamaları ile ekonomik büyümeleri arasında pozitif yönlü ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğu görülürken, Hindistan’da Ar-Ge harcamaları ile ekonomik büyümeleri arasında negatif ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişkinin olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Yüksek teknoloji ihracatının ekonomik büyüme etkisi tüm ülkelerde anlamlı ve pozitif iken patent başvuru sayısının ekonomik büyüme üzerindeki etkisine bakıldığında Brezilya’yı negatif yönde etkilerken Çin, Rusya, Hindistan ve Güney Afrika’da pozitif ve anlamlı etki ettiği sonucu görülmektedir. Ayrıca yine küresel inovasyon endeksinin ekonomik büyüme üstündeki etkisinin tüm ülkelerde anlamlı ve pozitif iken, bilgi iletişim teknolojileri ihracatının ekonomi büyüme üstündeki etkisi Hindistan dışındaki diğer ülkelerde pozitif ve anlamlı bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

İlgili tabloda görüldüğü üzere ülkelerin Ar-Ge harcamalarında oluşabilecek %1 birimlik artışın ülkelerin ekonomik büyümelerini %6.213 oranında arttırabileceği tespit edilmiştir. Söz konusu durum Rusya’da %1.618, Çin’de ise %2.295 oranında artışa neden olmaktadır. Yüksek teknoloji ihracatında meydana gelen %1’lik bir artış, ekonomik büyüme üzerinde Brezilya’da %2.193, Çin’de ise %4.215 artış sağlamaktadır. Patent başvuru sayısı incelendiğinde ise meydana gelen %1’lik bir artışın Rusya’da ekonomik büyümede %2.542, Güney Afrika’da %2.286 oranında artış yarattığı tespit edilmiştir. Öte yandan küresel inovasyon endeksinin ve bilgi iletişim teknolojileri ihracatında meydana gelen %1’lik artışın sadece Çin’de artış sağladığı görülmektedir.

Analizler neticesinde elde edilen sonuçlar alan yazındaki benzer çalışmalarla karşılaştırıldığında pek çok çalışma ile tutarlılık gösterdiği tespit edilmiştir (Dalenogare vd. 2018; Öztürk ve Alaşahan 2019; Myovella vd. 2019; Çelebi Boz vd. 2019; Kasa 2020; Kurniawati 2021; Bag vd. 2021; Aydınbaş ve Erdinç 2023).

SONUÇ

İnsanların aletlere şekil vermesi ile başlayan süreç aletlerle var olan teknolojinin insanlığı şekillendirmesi ile devam etmektedir. Söz konusu süreç insanoğlunun iş yapma becerilerini ve kapasitesini değil toplumsal yapının bütününe değişime zorlamaktadır. Buharlı makinaların sanayide kullanımı ile başlayan sanayileşme sürecinin günümüzde, siber fiziksel sistemler, nesnelerin interneti, internet servisleri ve akıllı fabrikaların bileşimini oluşturduğu kompleks yapıdaki bir sanayileşme dönemi yaşanmaktadır. Gelişmiş ekonomilere sahip ülkelerin öncülüğünü yapma gayreti içerisinde oldukları Endüstri 4.0, küresel ekonomide ülkelere rekabet avantajını sağlarken uzun vadeli zenginleşmeyi vadetmektedir. Küresel ölçekte ülke ekonomileri aynı düzeyde ve hızda gelişim sağlayamamaktadırlar. Dolayısıyla Endüstri 4.0’a öncülük eden gelişmiş ekonomilere sahip ülkeler, söz konusu teknolojinin diğer ülkelere transferi noktasında doğru yatırımlarla bir kez daha kar elde edebileceklerdir. Ucuz işgücüne sahip Uzak Doğu Asya ülkelerinin elinde bulunan ve piyasalardaki

üretim maliyetlerinden kaynaklı avantaj küresel rekabeti de etkilemektedir. Endüstri 4.0 süreci kapsamında söz konusu rekabet avantajını sahip oldukları teknoloji altyapısı ile yeniden yakalamaya çalışan Avrupa ülkeleri için Endüstri 4.0'e öncülük etmek önem arz etmektedir. Bu süreçte ülkelerin sahip oldukları sanayi yapıları, planlanmış yatırım tutarları ve nesnelerin interneti teknolojilerini kullanma kapasiteleri önemli rol oynamaktadır.

