

-ARAŞTIRMA MAKALESİ-

G7 ÜLKELERİNDE ENDÜSTRİ 4.0 ve EKONOMİK BÜYÜME İLİŞKİSİ: AMPRİK BİR ANALİZ

Tuğba ÖZSARI ŞİŞMAN¹ & Seda BAYRAKDAR²

Öz

Endüstri 4.0, teknolojik gelişmelerin üretim süreçlerine entegrasyonu ile karakterize edilen dördüncü sanayi devrimini ifade etmektedir. Bu dönüşüm, üretim verimliliğini artırarak katma değeri yükseltmekte ve dolayısıyla ülkelerin ekonomik yapılarında köklü değişimlere yol açmaktadır. Ancak, Endüstri 4.0'ın ekonomik büyüme üzerindeki etkisi bu dönüşümün temelini oluşturan teknolojik gelişmelerin niteliğine göre farklılık göstermektedir. Bu bağlamda, ülkelerin rekabet güçlerini ve büyüme potansiyellerini koruyabilmeleri için Endüstri 4.0'ın sunduğu fırsatları doğru bir şekilde değerlendirmeleri ve bu dönüşüme uyum sağlamaları gerekmektedir.

Bu çalışmada Endüstri 4.0'ın ekonomik büyüme üzerindeki etkisini gelişmiş ekonomilerin bir araya geldiği G7 ülkeleri (Almanya, Amerika, Fransa, İngiltere, İtalya, Japonya, Kanada) örneğinde incelemektedir. 2000-2021 yılları arasındaki dönemi kapsayan panel veri seti, Havuzlanmış Ortak Korelasyonlu Etkiler (CCEP) tahminci ve Westerlund eş bütünleşme testi kullanılarak analiz edilmektedir. Çalışmada, Endüstri 4.0'ın belirleyicileri olarak Ar-Ge harcamaları, orta ve yüksek düzey teknolojik ürünler ihracatı ile bilgi iletişim teknolojileri ürünleri ihracatı gibi değişkenler kullanılmaktadır. Elde edilen bulgular, G7 ülkelerinde Endüstri 4.0'ın belirleyicileri olarak kabul edilen değişkenlerin ekonomik büyüme üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığını göstermektedir. Bu bulgu, Endüstri 4.0'ın sadece teknolojik gelişmelerin bir sonucu olarak görülmemesi gerektiğini aynı zamanda kurumsal yapı, insan sermayesi ve inovasyon ekosistemi gibi diğer faktörlerin de ekonomik büyüme üzerinde belirleyici rol oynadığını vurgulamaktadır. Bu nedenle, ülkelerin Endüstri 4.0'a başarılı bir şekilde uyum sağlayabilmeleri için sadece teknolojik yatırımlara değil insan kaynağının yetkinleştirilmesinin sağlanması, eğitim sistemlerinin çağın gereksinimlerine göre yeniden yapılandırılması ve inovasyon kapasitelerinin artırılması gibi stratejik alanlara da yatırım yapılması gerektiği vurgulanmaktadır. Çalışmada elde edilen sonuçlar, Endüstri 4.0'a geçiş sürecinde ülkelerin karşılaştığı zorlukları ve fırsatları daha iyi anlamaya katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Endüstri 4.0, teknolojik dönüşüm, ekonomik büyüme, panel veri

Jel Kod: L5, O33,040.

Başvuru: 15.07.2024 **Kabul:** 29.09.2024

* Bu makale 5-6 Temmuz 2024 tarihleri arasında Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi tarafından düzenlenen 4. Uluslararası Sosyal Bilimler Konferansı'nda özet olarak sunulan tebliğin genişletilmiş tam metnidir.

¹ Doktora Öğrencisi, Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, tugbaa.ozsari@gmail.com. 0009-0002-2462-8882

² Doç. Dr., Hacı Bayram Veli Üniversitesi Finansal Bilimler Fakültesi, sedabayrakdar@hotmail.com. 0000-0003-3879-6561

FROM INDUSTRY 4.0 TO ECONOMIC GROWTH: G7 COUNTRIES SITUATION ANALYSIS

Abstract

Industry 4.0 represents the fourth industrial revolution characterized by the integration of technological advancements into production processes. This transformation enhances production efficiency, increases value-added, and consequently brings about profound changes in the economic structures of countries. However, the impact of Industry 4.0 on economic growth varies depending on the nature of the underlying technological developments driving this transformation. In this context, to maintain their competitiveness and growth potential, countries need to accurately assess the opportunities presented by Industry 4.0 and adapt to this transformation.

This study examines the impact of Industry 4.0 on economic growth using the example of the G7 countries (Germany, the United States, France, the United Kingdom, Italy, Japan, and Canada), which represent a group of advanced economies. A panel dataset covering the period from 2000 to 2021 is analyzed using the Common Correlated Effects Pooled (CCEP) estimator and the Westerlund cointegration test. In the study, variables such as R&D expenditures, exports of medium- and high-technology products, and information and communication technology product exports are used as determinants of Industry 4.0. The findings indicate that the variables considered as determinants of Industry 4.0 do not have a significant impact on economic growth in the G7 countries. This finding suggests that Industry 4.0 should not be viewed solely as a result of technological advancements, but that other factors such as institutional structure, human capital, and innovation ecosystems also play a decisive role in economic growth. Therefore, it is emphasized that for countries to successfully adapt to Industry 4.0, they should invest not only in technological investments but also in strategic areas such as enhancing human capital, restructuring education systems to meet the demands of the age, and increasing innovation capacity. The results of the study contribute to a better understanding of the challenges and opportunities faced by countries during the transition to Industry 4.0.

Keywords: Industry 4.0, economic growth, panel data

Jel Kod: L5, O33,040.

“Bu çalışma Araştırma ve Yayın Etiğine uygun olarak hazırlanmıştır.”

1. GİRİŞ

Sanayi devrimleri temelinde her ne kadar üretim sürecini kolaylaştırma amacıyla ortaya çıkmış olsa da yüzyıllardır gerçekleştirilen yenilikçi hareketler ve geliştirilen teknolojiler hayatın birçok alanında etkili olmaktadır. Sanayi ve alt dallarına ait sektörlerin yapılandırılması üretimi artırmakta, artan üretim hem toplum refahını hem de ülke ekonomilerini etkilemektedir. Günümüzde 4. Sanayi Devrimi olarak nitelendirilen Endüstri 4.0 kavramı üretimde hız, verimlilik artışı, maliyetlerin azalması, teknolojik yenilikler gibi gelişmeleri kapsamaktadır. 18. yy sonlarında buhar makinesinin icadı ile basit usulde insan gücüne dayalı gerçekleşen üretim yerini makine üretimine bırakmaya başlamıştır. Üretim sürecinde nesnelerin interneti, hizmetlerin interneti ve siber-fiziksel sistemlerin birlikte kullanılması ile fiziksel ve sanal dünya birleştirilmektedir. Gelişmiş sistemlerle entegre olarak çalışan bu akıllı cihazlar, gerçek zamanlı veri toplama, depolama, algılama ve işleme özelliklerine sahiptir (Lampropoulos vd., 2019). Nesnelerin interneti endüstriyel alanlarda önemli bir yer teşkil etmektedir. IoT ve IIoT yani endüstriyel nesnelerin internetinin, endüstriyel üretimin dijitalleşmesinin ve otomasyonun Endüstri 4.0 devrimini başlatan süreç olduğu düşünülmektedir (Li vd., 2011).

4. Sanayi Devrimi olarak nitelendirilen Endüstri 4.0 ekonomik hayatta birtakım avantajlar ve dezavantajları da beraberinde getirmektedir. Konu hakkında yapılan kapsamlı anket³ uyarınca Endüstri 4.0'ın zorlukları ve avantajları şu şekilde özetlenmektedir (Türkyılmaz, 2024): sürecin en büyük zorlukları bu süreci tanıtmak ve gereken büyük değişim için gerekli cesaretin olmaması, süreçlerin tamamlanması için gereken bilgi yoksunluğu, Endüstri 4.0 BT mimarisine yapılan yatırımların somut geri dönüşü konusunda net bir iş gereğinin olmaması, farklı departmanlar arasında eylemlerin koordinasyonundaki zorluk, farklı kaynaklardan gelen verilerin entegrasyon sürecindeki zorluk, iç- dış kaynak kullanımında ve hizmet sağlayıcılar hakkındaki bilgi eksikliği, siber güvenlikle ilgili tereddütlerdir. Bu zorlukların aksine Endüstri 4.0 birçok çağdaş çözüm, hizmet ve fırsat sunmuştur. Süreci olması gerektiği gibi tamamlanması, Endüstri 4.0 dönüşümünü gerçekleştirebilen ülkeler, bu sürece uyum sağlayan işletmeler ve endüstriler pazarda rekabet gücünü elde ederken bu süreçten birçok fayda ve kar sağlayabilir.

³ Amerika Birleşik Devletleri, Almanya ve Japonya'da hem Endüstri 4.0 teknoloji tedarikçileri hem de üreticileri arasında eşit olarak bölünmüş 300 uzman şirketi (en az 50 çalışanı olan) içeren bir Küresel Uzman Anketi yapmıştır. Yapılan anketlerin neticesinde cevap verenlerin büyük bir çoğunluğu rekabet güçlerinin, operasyonel verimliliklerinin ve iş modellerinin Endüstri 4.0 ile artacağını düşündüklerini ifade etmişlerdir. Ayrıca, yaptıkları ankete göre Endüstri 4.0'ın ana zorluklarını da sıralamışlardır.

Büyük bir dönüşümün ilk aşaması olarak ifade edilebilecek olan bu süreci takip etmek, sürecin gerekliliklerini yerine getirmek ve devamlı olarak dinamik bir bakış açısı kazanmak gerekmektedir. Ancak bu sayede küresel sistem içerisinde ülkelerin en öncelikli hedeflerinden olan büyüme ya da gelir artışı sağlanabilir. Bu nedenle, sürecin dinamiklerinin belirlenmesinin önemli olduğu düşünülmektedir. Ülkelerin büyüme hedeflerini gerçekleştirmede ve rekabeti artırmada yapısal dönüşümün önemli bir bileşeni olarak Endüstri 4.0'ın içinde hangi unsurlarla desteklenmesi gerekliliği ortaya konulmalıdır. Uygulanacak dönüşüm politikalarının bu çerçevede belirlenerek büyüme hedeflerinin hızlı ve efektif bir şekilde ulaşılması sağlanmalıdır. Çalışmanın ampirik kısmında yer alan modelin bağımsız değişkenleri: Orta ve yüksek teknoloji ihracatı (sanayi ürünleri ihracatı içerisindeki payı), Ar-Ge harcamaları (GSYİH içerisindeki payı) ve Bilgi iletişim teknolojisi ihracatıdır (toplam ihracat içerisindeki payı). Yapılan literatür araştırması uyarınca Endüstri 4.0'ı en iyi temsil ettiğini düşündüğümüz ve literatürden farklılaşarak oluşturduğumuz modelde kullanılan bağımsız değişkenler modelin özgünlüğünün bir göstergesidir. Bağımlı değişken olarak büyüme oranı kullanılmıştır. Seçili bağımsız değişkenler tek tek ele alan çalışmalar olmakla birlikte bütün bu değişkenlerin topluca ele alındığı herhangi bir çalışmaya ulaşılamamıştır. Bu nedenle, çalışmanın yerli ve yabancı yazında önemli bir boşluğu doldurması beklenmektedir.