Endüstri 4.0 sürecinde özellikle endüstriyel nesnelerin interneti alanındaki ürün ve teknolojilere yapılan yatırımların, ekonomik büyüme, gayrisafi yurtiçi hâsıla, dış ticaret ve istihdam gibi makro ekonomik göstergeleri önemli ölçüde etkilemesi ön görülmektedir. Bu noktadan hareketle bu çalışma ile dünya nüfusunun yaklaşık %45'ini oluşturan ve milli gelirlerindeki hızlı artışla küresel güç olma potansiyeli yüksek olan BRICS ülkelerinin ekonomik büyümelerinde Endüstri 4.0'ın etkisini tespiti amaçlanmıştır. Yapılan analizler sonucunda BRICS ülkelerinin Ar-Ge harcaması, yüksek teknoloji ihracatı, patent başvuru sayısı, küresel inovasyon endeksi ve bilgi iletişim teknolojileri ihracatı değişkenlerine ait katsayıların istatistiksel olarak anlamlı olduğunu sonucuna ulaşılmıştır.

Ar-Ge harcamaları ve bilgi iletişim teknolojileri ihracatının ekonomik büyüme etkisi Hindistan dışındaki diğer ülkelerde pozitif ve anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Öte yandan yüksek teknoloji ihracatı ve küresel inovasyon endeksinin ekonomik büyüme etkisi örneklem ülkelerin tümünde söz konusu olduğu ve patent başvuru sayısının ekonomik büyüme etkisinin Brezilya dışındaki diğer ülkelerde pozitif ve anlamlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Hindistan'daki Ar-Ge harcamaları ile ekonomik büyüme arasındaki negatif ilişkinin kaynakların yetersiz ve denetimsiz kullanımından kaynaklandığı ve Brezilya'daki patent başvuru sayısı ile ekonomik büyüme arasındaki negatif ilişkinin ise yeterli patent başvurusunun olmaması veya tescillenememesi sebebiyle artan üretim maliyetlerinden kaynaklanması muhtemeldir.

Endüstri 4.0 devri şüphesiz bazı sektörlerin yok olmasına sebep olurken yeni sektörlerin açılmasına da olanak tanımaktadır. Dolayısıyla bu süreç yalnızca sektörler için değil bireyler, şirketler, ülkeler için de özenle takip edilmesi ve en kısa zamanda gerekli hazırlıkların yapılarak hayata geçirilmesi gerekmektedir. Endüstri 4.0'ın olası olumsuz etkilerinin başında gelen istihdam problemi başta eğitim sisteminde yapılacak yenilikler ve politikalarla aşılabilecektir. Endüstri 4.0'geçiş sürecinde gerekli hazırlık çalışmalarının yapılmaması durumunda, nüfus yoğunlukları sebebiyle, BRICS ülkeleri içerisinde en fazla Çin ve Hindistan'ı etkileneceği öngörülmektedir. Ancak imalat ürünleri pazarındaki liderliğini korumayı hedefleyen Çin'in MIC 2025 girişimi ile Endüstri 4.0'a odaklandığı görülmektedir. Özellikle Rusya, Hindistan ve Güney Afrika'nın yeraltı ve yerüstü zenginliklerinin ortak yatırım ve kararlarla Endüstri 4.0 sürecinde avantaj sağlayacağı muhtemeldir. Ülkelerin küresel rekabet ortamında mevcut gücünü arttırarak egemen olma gayretinde, sürece uygun ve zamanında yapılacak politikalar belirleyici rol olmaktadır.

Etik Beyan

“BRICS Ülkelerinde Endüstri 4.0 Döneminin Ekonomik Büyüme Yansımaları” başlıklı çalışmanın yazılması ve yayınlanması süreçlerinde Araştırma ve Yayın Etiği kurallarına riayet edilmiş ve çalışma için elde edilen verilerde herhangi bir tahrifat yapılmamıştır. Çalışma Etik Kurul onayını gerektiren bir çalışma değildir.

Katkı Oranı Beyanı

Araştırma makalesinin taslağının oluşturulmasından son haline gelene kadar yazarların tamamı bilgi ve donanımlarıyla tüm süreçlere katkı yapmış ve son halini değerlendirerek onaylamıştır.

Çatışma Beyanı

Yapılan bu çalışma gerek bireysel gerekse kurumsal/örgütsel herhangi bir çıkar çatışmasına yol açmamıştır.