Çalışmada G7 ülkelerinde endüstri 4.0 ve ekonomik büyüme ilişkisi araştırılmıştır. Öncelikle endüstri ve teknolojileri bir araya getiren Endüstri 4.0'ın tarihsel süreci teorik olarak incelenecek ve bununla birlikte kapsadığı teknolojilere ait temel kavramlar yer alacaktır. Üçüncü kısımda ekonomik büyüme ve teknolojik gelişme ilişkisi incelenerek, grafikler üzerinden değerlendirmeler yapılacaktır. Ampirik modele geçmeden önce konu ile ilgili yapılan çalışmalar özetlenecek akabinde Endüstri 4.0 gelişiminin G7 ülkeleri üzerindeki ekonomik büyümeye etkisi panel veri analizi ile test edilecektir.

1.1. Endüstri 4.0'ın Tarihsel Süreci ve Kapsadığı Teknolojiler

Endüstri 4.0 olarak adlandırılan diğer bir adıyla 4. Sanayi Devrimi dünyada geniş biçimde ele alınmaktadır. Günümüzde teknolojinin hız kazanması ile sanayi ürünlerinin tasarımı, üretim, operasyon ve hizmet süreçlerinin bu gelişmelere ayak uydurması ve bu konuda yapılan yenilikler Endüstri 4.0 olarak nitelendirilmektedir (Avrupa Birliği Bakanlığı, 2018: 1). Dijital ve teknolojik alanda yapılan yeniliklerin girdisi sadece sanayi ve alt kollarını kapsamamakta sosyal, ekonomik ve siyasal alanlarda da önemli çıktılar sağlamaktadır. Bu sürece gelmeden önce iktisadi hayatta yaşanan değişim ve dönüşümlerin ana taşları şu şekilde özetlenebilir:

18.yy sonlarında İngiltere'de başlayan 1. Sanayi Devrimi ile üretimde insan gücü kullanımı yerini makineleşmeye bırakmıştır. Atölyelerden fabrikalara doğru evrimleşen üretim sürecinde kömürün kullanılmaya başlaması iş gücünü hareketlendirmekle birlikte üretim alanı fabrikalar olmaya başlamıştır (Taş, 2018: 1821). Teknolojinin gelişmesi buharlı makinelerin üretimini artırırken makine kullanımının yaygınlaşması üretimde seri artışlar meydana getirmiştir (Özdoğan 2017: 14). Üretimin kolaylaşması toplumsal yapıda büyük değişimlere yol açmakta, artan üretim ise ülke ekonomilerine katkı sağlamaktadır. Bahse konu gelişmeler İngiltere'de doğan Sanayi Devrimi etkisini önce Avrupa'da daha sonra dünyaya yayılarak göstermektedir (EBSO, 2015: 4). 19.yy'da Fordizm ile ortaya çıkan 2. Dünya Savaşı sonrası dönem 2. Sanayi Devrimi olarak adlandırılmaktadır. Buhar yerine elektrik hatlarının fabrikalarda kullanılmaya başlaması ile yeni üretim modelleri geliştirilerek üretim sürecine entegre edilmesi ve Keynes'e ait harcamacı politikaların benimsenmesi ile birlikte seri üretime başlanmıştır (Alçın, 2016: 20). Üretim yapısındaki bu artışlar maliyetlerin azalması ve fiyatların düşmesine olanak sağlamıştır. Bu dönemde ulaşım ağının kolaylaşması, azalan maliyetler ve düşen fiyatlar ekonomik verimliliği artırmıştır (Eğilmez, 2018: 266). Dünya savaşları sırasında etkisi azalan teknoloji ve sanayiye yönelik gelişmeler 1970'li başlarında tekrar ivme kazanmıştır. Bilgi ve iletişim teknolojilerinin gelişmesi ile yeni üretim modelleri ortaya çıkmaya başlamıştır (EBSO, 2015: 6). Dijital teknolojiler programlanabilir sistemler ve otomasyon tüm üretim süreçlerini etkilemiş ve geliştirmiştir (Siemens, 2016: 5). 3. Sanayi Devrimi olan nitelendirilen bu dönemde yapılan teknolojik gelişmeler daha az üretim faktörü kullanarak daha fazla üretim artışına olanak sağlamaktadır (Castells, 2005). Sonraları ortaya çıkan ve hız kazanan küreselleşme her alanda olduğu gibi finans ve üretim alanlarında da etkili olmuş, dünya üzerindeki yoğunlaşmayı değiştirmiştir. Serbest ekonomi akımları, üretimin homojen hale gelmesi, üretim faktörlerinin ucuzlaması, uygulanan vergi indirimleri ile ilk olarak yüksek teknoloji ürünlerin üretim merkezi başta Çin olmak üzere doğuya kaymış ve bu durum devamında ilgili ülkelerin yetkinliklerinin gelişimini tetikleyerek onların kendi ürünlerini sunmalarını sağlamaktadır (Eğilmez, 2018: 267).

1 Nisan 2011 tarihinde Alman Hükümetinin rekabet edilebilirlik gücünü artırmak amacıyla Kagermann tarafından "Endüstri 4.0: Nesnelerin interneti ile 4. Endüstri Devrimine Giderken" adlı makale ile Hannover Ticaret Fuarında ilk kez "Industrie 4.0" kavramı kullanılmaya başlamıştır (Kagermann vd., 2011: 2). 2013 yılında Alman Ulusal Bilim ve Mühendislik Akademisi (Acatech) tarafından "Endüstri 4.0 Stratejik İnisyatifinin Uygulanmasına Yönelik Tavsiyeler" adlı manifesto ile bu kavram kuramsal çerçeve kazanmıştır (Acatech, 2013). Endüstri 4.0 ile sıradan makinelerin toplam performansları artarken etrafındaki diğer makineler ile etkileşim halinde olmak üzere gelişim göstermeleri gerekmektedir. Böylelikle üretim süreci de daha akıllı hale gelmekte ve gerçek zamanlı veri takibi, üretim sürecinin takibine ilişkin ürün konum ve durum izleme gibi kavramlar ön plana çıkmaktadır (TUSİAD, 2016; Vaidya vd., 2018: 234). Endüstri 4.0 kavramı, temel itici gücü olarak dijitalleşmenin benimsenmesi ile üretim sürecinde kullanılan makinelerin birbirleriyle

organize ilerlediği, üretim hattındaki fiziksel sürecin bilgisayar tarafından belirlenen sistemden geçtiği teknoloji ve makinelerin birleşimini anlatmaktadır (Schmidt vd., 2015; Prause, 2015; Industry 4.0, 2016; Götz ve Jankowska, 2017). Teknoloji, ekonomide soyut bir güç olarak görülmektedir (Principles of Economics, 2016). Ancak öyle olmamakta hatta teknoloji ve teknolojinin getirdiği yenilikler, ekonomi ile sıkı bir bağ içerisinde olup ekonomiler teknolojinin etkisi altına kalmaktadır (İçli, 2001: 67). Yani teknoloji, ekonomik büyüme ve insani gelişim için ana etken olmakta ayrıca üretim yöntemlerinin gelişmesine modernleşmesine katkı sağlamaktadır (Mohammed vd., 2022: 38-39).

İmalat sektöründeki üretimin yüksek teknolojiler ile gerçekleştirilme amacını kapsayan Endüstri 4.0 yaklaşımında tüm makinelerin internet ağları ile tek bir bilgisayara bağlanarak otomasyon sürecini kolaylaştırması hedeflenmektedir (Eğilmez, 2018: 268, Endüstri 4.0 ve Sistem Entegrasyonları, 2020) Akıllı Üretim Dönemi olarak da adlandırılan bu dönemin temelde içerdiği teknolojiler şu şekildedir;

Siber Fiziksel Sistemler: Fiziksel makineleri bilgisayar tabanlı algoritmalar ile birbirine bağlayan sisteme siber-fiziksel sistemler (CPS) denilmektedir (NSF, 2017). Gelişmiş sensörler, bulut sistemleri, akıllı cihazlar, insanlar ve robotlar gibi bileşenlerden oluşan sistemde üretim hattındaki gözetim, koordinasyon ve kontrol içeren süreçler bu geliştirilmiş teknolojiler ile takip edilmektedir (EBSO, 2015; Müller vd., 2018). Siber Fiziksel Sistemlerin geliştirilmesindeki en önemli etken üretimin daha hızlı ve dinamik gerçekleştirmesinin yanı sıra üretimde verimi artırma ihtiyacından kaynaklanmaktadır (Lu, 2017: 1-6).

Nesnelerin İnterneti: Geçmişte sınırlı sayıda cihaz birbirleri ile etkileşim halinde oldukları için söz konusu cihazların sensörleri üzerinden elde edilen ve kontrol edilen sistemlerle günlük ihtiyaçlara da sınırlı olarak etki edilmekteydi. Birbirleri ile ve merkezi kontrol sistemi ile etkileşim içerisinde olan cihaz ve sistem sayısı arttıkça işlenen veri ve geliştirilen uygulama sayısı da artış göstermektedir. Kullanıcıların ve üreticilerin sürekli ilgisini çeken bu alandaki ilerlemeler sayesinde nesnelerin interneti üzerinden geliştirilen uygulamalar önümüzdeki yıllarda da gelişim göstermeye devam edecektir. Bunlara paralel olarak yapay zekanın da katkısıyla karar alma ve kontrol mekanizması da merkezi olmaktan çıkarılarak gerçek zamanlı işlemler ile daha kararlı uygulamalar ve sistemler geliştirilmektedir (TÜSİAD, 2016: 27).

Büyük Veri (Big Data): Büyük Veri analizi, farklı kaynaklardan toplanan verilerin sistematik, kapsamlı analizler ile değerlendirilmesini ve analizlerin sadece üretim sürecini değil aynı zamanda müşteri ve kurumların istek ve taleplerinin yönlendirilmesinde de gerçek zamanlı karar verme süreçlerini kapsamaktadır (Rüßmann vd., 2015: 1-14).

Bulut Bilişim Sistemi: Üretim sürecindeki program ve büyük verilerin internet aracılığıyla depolanması ve gerekli durumlarda verilerin direkt bu sistemden çekilerek kullanılması, işlenmesi ve paylaşılması gibi süreçleri kolaylaştıran sisteme denilmektedir (Hashem vd., 2015: 98-115). Bulut sistemler üzerinden depolanan veriler diğer sistemlerin ve makinelerin kullanımına sunulmaktadır.

Akıllı Fabrikalar: Nesnelerin interneti, sanal ve fiziki dünyayı siber fiziksel sistemler sayesinde üretim süreçlerinin ve fiziki dünyanın sanal kopyasını oluşturarak bir araya getirmektedir. Siber fiziksel sistemlerde yürütülen tüm iş ve işlemler ise Endüstri 4.0'ın temelini oluşturan merkezi olmayan akıllı fabrikaları ortaya çıkarmaktadır (Barreto vd., 2017: 1247). Geliştirilen teknolojiler sayesinde akıllı fabrikaların üretim sürecini kendi kendine planlaması beklenmektedir (Witkowski, 2017: 768-769).

Simülasyon: Ürün tasarım ve geliştirilmesinde kullanılan üretim sürecindeki yapıyı 3D modellemeler sayesinde gerçekçi algılamaya yarayan modelleme sistemidir (Soylu, 2018: 48). Karmaşık üretim sisteminin kolaylaştırılmasında simülasyon sistemlerinden yardım alınırken bunun yanı sıra üretilecek her ürünün test etme maliyeti yüksek olacağı için modellemeler sayesinde üretim süreci daha hızlı ve ucuz şekilde test edilmektedir (Nuroğlu ve Nuroğlu, 2018: 333).

Artırılmış Gerçeklik ve Sanal Gerçeklik: Fiziksel dünyadaki gerçekliğin bilgisayar tarafından yaratılan ortamda zenginleştirilmesidir (TÜSİAD, 2016). Artırılmış gerçeklik tabanlı sistemler, kameralar aracılığıyla halihazırda var olmayan ancak dijital olarak eklenmiş bilgilerin aslında fiziksel olarak mevcut olmamasına rağmen kullanıcıya hissettirilmesini sağlamaktadır (Çakır vd., 2015: 45-58). Sanal gerçeklik kavramında ise sanal dünya baz alınmakla birlikte genellikle dış dünya ile bağlantının koparılması ve üç boyutlu ortamlarda faaliyet gösterilmesi sağlanmaktadır (İçten ve Bal, 2017: 402).

Sistem Entegrasyonu: Yatay, dikey ve uçtan uca entegrasyon birleşimlerinden oluşan sistemlerin bütünü olarak adlandırılmaktadır. Yatay entegrasyon iki veya daha fazla şirketin, üretim ve planlama gibi süreçlerinin belirli akış ve iş birliği halinde olması iken dikey entegrasyon şirket içi üretim süreçlerinin tümünde en üst düzeyde bütünlükmeyi ifade etmektedir. En kapsamlı entegrasyon olan uçtan uca entegrasyon sistemi ise üretim sürecinde gerekli hammadde ihtiyacından başlayıp üretilen ürünün kullanım yılına kadar ki süreçlerini kapsamaktadır (Yıldız, 2018; Gedik, 2021).

Ekllemeli Üretim: Eski üretim modellerinin yenilikçi yapı kazanmasıyla üretim yeni bir boyuta geçerek ekllemeli üretim modeline geçilmiştir. Bilgisayar tabanlı programlar sayesinde üretilecek ürünün kalıp ve modeline ihtiyaç duyulmadan hammaddenin en ince hale getirilerek üst üste gelecek şekilde makinelere gönderilip 3 boyutlu üretilmesi işlemidir (Montess, 2016: 1). Katmanlı üretim modeli olarak da bilinen bu modelde karmaşık üretim yapısına sahip ürünlerin üretimi kolaylaşmakta ve üretim süresi kısalmaktadır (Strange ve Zucchella, 2017: 6).

1.2. Ekonomik Büyüme ve Teknolojik Gelişme İlişkisi

Günümüzde küresel rekabetin artması ile ülkeler ekonomik büyüme hedeflerine ulaşmak ve rekabette öne çıkmak için toplam üretim ve refah seviyesi göstergelerin yanında teknolojik gelişmeleri de dikkate almak zorundadırlar. Bu bilinçle hareket eden ülkeler, çeşitlendirilmiş ürün ve hizmetler ile rekabet avantajı elde etmeyi hedefleyerek ekonomik büyümeyi sürdürmektedirler (Börü ve Çelik, 2019: 196-197).

Büyüme teorileri Frank Ramsey'in 1928'deki "A Mathematical Theory of Saving" çalışmasıyla başlayarak Harrod-Domar modeli gibi modeller ile süreç içinde gelişme göstermektedir. 1930'lu yıllarda ilk defa Schumpeter, yenilik kavramını ekonomi ve kalkınmanın temel itici gücü olarak tanımlamakta ve ekonomilerin yenilikçi faaliyetlerle dönüşerek gelişeceğini öngörmektedir (Gemici ve Öztürk, 2020: 82). Yenilikçi faaliyetler sonucu yüksek karlar sağlayan kapitalist dinamiğin temelinde teknolojik gelişmeler yer almakta ve sağlanan yüksek karlar firmalar arasında rekabete yol açmaktadır. Bahse konu karlar devam ettiği sürece de teknoloji gelişimi devam etmekte ve ekonomiler büyüme göstermektedir (Ardor ve Varlık, 2009: 24-26). Teknolojik gelişmeyi bir süreç olarak ele alan Schumpeter'e göre bu süreç icat, yenilik ve yayılma (spillover) aşamalarından oluşmaktadır. Bu süreç yaratıcı yıkıma neden olmakta ve mevcut yapıları değiştirerek yeni bir ekonomik düzeni ortaya çıkarmaktadır (Rosenberg ve Frisctak, 1991: 226).

1950'li yıllarda Solow-Swan büyüme modeli ölçeğe göre azalan getiri ve dışsal teknolojiye odaklanarak uzun vadeli büyümenin durağan bir seyir izleyeceğini savunmaktadır. 1980'li yıllara gelindiğinde Neoklasik büyüme modeli yerini içsel büyüme teorilerine bırakarak ölçeğe göre artan getiriye odaklanmakta ve teknolojiyi içsel bir değişken olarak kabul etmektedir. Böylelikle sınırsız büyüme olasılığı vurgulanmaktadır. Romer, Grossman-Helpman gibi içsel büyüme modelleri, teknolojiyi Ar-Ge ve beşeri sermaye aracılığıyla içselleştirerek ekonomik büyüme üzerinde etkili olduğunu savunmaktadırlar (Genç ve Atasoy, 2010: 27-28).

1986 yılında içsel büyüme modellerinin öncüsü olarak kabul edilen Romer, teknolojik ilerlemelerin ekonomik büyümenin merkezinde olduğunu ve bu ilerlemelerin de Ar-Ge faaliyetleri sonucunda ortaya çıktığını belirtmektedir. Romer'e göre, sermaye birikiminin tek başına ekonomik büyümeyi sürdürmeyeceği fakat teknolojik süreçte yaşanan gelişmelerin ülkeler arasındaki gelişmişlik farklarını ortadan kaldırmaya yaradığını savunmaktadır. Romer'in modelinde, yenilikçi faaliyet gösteren firmalar elde ettikleri bilgi ve teknolojiyi koruma altına alarak tekelleri elde etmekte ve bu karları Ar-Ge faaliyetlerinde kullanarak sürdürülebilir ekonomik büyümeye katkı sağlamaktadır. Gelişen bilgi ve teknolojinin diğer firmalara yayılması ise ülkelerde ekonomik büyümeyi desteklemektedir (Dağlı ve Ezanoğlu, 2021: 443-444).

Grossman-Helpman'a göre ülkelerin uzun dönemli büyüme performanslarının önemli olduğu vurgulanmakta ve bir ülkenin uzmanlaşacağı alanı belirlemede bilgi, sermaye ve teknoloji yoğun malların üretimdeki rolü önem arz etmektedir. Ayrıca ekonomik olarak gelişmiş ülkeler teknolojinin gelişimi konusunda daha fazla fırsat yaratma ve teşvik etme potansiyeli taşımaktadır (Yıldırım ve Kantarcı, 2018: 667).

Aghion ve Howitt ise Schumpeter'in "yaratıcı yıkım" modelini geliştirerek yeni ürünlerin eski ürünleri geçersiz kılarak tekel avantajının kaybedilmesi sürecini model olarak ele almaktadırlar. Bu model, teknolojik değişimlerin ekonomik büyüme üzerinde bir etkiye sahip olduğunu ve teknolojik gelişmelerin ekonomik büyümeyi desteklediğini vurgulamaktadır (Tanhan ve Güvenek, 2022: 35-36). Yani model teknolojik gelişmeleri içselleştirmeyi amaçlamakta ve başarılı uygulanan Ar-Ge çalışmalarının firmalara tekel avantajı sağlayabileceğini vurgulamaktadır. Yapılan Ar-Ge faaliyetleri, ekonomik sürecin son sektörünü oluşturmakla birlikte işgücü için istihdam sağlamaktadır. Böylelikle bu faaliyetler sonucunda yenilikler ara mallar sektörüne transfer edilirken son ürün sektörü de bu yeniliklerden fayda sağlamaktadır. Fakat bu kazançlar, halihazırda kullanılan ara malı kullanımının sona ermesine yol açmakta ve gelecek yeniliklerin ortaya çıkmasıyla kaybolmaktadır (Teyyare, 2013: 151-153).

Günümüze geldiğinde ise ticaretin genişlemesinden daha çok, ticareti yapılan ürünlerin teknoloji seviyeleri önem kazanmaktadır. Özellikle yüksek teknolojlü ürünlerin ihracatı, daha yüksek katma değer sağlaması nedeniyle ülke ekonomilerinin zenginleşmesi ve mevcut gelişmişlik seviyelerini sürdürme konusunda kritik rol oynamaktadır. Bu nedenle, gelişmiş ülkeler güçlerini ve teknoloji geliştirme çabalarını devam ettirmek için Ar-Ge faaliyet ve harcamalarına her geçen gün daha fazla önem vermektedir (Gaberli, 2018: 67-69). Aşağıda yeni bir kavram olarak sayılabilecek Endüstri 4.0 dönüşümünü ifade edebilecek ve çalışmada da bağımsız değişkenler olarak kullanılan Ar-Ge harcamaları, Orta ve yüksek Teknoloji ihracatı ve BİT ürünleri ihracatı verileri ele alınan ülkeler uyarınca yer almaktadır.