KAYNAKÇA

- Acaravcı, A., Bozkurt, C. ve Erdoğan, S. (2015) MENA Ülkelerinde Demokrasi-Ekonomik Büyüme İlişkisi. *İşletme ve İktisat Çalışmaları Dergisi*, 3(4), 119-129.
- Acaravcı, A. ve Erdoğan, S. (2017). Türki Cumhuriyetlerde Elektrik Tüketimi, Reel Gelir ve Dışa Açıklık İlişkisi: Bootstrap-Granger Nedensellik Yaklaşımı. *Uluslararası Ekonomi ve Yenilik Dergisi*, 3(2), 73-84.
- Adedoyin, F. F., Bekun F. V., Drihad, O. M., ve 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.
- Akkuşçu, H. İ. (2019). Endüstri 4.0'ın Çalışma Hayatına Etkileri ve Türkiye Üzerine Bir Değerlendirme. *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 38(2), 65-98.
- Aktan, C. C. ve Tunç, M. (2003). Bilgi Toplumu ve Türkiye. *Cumhuriyet Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 1-10.
- Aydınbaş, G. ve Erdiñ, 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.
- Bag, S., Gupta, S., ve Kumar, S. (2021). Industry 4.0 Adoption and 10R Advance Manufacturing Capabilities for Sustainable Development. *International Journal of Production Economics*, 231, 107844.
- Baltagi, B.H. (2013). *Econometric Analysis of Panel Data*, Chichester: John Wiley & Sons. 27.Pdf (Wbi.Ac.İd), (31,08.2024)
- Bartodziej C.J., (2017). The Concept Industry 4.0-An Empirical Analysis of Technologies and Applications in Production Logistics. *Springer Gabler*.
- Bayram, F. Ç. ve Karadaş, H. A. (2023). Endüstri 4.0 Teknolojilerinin Sürdürülebilir Ekonomi Üzerine Etkisi: Seçili OECD Ülkeleri Üzerine Bir Analiz. *Journal of Social, Humanities And Administrative Sciences*, 9(67), 3343-3352.
- Breusch, T. S., ve Pagan, A. R. (1980). The Lagrange Multiplier Test and Its Applications to Model Specification in Econometrics. *Review of Economic Studies*, 47, 239-253.
- Bulut, E., ve Akçacı, T. (2017). Endüstri 4.0 ve İnovasyon Göstergeleri Kapsamında Türkiye Analizi. *ASSAM Uluslararası Hakemli Dergi*, 4(7), 55-77.
- Castelo-Branco, I., Cruz-Jesus, F., ve Oliveira, T. (2019). Assessing Industry 4.0 Readiness in Manufacturing: Evidence for the European Union. *Computers in Industry*, 107, 22-32.
- Çelebi Boz, F., Gültekin, Ö. ve Bayramoğlu, T. (2019). BRICS ve MIST Ülkelerinde Ar-Ge Harcamaları ile Yüksek Teknolojili Ürün İhracatı Arasındaki İlişki Üzerine Bir Araştırma. *İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi*, 8 (2), 1111-1124.