Dünya Fikri Mülkiyet Kurumu (WIPO) önderliğinde hazırlanan Küresel İnovasyon Endeksi, dünya ekonomisinde inovasyonu önemli bir itici güç olarak tanımlamakta ve bu sebeple ülkelerin ekonomik kalkınmaları ile inovasyon arasındaki ilişkiyi incelemektedir. Tablo 1’de WIPO’nun 2023 yılı raporunda G7 ülkelerine ait veriler yer almaktadır.

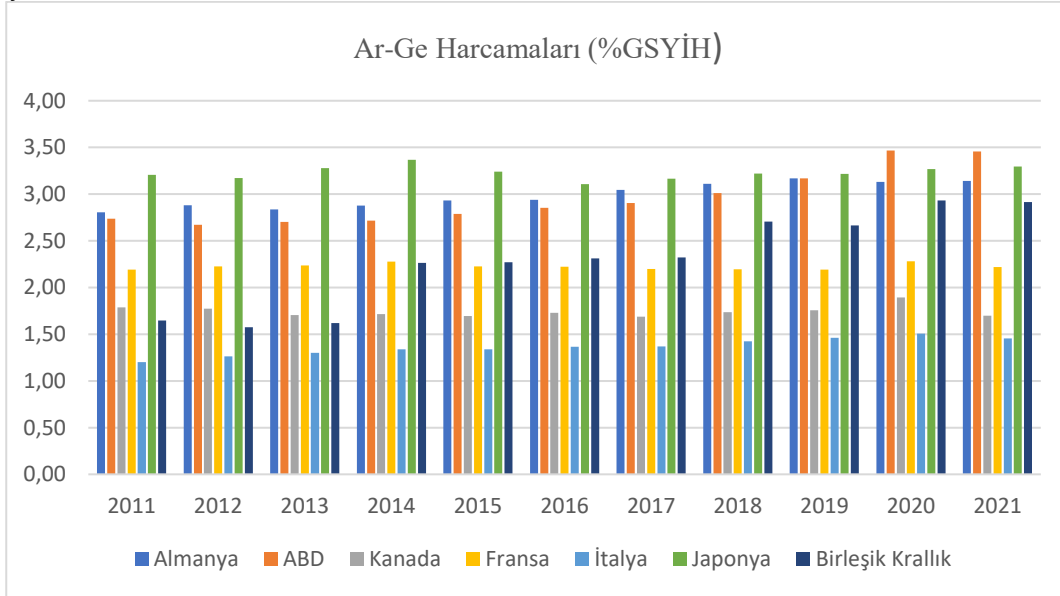
Tablo 1: G7 Ülkelerine ait İnovasyon Endeksi (2023)

Ülkeler	Puan	Global Sıralama	Gelir Grubu Sıralaması	Gelir Seviyesi
ABD	63.5	3	3	Yüksek Gelir
Almanya	58.8	8	8	Yüksek Gelir
Fransa	56.0	11	11	Yüksek Gelir
İngiltere	62.4	4	4	Yüksek Gelir
İtalya	46.6	26	25	Yüksek Gelir
Japonya	54.6	13	12	Yüksek Gelir
Kanada	53.8	15	14	Yüksek Gelir

Kaynak: WIPO Global Innovation Index 2023

Endüstri 4.0 kavramının ilk kez 2011 yılında dile getirilmesi ile sanayide yeni bir dönem başlamıştır. Bu kapsamda 2011’den günümüze yaşanan değişimler G7 ülkelerine ait Ar-Ge harcamalarının GSYİH içindeki oranı ile gösterilmektedir (Bkz.Şekil.1).

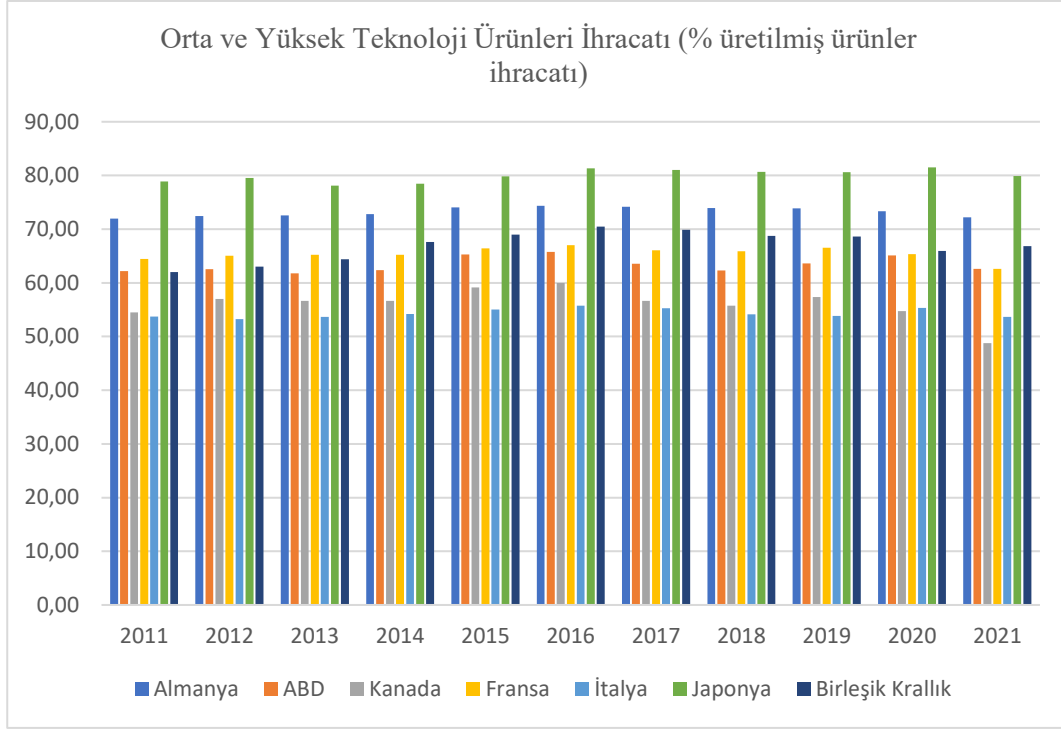
Şekil.1. G7 Ülkerine ait Ar-Ge Harcamalarının GSYİH Oranı



Kaynak: Dünya Bankası

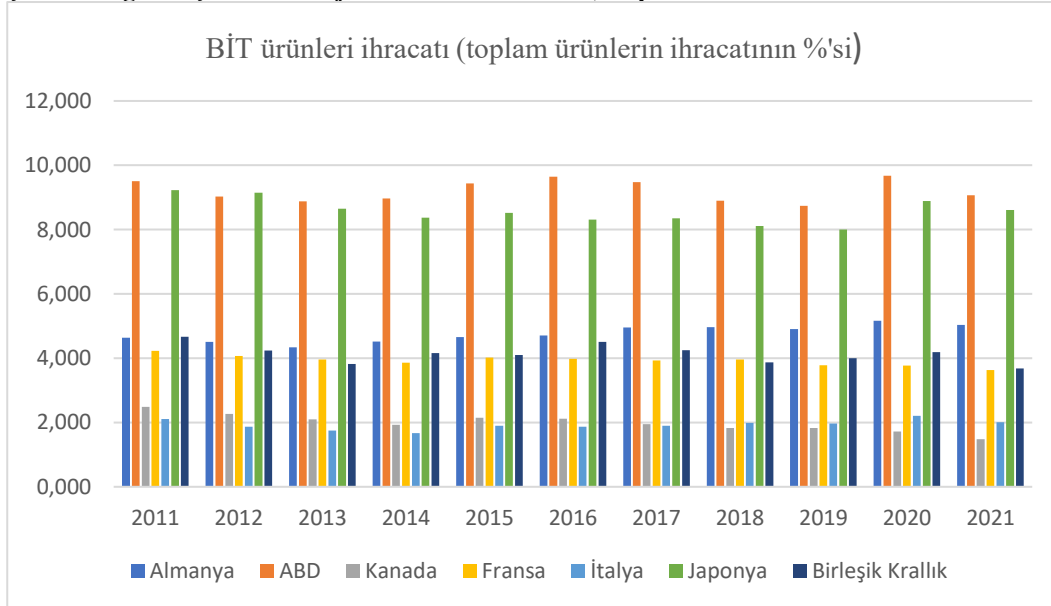
Verilere göre ülkelerin Ar-Ge faaliyetleri kapsamında yaptıkları harcamalar yıllar içinde değişiklik gösterse de genel itibariyle harcamalarda artış gözlenmektedir.

Gün geçtikçe önem kazanan teknoloji, ülkeleri büyümelerine katkı sağlaması amacıyla katma değeri yüksek ürünlerin üretimine teşvik etmektedir. Bu sebeple G7 ülkeleri, genellikle gelişmiş sanayi sektörleri ve yüksek katma değerli ürünlerle küresel piyasalarda öne çıkmaktadır. Aşağıda Şekil.2.’de orta ve yüksek teknoloji ürünlerin ihracatının, üretilen tüm ürünlerin ihracatı içindeki oranı yer almaktadır.

Şekil.2. Orta ve Yüksek Teknoloji Ürünlerin İhracatı**Kaynak:** Dünya Bankası

Teknoloji ihracatında sürdürülebilir başarılar elde eden bu ülkeler, yeni teknolojileri benimseme ve üretme konusunda çaba göstermektedir.

Bilgi ve iletişim teknolojileri (BİT), dünya ekonomilerinde olumlu değişikliklerin öncü güçleri olarak kabul edilmektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalarda, BİT'lerin küresel ekonomilerde önemli değişikliklere yol açtığını, üretkenliği artırdığı gözlenmektedir (Aldakhil vd., 2019: 1-5). Şekil.3'de bilgi iletişim teknoloji ürünleri ihracatının, toplam üretilen ürünlerin ihracatına oranı yer almaktadır.

Şekil.3. Bilgi İletişim Teknoloji Ürünleri İhracatının, Toplam Üretilen Ürünlerin İhracatına Oranı**Kaynak:** Dünya Bankası

Bilgi ve iletişim teknoloji ürünleri ihracatında ABD öncü olmakta ardından Japonya ve Almanya gelmektedir. G7 ülkelerinin Ar-Ge harcamaları, orta ve yüksek teknoloji ürün ihracatı ve bilgi iletişim teknoloji ürünleri ihracatı verileri genel olarak incelendiğinde bu ülkelerin küresel ölçekte teknolojik liderliklerini sürdürmek adına önemli bir rekabet avantajına sahip oldukları görülmektedir.

1.3. Literatür Taraması

Samimi ve Alerasoul (2009) çalışmalarında Ar-Ge harcamalarının ekonomik büyüme üzerindeki etkisini 2000-2006 dönemine ait veriler kullanılarak 30 gelişmekte olan ülke için değerlendirilmiştir. Çalışmada, Ar-Ge göstergelerini temsil etmesi amacıyla kamu araştırma harcamalarının GSYİH'deki payı, her bir milyon nüfus başına düşen araştırmacı sayısı ve ülkelerin bilimsel çıktı değişkenlerini kullanarak bu faaliyetlerin ekonomik büyüme üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Panel veri regresyon modelleri ile yapılan analizler, incelenen ülkelerde Ar-Ge harcamalarının ekonomik büyüme üzerinde genel olarak anlamlı bir pozitif etkisinin olmadığını ortaya koymuştur.

Czernich vd. (2011), 1996-2007 yılları arasında OECD ülkelerinde genişbant altyapısındaki iyileşmeler ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi panel veri yöntemiyle incelemişlerdir. Çalışmanın bulgularına göre, genişbant penetrasyonundaki %10'luk bir artışın kişi başına GSYİH'yi %0,9 ile %1,5 oranında artırdığı tespit edilmiştir. Çalışma, dijital altyapının geliştirilmesinin uzun vadeli ekonomik performans için kritik bir faktör olduğunu göstermektedir.

Özcan ve Arı (2014), 1990-2011 dönemi için 15 OECD ülkesinde Ar-Ge harcamaları ile iktisadi büyüme arasındaki ilişki panel veri modeli ile incelenmiş ve Ar-Ge harcamalarının iktisadi büyümeyi pozitif yönde etkilediği sonucuna ulaşılmıştır.

Baesu vd., (2015), AB ülkelerindeki yüksek teknoloji sektörü inovasyon performansının belirleyicileri incelenmiştir. Araştırmacılar, 1994-2011 dönemi için bu faktörleri analiz etmek için panel veri analizi yöntemini kullanmışlardır. Çalışmaya göre yüksek teknoloji endüstrisindeki çalışan sayısı, patent sayısını olumlu yönde etkilemektedir. Kişi başına düşen Ar-Ge harcamaları ise patent sayısını olumsuz yönde etkilemektedir. Diğer faktörlerin ise inovasyon performansı üzerinde önemli bir etkisi bulunmamaktadır.

Inekwe (2015), 2000-2009 yılları arasında gelişmekte olan ülkelerde Ar-Ge harcamalarının ekonomik büyüme üzerindeki etkisini incelemiştir. Dinamik sistem GMM, birleştirilmiş ortalama grubu ve üç aşamalı en küçük kareler GMM modelleri kullanılarak yapılan analizde 66 ülke üst-orta gelirli ve alt-orta gelirli ekonomiler olarak gruplandırılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre Ar-Ge harcamalarının genel olarak gelişmekte olan ekonomilerde büyümeye olumlu katkı sağladığını ortaya koymuştur. Üst-orta gelirli ekonomilerde Ar-Ge harcamalarının büyüme üzerinde pozitif bir etkisi olduğu belirlenirken, düşük gelirli ekonomilerde bu etkinin önemsiz olduğu görülmüştür. Ayrıca, Ar-Ge harcamalarının kısa ve uzun vadeli etkilerinin farklı olduğu tespit edilmiştir.

Tunalı (2016), 1981-2012 arası yıllar için 18 OECD ülkesinde toplam Ar-Ge harcamaları ile işletme ve hükümet Ar-Ge harcamalarının iktisadi büyüme üzerindeki etkisini analiz etmiş, bunlardan toplam ve işletme Ar-Ge harcamalarının büyüme üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olmadığı, hükümet Ar-Ge harcamalarının ise kısa dönemde negatif uzun dönemde pozitif etkiye sahip olduğu sonucuna varmıştır.

Kacprzyk ve Doryń (2017), 1993-2011 dönemi boyunca Avrupa Birliği ülkelerinde teknolojik yenilik ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi incelemektedir. Genelleştirilmiş momentler yöntemi ile yapılan analiz, Ar-Ge harcamaları ve patent faaliyetlerinin, AB-15 ve AB-13 ülkeleri arasında ekonomik büyümeyi teşvik etme açısından farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır. Sonuçlar, Ar-Ge harcamalarının ekonomik büyüme üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığını patent faaliyetlerinin ise AB-13 alt örnekleme ve AB-28 genelinde ekonomik büyümeyi belirleyen bir faktör olduğunu göstermektedir.

Özcan ve Özer (2017), 1995-2013 arası yıllar için seçili 23 OECD ülkesinin Ar-Ge harcamaları ile patent başvuru sayılarının iktisadi büyüme üzerindeki etkisi incelenmiş, Westerlund panel eşbütünleşme testinin uygulanması sonucunda bu iki değişkenin de iktisadi büyüme üzerinde pozitif etki yarattığı sonucuna varılmıştır.

Özkan ve Yılmaz (2017), 1996-2015 dönemi için 12 AB üyesi ülke ile Türkiye'de Ar-Ge harcamalarının yüksek teknoloji ihracatı ve GSYH üzerindeki etkisi panel veri yöntemiyle incelenmiş ve Ar-Ge harcamalarının yüksek teknoloji ürün ihracatını ve gayri safi yurt içi hasılayı artırdığı belirlenmiştir.

Kabaklarlı vd., (2018). Seçili OECD ülkelerinin 1989-2015 arasındaki yıllarda yüksek teknoloji ihracatı ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi panel eş bütünleşme analizi ile incelemişlerdir. Doğrudan yabancı yatırımların ve patent başvurularının yüksek teknoloji ihracatı üzerinde anlamlı etkisi gözlemlenirken, GSYİH büyümesinin yüksek teknoloji ihracatı üzerinde etkisi görülmemektedir.

Atik ve Ünlü (2019), Çalışmalarında 28 AB ülkesi ve Türkiye'ye ait 10 Endüstri 4.0 göstergesi kullanılarak faktör ve kümeleme analizleri gerçekleştirilmiştir. Kümeleme analizinde hiyerarşik kümeleme yöntemlerinden Ward yöntemi tercih edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, Almanya'nın Endüstri 4.0 performansında en iyi ülke olduğu tespit edilmiştir. Ancak çalışmada incelenen ülkelerin Endüstri 4.0 açısından homojen bir yapı sergilemediği görülmüştür.

Çütçü ve Bozan (2019), Çalışmalarında inovasyon ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi G7 ülkeleri üzerinden incelenmektedir. 1981-2016 yılları arasındaki yıllık veriler ile panel veri analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre inovasyon ve ekonomik büyüme arasında uzun vadeli bir ilişkinin var olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte ekonomik büyüme ile Ar-Ge harcamaları arasında negatif yönlü bir ilişki bulunmuştur. Ayrıca büyüme oranından patent başvurularına doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisi olduğu saptanmıştır.

Öztürk ve Alaşahan (2019), 2011-2016 yıllarını kapsayan çalışmalarında seçili 9 ülke ve Türkiye üzerinden Endüstri 4.0'ın ekonomik büyüme üzerindeki etkisini analiz etmektedirler. Pedroni eşbütünlük ve Granger nedensellik analizi kullanılan çalışmada ülkelerarası karşılaştırmalar yapılmıştır. Analiz sonucuna göre, Endüstri 4.0 üzerinde etkili olabilmek için Türkiye'nin yüksek teknoloji ihracatını artırması gerekmektedir.

Sarıdoğan (2019), 1998-2017 dönemi için AB ülkeleri ve Türkiye'de yüksek teknoloji ihracatı ve bilişim hizmetlerinin iktisadi büyüme üzerindeki etkisi LR, LM, F ve Hausman testleriyle incelenmiş ve yüksek teknoloji ihracatı ile bilişim hizmetlerinin iktisadi büyüme üzerinde pozitif etki yarattığı sonucuna ulaşılmıştır.

Erdinç ve Aydınbaş (2020), seçilmiş 16 ülke ile yaptıkları çalışmada yüksek teknoloji ürünleri ihracı ve belirleyicilerini panel veri kullanarak analiz etmişlerdir. 2007-2018 yıllarına ait çalışmada GSYİH, patent başvuru sayısı ve bilim-teknik dergi makale sayısı bağımsız değişken olarak analize alınmış ve yüksek teknoloji ürünleri ihracı ile GSYİH arasında pozitif ve anlamlı bir ilişki olduğu belirlenmiştir.

Kasa (2020), Endüstri 4.0 sürecine entegre olan ve entegrasyon için gerekli olan çalışma ve stratejileri geliştiren yenilikçi ülkelerin gelişim aşamasını incelemektedir. Ar-Ge harcamaları, yüksek teknoloji ürün ihracatları, beşeri sermaye endeksi, doğrudan yabancı sermaye yatırımları ve patent başvurularının kişi başına GSYİH üzerine etkisini 16 ülke üzerinde incelemekte ve analizinde GMM modeli kullanılmaktadır. Bu çalışmanın sonucunda yüksek teknoloji ihracatı ve doğrudan yabancı sermaye yatırımlarının kişi başına GSYİH'a etkisinin pozitif olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Kesbiç ve Şimşek (2020), panel veri analiz yöntemini kullanarak 2000- 2018 arası dönemde 33 OECD ülkesinde inovasyonu temsilen patent başvuru sayısı verisi ile iktisadi büyüme üzerindeki etkisini analiz etmiş, iki değişken arasında çift yönlü ilişkinin olduğunu inovasyonun iktisadi büyüme pozitif etkilediğini ortaya koymuştur.

Yaman ve Sungur (2020), 1999-2017 yılları arasındaki çalışmalarında 36 OECD ülkesi için ileri teknoloji ihracatı ve büyüme arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Panel veri analizi kullanılan çalışmada ekonomik büyümeden ileri teknoloji ihracatına doğru tek yönlü nedensellik saptamışlardır.

Çebişi (2021), çalışmasında bilgi iletişim teknolojilerinin ekonomik büyüme üzerindeki etkileri araştırılmakta ve G-7 ülkelerinin 2004-2018 dönemine ait yıllık verileri kullanılarak panel veri analizi yapmıştır. Analiz sonucunda, ekonomik büyüme ve bilgi iletişim teknolojilerinin, enflasyon ve işsizlik arasında istatistiksel olarak anlamlı ilişkilerin olduğu belirlenmiştir.

Erkekoğlu ve Uslu (2021), 2019 yılı Küresel İnovasyon Endeksi en yüksek olan 20 ülke ve Türkiye olmak üzere toplam 21 ülkenin küresel inovasyon endeksi, insani gelişmişlik endeksi, Ar-Ge harcamaları ve kişi başına düşen milli gelir verilerinin panel regresyon analizlerini gerçekleştirmiş, Granger (1969) nedensellik testi sonucunda Ar-Ge harcamalarından inovasyon seviyesine ve kişi başına düşen milli gelirden inovasyon seviyesine doğru tek yönlü nedensellik ilişkileri tespit edilmiş, böylece inovasyon seviyelerini artırarak Endüstri 4.0 devrimini yakalamak isteyen ülkelerin Ar-Ge harcamalarını artırmaya dönük politikalar izlemelerinde fayda olduğu ortaya konulmuştur.