- Aba Şenbayram E. (2024). BRICS Ülkelerinde Endüstri 4.0 Döneminin Ekonomik Büyüme Yansımaları. *KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 26(47), 1435-1454.
- Dalenogare, L. S., Benitez, G. B., Ayala, N. F. ve Frank, A. G. (2018). The Expected Contribution Of Industry 4.0 Technologies for Industrial Performance. *International Journal of Production Economics*, 204, 383-394.
- Doğru, B. ve Meçik, O. (2018). Türkiye'de Endüstri 4.0'ın İşgücü Piyasasına Etkileri: Firma Beklentileri. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, Endüstri 4.0 ve Örgütsel Değişim Özel Sayısı, 1581-1606
- Dünya Ekonomik Forumu (WEF), (2018). Readiness for the Future of Production Report, FOP_Readiness_Report_2018.Pdf (Weforum.Org), (15.02.2024)
- Eberhardt, M. ve Bond, S. (2009). Cross-Section Dependence in Nonstationary Panel Models: a Novel Estimator. *Sweden*, 29–31.
- Erden Özsoy, C. ve Tosunoğlu, B. (2020). Endüstri 4.0 ve Gelişmekte Olan Ülkelerde İstihdamın Geleceği. *Anadolu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 21 (4), 1-17.
- Erkekoğlu, H., ve 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>
- Eşiyok, S. ve Demircioğlu, M. (2022). OECD Ülkelerinin Endüstri 4.0 Düzeylerinin CRİTİC ve CODAS Yöntemleri ile Değerlendirilmesi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 21(43), 377-398. Doi: 10.46928/İticusbe.1076484
- Fırat, O. Z. ve Fırat, S. Ü. (2017). Endüstri 4.0 Yolculuğunda Trendler ve Robotlar. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 46(2), 211-223.
- Göçer, İ. (2013) Ar-Ge Harcamalarının Yüksek Teknolojili Ürün İhracatı, Dış Ticaret Dengesi ve Ekonomik Büyüme Üzerindeki Etkileri. *Maliye Dergisi*, (165), 215-240.
- Karami, M., Elahinia, N. ve Karami, S. (2019). The Effect of Manufacturing Value Added on Economic Growth: Empirical Evidence From Europe. *Journal of Business Economics and Finance*, 8(2), 133-147.
- Kasa, H. (2020). Endüstri 4.0'ın Ekonomik Büyüme Etkisi: Yenilikçi Ekonomilere Yönelik Ampirik Bir Analiz. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 305-312.
- Koç, Ş. ve Özcan, G. (2023). Endüstri 4.0'ın Ekonomik Büyüme Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi: G7 Ülkeleri İçin Panel Veri Analizi. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi*, 4(2): 1-16.
- Koçbulut, Ö. ve Altıntaş, H. (2016) İkiz Açıklar ve Feldstein-Horioka Hipotezi: OECD Ülkeleri Üzerine Yatay Kesit Bağımlılığı Altında Yapısal Kırımlı Panel Eşbütünleşme Analizi. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, (48), 145-174.
- Kurniawati, M.A. (2021), Analysis of the Impact of Information Communication Technology On Economic Growth: Empirical Evidence From Asian Countries. *Journal of Asian Business And Economic Studies*. <https://doi.org/10.1108/JABES-07-2020-0082>
- Myovella, G., Karacuka, M. ve 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>

Aba Şenbayram E. (2024). BRICS Ülkelerinde Endüstri 4.0 Döneminin Ekonomik Büyüme Yansımaları. *KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 26(47), 1435-1454.

- Menelau, S., Macedo, F. G. L., Carvalho, P. L. D., Nascimento, T. G. ve Carvalho júnior, A. D. D. (2020). Mapping of the Scientific Production of Industry 4.0 in the BRICS: Reflections And Interfaces. *Cadernos EBAPE. BR*, 17, 1094-1114.
- Menendez, M. H., Menendez, R. M., Escobar, C. A. ve MCGovern, M. (2020). Competencies For Industry 4.0. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDEM)*, 14, 1511-1524.
- Nhamo, G., Nhemachena, C. ve Nhamo, S. (2020). Using ICT Indicators to Measure Readiness of Countries to Implement Industry 4.0 and the Sdgs. *Environmental Economics and Policy Studies*, 22(2), 315-337.
- Özcan, B. ve Arı, A. (2014). Araştırma-Geliştirme Harcamaları ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Panel Veri Analizi. *Maliye Dergisi*, 166.
- Özer M. ve Çiftçi N. (2009), AR-GE Harcamaları ve İhracat İlişkisi: OECD Ülkeleri Panel Veri Analizi. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, Nisan, Sayı 23, 1-9.
- Öztürk, S. ve Alaşahan, Y. (2019). Türkiye Endüstri 4.0 Uygulamalarının Değerlendirmesi: Panel Veri Analizi. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (61), 1-18.
- Pesaran, M. H., ve Yamagata, T. (2008). Testing Slope Homogeneity In Large Panels. *Journal Of Econometrics*, 142, 50-93
- Purdy M. ve Davarzani L. (2015). The Growth Game-Changer: How The Industrial Internet of Things Can Drive Progress and Prosperity, Accenture Institute Working Paper, https://www.accenture.com/_acnmedia/Accenture/Conversionassets/Dotcom/Documents/Global/PDF/Dualpub_18/Accenture-Industrial-Internet-Things-Growth-Game-Changer.Pdf, (15.02.2024)
- Raj, A., Dwivedi, G., Sharma, A., De Sousa Jabbour, A. B. L. ve Rajak, S. (2020). Barriers to the Adoption of Industry 4.0 Technologies in the Manufacturing Sector: An Inter-Country Comparative Perspective. *International Journal Of Production Economics*, 224, 107546.
- T.B.M.M. Araştırma Hizmetleri Başkanlığı (2023). Endüstri 4.0 Kavramsal Çerçeve ve Ülke Uygulamaları, Yayın No 16, 4bc0f960-Acbf-4abc-A366-2271f6cca948.Pdf (Tbmm.Gov.Tr) (09.02.2024)
- Ünlü, F. ve Atik, H. (2018). Türkiye'deki İşletmelerin Endüstri 4.0'a Geçiş Performansı: Avrupa Birliği Ülkeleri ile Karşılaştırmalı Ampirik Analiz. *Ankara Avrupa Çalışmaları Dergisi*, 17(2), 431-463.
- Verl, A. (2017). Robotics & Industrie 4.0. IFR- International Federation Of Robotics
- Yaman Songur, D. (2017) Doğrudan Yabancı Yatırımlar ve Dış Ticaret'in Gayri Safi Yurtiçi Hasıla Üzerine Etkisi: Avrasya Ülkeleri Örneği, *Bulletin of Economic Theory and Analysis*, 2(2), 117-133 Yıldız, Aytaç (2018). Endüstri 4.0 ve Akıllı Fabrikalar. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 546-556.
- Westerlund, J. ve Edgerton, D. L. (2007). A Panel Bootstrap Cointegration Test. *Economics Letters*, 97, 185-190.
- World Economic Forum, (2015). Deep Shift-Technology Tipping Points And Societal Impact, Gobar Agenda Council on the Future of Software and Society, WEF_GAC15_Technological_Tipping_Points_Report_2015.Pdf (Weforum.Org), (15.02.2024).