Ahmad ve Zheng (2022), çalışmalarında 36 OECD ülkesi için yenilik ve ekonomik büyüme arasındaki döngüsel ve doğrusal olmayan ilişkiyi simultane denklemler modelleme yaklaşımıyla ampirik olarak test etmiştir. Analiz sonuçlarına göre Ar-Ge harcamalarında ve patentlerdeki olumlu şokların ekonomik büyümeyi olumlu yönde etkilediğini ancak durgunluk döneminde bu değişkenlerdeki olumsuz şokların ekonomik büyümeyi olumsuz etkilediğini göstermiştir.

Eşiyok ve Demircioğlu (2022), çalışmalarında 2019 yılı verileri ile OECD'ye üye 20 ülkenin Endüstri 4.0 ve dijital dönüşüm performanslarını 14 kriter kullanılarak çok kriterli karar verme yöntemleriyle karşılaştırılmıştır. Analiz sonucunda ABD, Japonya, Güney Kore ve Almanya gibi ekonomik ve teknolojik açıdan gelişmiş ülkelerin üst sıralarda

yer aldığını Slovenya, İspanya, Slovakya, Türkiye ve Meksika'nın ise son sıralarda bulunduğu belirlenmiştir. Ayrıca ekonomik gelişmişlik ile Endüstri 4.0 ve dijital toplum göstergeleri arasında pozitif bir ilişki olduğu tespit edilmiştir.

Koç ve Özcan (2023), Endüstri 4.0 ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi G7 ülkelerine ait 1990-2019 yıllarını kapsayan veriler yardımı ile analiz ederek panel veri yöntemlerini kullanmıştır. Ar-Ge harcamaları ile patent başvuru sayısının büyüme üzerindeki etkisinin pozitif ve anlamlı çıktığını (İtalya hariç), bilgi iletişim teknolojileri ihracatının büyüme üzerindeki etkisinin ise anlamlı (Almanya hariç) olduğunu, ancak ABD, Fransa ve Japonya'da negatif etki yarattığını ortaya koymuşlardır.

Mashadihasanlı ve Zülfikar (2023), 2001-2021 yılları arasında seçilmiş 35 Avrupa ülkesinde bilgi iletişim teknolojilerinin ekonomik büyüme üzerindeki etkisini araştırmaktadır. Genelleştirilmiş Momentler Yöntemi (GMM) kullanılan analizde, bilgi iletişim teknolojilerinde yaşanan olumlu gelişmelerin ekonomik büyümeyi artırdığı sonucuna ulaşılmaktadır.

Sojoodi ve Baghbanpour (2023), 2007-2020 döneminde 30 gelişmekte olan ve 30 gelişmiş ülke için yüksek teknoloji ihracatı ile GSYH büyümesi arasındaki ilişki, Konya ve Dumitrescu ve Hurlin'in panel nedensellik yaklaşımları kullanılarak incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçlarına göre yüksek teknoloji ihracatının GSYH büyümesi üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığını ancak bazı ülkelerde sınırlı bir pozitif nedensellik ilişkisinin bulunduğunu göstermiştir.

Tablo.2: Endüstri 4.0 ve Ekonomik Büyüme İlişkisi Literatür Tablosu

Yazarlar	Çalışma Yapılan Ülke	Çalışma Dönemi	Çalışmada Kullanılan Değişkenler	Çalışmada Kullanılan Yöntem	Sonuç
Samimi ve Alerasoul (2009)	30 Gelişmekte Olan Ülke	2000-2006	GSYİH, Ar-Ge Harcamaları	Panel Veri Analizi	İstatistiki olarak anlamlı bir ilişki bulunamamıştır.
Czernich vd., (2011)	OECD Ülkeleri	1996-2007	GSYİH, Genişbant İnternet	Panel Veri Analizi	Genişbant penetrasyonunda meydana gelen %10'luk artışın kişi başına GSYİH'ı yüzde 0,9-1,5 puan artırdığı sonucuna ulaşılmıştır.
Özcan ve Arı (2014)	15 OECD Ülkesi	1990-2012	Ar-Ge Harcamaları, İktisadi Büyüme	Panel Veri Analizi	Ar-Ge harcamaları - iktisadi büyüme arasında tek yönlü ilişki
Baesu vd., (2015)	AB Ülkeleri	1994-2011	Yüksek Teknoloji Endüstrisindeki Çalışan Sayısı, Patent Sayısı, Kişi Başına Ar-Ge Harcamaları	Panel Veri Analizi	Yüksek teknoloji endüstrisindeki çalışan sayısı, patent sayısını olumlu yönde etkilemekte fakat kişi başına düşen Ar-Ge harcaması patent sayısını olumsuz etkilemektedir.
Inekwe (2015)	66 Ülke	2000-2009	GSYİH, Ar-Ge Harcamaları	Havuzlanmış Regresyon, System GMM, 3SLS	Ar-Ge harcamalarının ekonomik büyüme üzerindeki etkisi üst-orta gelirli ekonomiler için pozitif iken düşük gelirli ekonomilerde ise önemsizdir.
Tunalı (2016)	18 OECD Ülkesi	1981-2012	Ar-Ge Harcamaları, Ekonomik Büyüme	MG ve PMG Tahminleyicisi	Ar-Ge harcamalarının ekonomik büyüme üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.
Kacprzyk ve Doryń (2017)	Eski AB-15 ve Yeni AB-13 Ülkeleri	1993-2011	GSYİH, Ar-Ge Harcamaları	Genelleştirilmiş Momentler Tahmincisi (GMM)	Ar-Ge harcamaları ile ekonomik büyüme arasında istatistiki

					olarak anlamlı bir ilişki yoktur.
Özcan ve Özer (2017)	23 OECD Ülkesi	1995-2013	Kişi Başına Düşen GSYİH, Ar-Ge Harcamaları ve Patent Başvuru Sayısı	Westerlund Panel Eşbütünlüme	Ar-Ge harcamaları ve patent başvuru sayılarının ekonomik büyüme üzerindeki etkisi uzun dönemde istatistiki olarak anlamlı ve pozitif iken kısa dönemde istatistiki olarak pozitif fakat anlamlı değildir.
Özkan ve Yılmaz (2017)	12 AB Ülkesi ve Türkiye	1996- 2015	Ar-Ge Harcamaları, Yüksek Teknoloji İhracatı, GSYİH	Panel Veri Analizi	Ar-Ge harcamaları ve Yüksek Teknolojili Ürün İhracatı GSYİH'yi pozitif yönlü etkilemektedir.
Kabaklarlı vd., (2018)	Seçili OECD Ülkeleri	1989-2015	Yüksek Teknoloji Ürün İhracatı, Ekonomik Büyüme	Panel Eşbütünlüme Analizi	Yüksek teknoloji ihracatı, patent başvuruları ve doğrudan yabancı yatırımları ile olumlu, ekonomik büyüme oranı ile olumsuz olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
Atık ve Ünlü (2019)	28 AB Ülkesi	2015-2016	Bilgi ve İletişim Teknolojilerini Temsil Eden 12 Değişken	Kümeleme Analizi ve Ayırma Analizi	AB ülkeleri, endüstri 4.0 performansı açısından homojen görünüm sergilememektedir.
Çütçü ve Bozan (2019)	G7	1981-2016	Ar-Ge Harcamaları, Patent Başvuru Sayıları, Ekonomik Büyüme	Panel Veri Analizi	Ar-Ge ve ekonomik büyüme arasında negatif yönlü ilişki
Öztürk ve Alaşahan (2019)	Küresel İnovasyon Endeksinde ki 9 ülke ve Türkiye	2011-2016	Ar-Ge Harcaması, Patent Başvurusu, Yüksek Teknoloji İhracatı, Küresel İnovasyon Endeksi, GSYİH	Pedroni Eşbütünlüme Testi, Granger Nedensellik	İstatistiki olarak anlamlı pozitif etki
Sarıdoğan (2019)	28 AB Ülkesi ve Türkiye	1998- 2017	Ar-Ge Harcamaları, Yüksek Teknoloji İhracatı, Bilişim Hizmetleri, Emek, Sermaye	LR, LM, F ve Hausman Testleri	Yüksek teknoloji ihracatı ile bilgi hizmetleri, ekonomik büyümeyi anlamlı ve pozitif etkilemektedir.
Erdinç ve Aydınbaş (2020)	Seçilmiş 16 Ülke	2007-2018	Yüksek Teknoloji Ürünleri İhracatı, GSYİH, Patent Başvuru Sayısı ve Bilim-Teknik Dergi Makale Sayısı	Panel Veri Analizi	Yüksek teknoloji ürün ihracatı ile GSYİH arasında pozitif ilişki
Kasa (2020)	16 Ülke	1991-2018	Ar-Ge Harcamaları, Yüksek Teknoloji Ürün İhracatları, Beşeri Sermaye Endeksi, Doğrudan Yabancı Sermaye Yatırımları ve Patent Başvuruları ve Kişi Başına Düşen GSYİH	Sistem GMM Modeli	Yüksek teknoloji ihracatı ve doğrudan yabancı sermaye yatırımları, kişi başına GSYİH'yi pozitif etkilemektedir.
Kesbiç ve Şimşek (2020)	33 OECD Ülkesi	22000-2018	İnovasyon, Ekonomik Büyüme	Panel Veri Analizi	İki değişken arasında çift yönlü ilişki
Yaman ve Sungur (2020)	36 OECD Ülkesi	1999-2017	İleri Teknoloji İhracatının Toplam	Panel Veri Analizi	Ekonomik büyümeden ileri