Extended Abstract

Reflections of the Industry 4.0 Era on Economic Growth in BRICS Countries

At every stage of the transition from Industry 1.0 to 4.0, the impact of the developments in the energy sector on production methods is quite high. While it started with the integration of water and steam energy into the mechanical production phase in Industry 1.0, electrical energy was included in the mass production mechanism in Industry 2.0. In parallel with technological developments, with the effect of digitalization, electronics and information technologies are included in manufacturing automation in Industry 3.0. Industry 4.0, in which autonomous vehicles and virtual variables are included in the system, is the current process in which the industry evolves and includes many possible global changes. The aim of Industry 4.0, where new generation technologies such as the internet of things (IoT), industrial internet of things (IIoT), cloud computing (Cloud), big data (Big Data) and cyber-physical systems (CPS) are used, is to make the production process more efficient, flexible, is competitive and sustainable.

Today, rapid change in technology and consumer preferences is at the center of production processes. With the influence of globalization, it is very important to provide immediate and effective feedback to the situation in question. Based on this point, Industry 4.0, which is also expressed as the final point of industrialization, is expected to meet the current need in terms of reshaping production systems and making them more flexible, fast, efficient and predictable with the effect of digitalization. With Industry 4.0, it is aimed to be able to control its own production processes without the intervention of any center and to minimize human errors in the process, while completing the process as much as possible without the human factor. Industry 4.0, which was first announced in Germany, actually arises from the effort of European countries with advanced technological infrastructure systems to capture the competitive advantage gained by the cheap labor force of Far Eastern countries.

It is very important to research and evaluate the subject of Industry 4.0, which is important for global economic dynamics, in different parameters. From this point, this study aims to examine the effects of the Industry 4.0 process on the economic growth of BRICS countries (Brazil, Russia, India, China and South Africa) through panel data analysis. In the study using annual data for the period 2004-2023, the Augmented Mean Group (AMG) cointegration estimator from the panel data analysis method was used. In the study, gross domestic product per capita was used to represent the economic growth of the countries as dependent variables, R&D expenditure, number of patent applications and high technology exports to represent Industry 4.0 potential were used as independent variables, and global innovation index and information communication technologies exports were used as control variables. As a result of the findings, it was concluded that Industry 4.0 has a significant and positive effect on the economic growth of BRICS countries. The impact of R&D expenditures and ICT exports on economic growth has been found to be positive and significant in countries other than India. On the other hand, it has been concluded that the effect of high technology exports and global innovation index on economic growth is present in all sample countries and that the effect of the number of patent applications on economic growth is positive and significant in other countries except Brazil. It is likely that the negative relationship between R&D expenditures and economic growth in India is due to the insufficient and uncontrolled use of resources, and the negative relationship between the number of patent applications and economic growth in Brazil is due to increasing production costs due to the lack of sufficient patent applications or failure to register them.