			Payı ve Ekonomik Büyüme Oranı		teknoloji ihracatına doğru tek yönlü ilişki
Çebişli (2021)	G7 Ülkeleri	2004-2018	Bilgi ve İletişim Teknolojileri, Ekonomik Büyüme, Enflasyon, İşsizlik	Panel Veri Analizi	Ekonomik büyüme, bilgi iletişim teknolojileri, enflasyon ve işsizlik arasında istatistiki olarak anlamlı ilişki
Erkekoğlu ve Uslu (2021)	20 Ülke ve Türkiye		Ar-Ge Harcamaları, Kişi Başına Düşen Milli Gelir	Panel Veri Analizi	Ar-Ge harcamalarından inovasyon seviyesine ve kişi başına düşen milli gelirden inovasyon seviyesine doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi
Ahmad ve Zheng (2022)	36 OECD Ülkesi	1990-2019	GSYİH, Ar-Ge Harcamaları ve Patentler	Genelleştirilmiş Momentler Tahmircisi (GMM)	Ar-Ge harcamaları ve ekonomik büyüme arasında pozitif ancak doğrusal olmayan ilişki
Eşiyok ve Demircioğlu (2022)	OECD Üyesi 20 Ülke	2019	Patent Başvuruları, Ar-Ge Harcamalarının GSYİH'daki payı, Toplam Araştırmacı Sayısı, Sabit Geniş Bant Abonelikleri, Güvenli İnternet Sunucuları, Bilgisayar, İletişim ve Diğer Hizmetler, İmalat Endüstrisinde Robot Yoğunluğu, Küresel Rekabet Endeksi, Kişi Başına GSYİH, İş Yapma Kolaylığı, Küresel İnovasyon Endeksi, Hükümet Yapay Zekâ Hazırlık Endeksi, Ağ Hazırlığı Endeksi, UNCTAD B2C E-Ticaret Endeksi	CRITIC ve CODAS Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi	Ülkelerin Endüstri 4.0 ve dijital dönüşüm performanslarını arasında belirgin farklar olduğu sonucuna erişilmiştir.
Koç ve Özcan (2023)	G7 Ülkeleri	1990-2019	GSYİH, Ar-Ge Harcaması, Patent Başvuru Sayısı, Bilgi İletişim Teknolojileri İhracatı	Panel Veri Analizi	Ar-Ge harcamaları ve patent başvuru sayılarının ekonomik büyüme üzerindeki etkisi pozitif
Mashadihasanlı ve Zülfikar (2023)	Seçilmiş 35 AB Ülkesi	2001-2021	Bilgi ve İletişim Teknolojileri	Genelleştirilmiş Momentler Yöntemi (GMM)	Bilgi iletişim teknolojileri ve ekonomik büyüme arasında istatistiki olarak anlamlı ve pozitif ilişki
Sojoodi ve Baghbanpour (2023)	30 Gelişmekte Olan ve 30 Gelişmiş Ülke	2007-2020	Yüksek Teknoloji İhracatı ve Ekonomik Büyüme	Panel Veri Analizi	Yüksek teknoloji ihracatı ve ekonomik büyüme arasında istatistiki olarak anlamlı etki yoktur.

2. YÖNTEM

2.1. Veri Seti ve Ekonometrik Model

Bu çalışmada Endüstri 4.0'ın, 2000-2021 yılları arasında G7 ülkelerindeki (Almanya, ABD, Fransa, İngiltere, İtalya, Japonya, Kanada) ekonomik büyüme üzerindeki etkileri incelenmektedir. Panel veri yöntemi ile analiz edilen bu çalışmada yıllık veriler kullanılmaktadır. Yapılan analizde Endüstri 4.0 göstergesini temsil etmesi amacıyla orta-yüksek teknoloji ürün ihracatı, Ar-Ge harcamaları ve bilgi iletişim teknoloji ürün ihracat verileri bağımsız değişken olarak kullanılırken, ekonomik büyümeyi temsilen ise Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (GDP) verileri bağımlı değişken olarak kullanılmaktadır. Analize ait veriler Dünya Bankasından sağlanmıştır.

Çalışmada kullanılan modelin gösterimi şu şekildedir:

$$gdpgrowth = f(mhte, rde, bithrct) \quad (1)$$

Modelin fonksiyonel gösteriminde; *gdpgrowth* ekonomik büyümeyi, *mhte* orta ve yüksek teknoloji ihracatını, *rde* Ar-Ge harcamalarını ve *bithrct* ise bilgi iletişim teknoloji ihracatını temsil etmektedir.

Modele dahil edilen değişkenlere ilişkin detaylı bilgiler aşağıdaki tabloda gösterilmektedir:

Tablo.3: Değişkenlere Ait Bilgiler

Değişkenlerin Sınıflandırılması	Değişkenin Notasyonu	Değişkenin Temsil Ettiği Faktör	Değişkenin Kaynağı
Bağımlı Değişken	gdpgrowth	Ekonomik büyüme (cari \$ cinsinden GSYİH verileri).	World Development Indicators – WB.
Bağımsız Değişkenler	mhte	Orta ve yüksek teknoloji ihracatı (sanayi ürünleri ihracat içerisindeki payı).	World Development Indicators – WB.
	rde	Ar-Ge harcamaları (GSYİH içerisindeki payı).	World Development Indicators – WB.
	bithrct	Bilgi iletişim teknoloji ihracatı (toplam ihracat içerisindeki payı).	World Development Indicators – WB.

Modelin denklemsel gösterimi ise aşağıdaki şekildedir:

$$gdpgrowth = \beta_0 + \beta_1 mhte_{it} + \beta_2 rde_{it} + \beta_3 bithrct_{it} + u_{it} \quad (2)$$

Ekonometrik modelde kullanılan değişkenlere ilişkin detaylı tanımlayıcı istatistikler aşağıdaki tabloda gösterilmektedir:

Tablo.4: Değişkenlere İlişkin Detaylı Tanımlayıcı İstatistikler

İstatistikler → Değişkenler ↓	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum	Gözlem Sayısı
	gdpgrowth	0.03324	0.08090	-0.17633	0.23563
mhte	0.66478	0.08854	0.48780	0.85388	154
rde	0.02267	0.00668	0.01003	0.03467	154
bithrct	0.06957	0.04863	0.01477	0.22702	154

Bu çalışmada amprik analiz için panel veri kullanılmaktadır. Panel veri analizi, veri kümesinin kesit ve zaman boyutunu dikkate alarak genişletilmesini sağlamaktadır. Bu genişleme serbestlik artması ve çoklu doğrusal bağlantı gibi sorunları ortadan kaldırmaktadır. Bu avantaj sayesinde ekonometrik analiz sonuçlarının daha etkili ve anlamlı olmasını mümkün kılmaktadır (Bresuch ve Pagan, 1980). Panel veri analizinde daha fazla bilgi sağlayarak değişkenler arasındaki doğrusal bağlantıyı azaltmak ve daha fazla serbestlik derecesi sunmak mümkün olmaktadır. Ayrıca, değişim dinamikleri daha ayrıntılı şekilde incelenebilmektedir (Baltagi, 2005; Pesaran, 2015).

Panel veri analizine geçilmeden önce yapılması gerekli çeşitli önsel testler bulunmaktadır. Bu önsel testleri (i) yatay kesit bağımlılığın olup olmadığının araştırılması, (ii) serilerin birim kök içerip içermediklerinin araştırılması ve (iii) eğim katsayısı heterojenliğinin olup olmadığının şeklinde açıklamak mümkündür.

2.1.1. Yatay Kesit Bağımlılığı

Yatay kesit bağımlılığı, paneli oluşturan yatay kesit birimleri arasındaki etkileşimi ifade eden birimler arası korelasyon olarak adlandırılmaktadır. Bu durum değişkenlerin ve modellerin hem yatay kesit birimleri arasında hem de genel olarak etkileşim gösterdiği bir durumu ifade etmektedir (Bulut, 2021: 67).

Panel veri analizi öncesinde serilerin birim kök içermemesi, doğru ve güvenli sonuçlar elde etmek için önemli olmaktadır. Bu nedenle, serilerin birim kök içerip içermediğini belirlemek için ilgili testler yapılmaktadır. Serilerin durağanlığını sınamak için kullanılan testler birinci ve ikinci nesil birim kök testleri olarak adlandırılan iki ayrı gruptan gelmektedir. Hangi nesil birim kök testinin seçileceğine karar vermeden önce serilerin yatay kesit bağımlılığı incelenmeli ve değerlendirilmelidir. Yatay kesit bağımlılığı tespit edilirse, ikinci nesil birim kök testleri tercih edilmeli aksi durumda ise birinci nesil birim kök testleri kullanılmalıdır. Yatay kesit bağımlılığını test etmek için ise Breusch Pagan (1980) LM testi ve Pesaran (2004) CD testi gibi yöntemlere başvurulabilir (Bucak ve Saygılı, 2022: 355-356).

2.1.1.1. Breusch ve Pagan (1980) Lagrange Multiplier (LM) Testi

Gözlemlenemeyen heterojenliği saptamak için kullanılan en bilinen test Breusch ve Pagan tarafından geliştirilmiştir. Başlangıçta hem bireysel hem de zaman etkileriyle başa çıkmak için geliştirilmiş olsa da yalnızca bireysel etkileri tespit eden versiyonu daha çok ilgi görmektedir. Breusch ve Pagan testinin en kullanışlı özelliği bir Lagrange çarpanı (LM) testi olmasıdır. Bu test parametre tahminlerini sadece sıfırın altında yani gözlenmemiş heterojenlik olmadığı durumda hesaplamayı gerektirmektedir. Bu özellik sayesinde hesaplama daha basitleştirildiği için pragmatik olarak daha kullanışlı hale gelmektedir. Sıfır altında gözlemlenmemiş heterojenlik varsayımı olmadığından hesaplama sorunu ortadan kalkmaktadır (Hahn ve Shi, 2021: 1-3).

3. BULGULAR

3.1. Pesaran (2004) CD Testi

Breusch ve Pagan sabit N terimli ve $T \rightarrow \infty$ olduğunda kullanılan bir Lagrange Multiplier (LM) önermişlerdir.

$$LM = T \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \hat{\rho}_{ij}^2 \quad (3)$$

Modelde $\hat{\rho}$ ikili korelasyonun örnek tahminini temsil etmektedir. LM istatistiği, asimptotik olarak ki-kare dağılıma ve H_0 altında $N(N-1)/2$ serbestlik derecesine sahiptir. Ancak $N > T$ olduğunda bu durum testin önemli boyut çarpıtma gösterme eğilimine girmektedir. Özellikle N büyüdükçe bu durumun daha da kötüleşme eğiliminde olduğu görülmektedir. Pesaran (2004) bu sorunu çözmek amacıyla alternatif olarak aşağıdaki modeli geliştirmiştir:

$$CD = \frac{\sqrt{2T}}{N(N-1)} \left(\sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \hat{\rho}_{ij} \right) \quad (4)$$

Bu test yatay kesit birimlerinin hata terimlerinin birbiriyle ilişkili olup olmadığını belirlemek için kullanılmaktadır. H_0 hipotezi yatay kesitler arasında ilişki olmadığını varsaymaktadır. Bu hipotez altında test istatistiği normal dağılım göstermektedir (Pesaran, 2004; Hoyos ve Sarafidis, 2006).

Hem değişkenler hem de model bazında incelenebilen ilişkin yatay kesit bağımlılığına ilişkin sonuçlar ise aşağıdaki tabloda görülmektedir:

Tablo.5: Değişkenler Bazında Yatay Kesit Bağımlılığı Sonuçları

Değişkenler	Breusch ve Pagan LM Test	Pesaran CD Test

	Test İstatistiği	Olasılık Değeri	Test İstatistiği	Olasılık Değeri
gdpgrowth	175.4132	0.0000	11.533	0.0000
mhte	133.6578	0.0000	7.76	0.0000
rde	229.0914	0.0000	6.842	0.0000
bithrct	396.8898	0.0000	19.9	0.0000
Model Bazında Yatay Kesit Bağımlılığı Sonuçları				
Breusch ve Pagan LM Test				
Test İstatistiği	154.6			
Olasılık Değeri	0.0000			
Pesaran CD Test				
Test İstatistiği	10.91			
Olasılık Değeri	0.0000			

Değişkenler ve model bazında kesit bağımlılığının olup olmadığının belirlenmesi amacıyla yapılan iki yatay kesit bağımlılık testinin de boş hipotezi “ H_0 = yatay kesit bağımlılığı yoktur” şeklindedir. Değişkenler ve model bazında Olasılık değerinin 0.05’den küçük çıkması nedeniyle ($p < 0.05$) boş hipotez reddedilmektedir. Dolayısıyla hem değişkenler hem de model bazında yatay kesit bağımlılığı olduğu sonucuna ulaşılmaktadır.

3.2. Pesaran (2007) CIPS Testi

Eş bütünleşme analizi uygulamasının yapılabilmesi için temel koşullarından biri birim kök testi gerekliliğidir. Genelleştirilmiş Dickey-Fuller (CADF) test birim kök testi, seriler arasında yatay kesit bağımlılığına izin vermekte ve hem $T > N$ hem de $N > T$ durumlarında anlamlı sonuçlar elde edebilmektedir. Pesaran (2007) tarafından geliştirilen bu testte öncelikli olarak paneldeki her bir birim için ayrı ayrı CADF testi yapılmakta daha sonra bu testten elde edilen sonuçların aritmetik ortalaması alınarak CIPS birim kök testi hesaplanmaktadır. CIPS testi panel geneli birim kök varlığını belirlemektedir (Pesaran, 2007; Tatoğlu, 2020).

Hem değişkenler hem de model bazında yatay kesit bağımlılığının olması nedeniyle serilere ilişkin durağanlık durumu incelenirken bahse konu bu yatay kesit bağımlılığı durumunu dikkate alan birim kök testlerinin kullanılması gerekmektedir. Aşağıdaki tabloda yatay kesit bağımlılığı durumunda kullanılabilen, diğer bir ifadeyle yatay kesit bağımlılığını dikkate alan Pesaran CIPS birim kök testine ilişkin sonuçlar görülmektedir:

Tablo.6: Pesaran CIPS Birim Kök Testi Sonuçları

Değişkenler	Pesaran CIPS Test Sabitli Opsiyonu	Pesaran CIPS Test Sabitli ve Trendli Opsiyonu
	(Hesaplanan CIPS İstatistiği)	(Hesaplanan CIPS İstatistiği)
Gdpgrowth	-4.394	-4.164
mhte	-2.084	-2.023
rde	-1.297	-2.224
bithrct	-2.911	-2.955

Δ gdpgrowth	-5.702	-5.692
Δ mhte	-3.827	-3.937
Δ rde	-3.772	-3.604
Δ bithrct	-3.905	-4.199

Not: Gecikme uzunluğunun belirlenmesinde t-statistic metodu kullanılmıştır. Modelde N=7 ve T=22'dir. N=7 ve T=22 için CIPS test sabitli opsiyonu kritik değerleri %10 için -2.21, %5 için -2.33 ve %1 için ise -2.57'dir. CIPS test sabitli ve trendli opsiyonu içinse kritik değerler %10 için -2.73, %5 için -2.86 ve %1 içinse -3.1'dir. Δ sembolü birinci farkı ifade etmektedir. Değişkenlerin birinci farklarının alındığı durumda da kritik CIPS istatistikleri değişmemektedir.

Pesaran CIPS testinde, hesaplanan CIPS test istatistiğinin mutlak değer şeklinde kritik CIPS istatistiğinden büyük olması durumunda serinin seviye durağan olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Yapılan CIPS testi neticesinde mhte ve rde değişkenlerinin hem sabitli hem de sabitli ve trendli modelde seviye durağan olmadıkları görülürken, bithrct değişkeninin ise sabitli ve trendli modelde seviye durağan olmadığı görülmüştür. Modele dahil edilen tüm değişkenlerin birinci farklarında %1 istatistiki anlamlılık seviyesinde dahi durağan oldukları sonucuna ulaşılmıştır.

3.3. Pesaran ve Yamagata (2008) Homojenlik Testi

Yatay kesit bağımlılığı ve serilerin durağanlıklarının araştırılması sonrasında yapılması gereken bir diğer önsel test ise eğim katsayılarının homojen mi yoksa heterojen mi olduklarının araştırılmasıdır. Pesaran ve Yamagata (2008) panel veri setlerinde eğim katsayıları homojenliğini belirlemek için modeldeki T ve N büyüklüklerine bakılmaksızın iki test geliştirmişlerdir. Bunlar Delta ($\tilde{\Delta}$) ve Düzeltmiş Delta ($\tilde{\Delta}_{DJ}$) test istatistiği olmaktadır. Hata terimleri, Delta testi en küçük kareler yöntemiyle test edilirken, Düzeltmiş Delta testinde sabit etkiler yöntemi kullanılmaktadır (Öztunç, 2023: 145-146). Aşağıda Pesaran ve Yamagata Eğim Katsayısı Homojenliği testi sonuçları görülmektedir:

Tablo.7: Pesaran ve Yamagata Eğim Katsayısı Homojenliği Testi Sonuçları

Testler	Test İstatistiği	Olasılık Değeri
Delta ($\tilde{\Delta}$)	-0.889	0.374
Düzeltmiş Delta ($\tilde{\Delta}_{DJ}$)	-1.011	0.312

İki test istatistiği türetilen Pesaran ve Yamagata Eğim Katsayısı Homojenliği testi için boş hipotez: "H₀=eğim katsayıları homojendir" şeklindedir. Olasılık değerlerinin 0.05'den büyük çıkması nedeniyle boş hipotez reddedilememekte ve eğim katsayılarının homojen oldukları sonucuna ulaşılmaktadır.

Yapılan önsel testler neticesinde modelde yatay kesit bağımlılığının olduğu, eğim katsayılarının homojen olduğu ve bazı değişkenlerin I(1) olduğu yani birim kök içerdikleri sonucuna ulaşılmıştır.

Birim kök testi neticesinde elde edilen bulgulardan hareketle değişkenlerin uzun dönemde birlikte hareket edip etmediklerinin araştırılması gerekmektedir. Bu araştırma Westerlund Panel Eşbütünleşme testi vasıtasıyla yapılacaktır (Şahin ve Aydın, 2017: 176).

Gt, Ga, Pt ve Pa olmak üzere dört adet test istatistiğinin türetildiği Westerlund Panel Eşbütünleşme Testi, yatay kesit bağımlılığı durumunu dikkate alan bir testtir (Tatoğlu, 2020: 204-205). Eğim katsayılarının homojen olması durumunda bu test tarafından türetilen Pt ve Pa istatistikleri dikkate alınmalıdır (Güngör, 2021: 199). Westerlund Panel Eşbütünleşme Testine ilişkin sonuçlar aşağıdaki tabloda görülmektedir:

Tablo.8: Westerlund Panel Eşbütünleşme Testi Sabitli Model Sonuçları

Test Edilen İlişki	Test İstatistiği	Olasılık Değeri	Dirençli Olasılık Değeri
gdpgrowth ve mhte			

P_t	-11.333	0.000	0.020
P_a	-18.049	0.000	0.020
Test Edilen İlişki	Test İstatistiği	Olasılık Değeri	Dirençli Olasılık Değeri
gdpgrowth ve rde			
P_t	-11.258	0.000	0.000
P_a	-19.160	0.000	0.000
Test Edilen İlişki	Test İstatistiği	Olasılık Değeri	Dirençli Olasılık Değeri
gdpgrowth ve bithrct			
P_t	-12.506	0.000	0.000
P_a	-28.623	0.000	0.000
Westerlund Panel Eşbütünleşme Testi Sabitli ve Trendli Model Sonuçları			
Test Edilen İlişki	Test İstatistiği	Olasılık Değeri	Dirençli Olasılık Değeri
gdpgrowth ve mhte			
P_t	-12.605	0.000	0.050
P_a	-21.861	0.000	0.060
Test Edilen İlişki	Test İstatistiği	Olasılık Değeri	Dirençli Olasılık Değeri
gdpgrowth ve rde			
P_t	-11.343	0.000	0.020
P_a	-20.232	0.000	0.070
Test Edilen İlişki	Test İstatistiği	Olasılık Değeri	Dirençli Olasılık Değeri
gdpgrowth ve bithrct			
P_t	-12.337	0.000	0.030
P_a	-27.357	0.000	0.010

Not: Dirençli olasılık değerleri 100 tekrarlı dağılımdan elde edilmiştir.

Westerlund Panel Eşbütünleşme Testinde test edilen ilişkiler için boş hipotez: “ H_0 =eşbütünleşik ilişki yoktur” şeklinde kurulmaktadır. Hem sabitli hem de sabitli trendli modeller için test edilen ilişkiler genel olarak değerlendirildiğinde bağımlı değişken ile açıklayıcı değişkenler arasında eşbütünleşik ilişki olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Değişkenler arasında eşbütünleşik ilişki olduğu sonucuna ulaşılması sonrasında bu ilişkilere ilişkin katsayıların tahmin edilmesi gerekmektedir.

3.4. Havuzlanmış Ortak Korelasyonlu Etkiler (CCEP) Tahmincisi

Pesaran (2006), bağımsız değişkenlerdeki uzun dönem katsayılarının tahmini için iki tahminci geliştirmiştir. İlki parametre homojenliği varsayımı altında yani paneldeki birimlere ait parametrelerinin aynı olduğu varsayıldığı durumdur. Bu varsayım durumunda CCEP tahmincisinin varyansı heterojen tahminci ile hesaplanabilmektedir. Heterojen tahminci,

parametre homojenliği varsayımını dikkate alan bir tahmincidir. İkincisi ise parametrelerin heterojen olduğu varsayımı altında Ortak İlişkili Etkiler Ortalama Grup (CEMG) tahmincisinin kullanıldığı tahminci türüdür (Özcan ve Özmen, 2018; Sevinç, 2020).

Yapılan önsel testler sonucunda modelde yatay kesit bağımlılığı olduğu ve model açısından eğim katsayılarının homojen olduğu bulgulanmıştır. İlave olarak değişkenler birinci farkında durağanlaşmış ve bu nedenle yapılan eşbütünleşme testinde değişkenlerde eşbütünleşik ilişki olduğu gözlemlenmiştir. Bu kapsamda kullanılacak katsayı tahmincisinin yatay kesit bağımlılığa ve değişkenlerdeki birim kökün varlığı durumlarında doğru sonuçlar verebilecek bir tahminci olması gerekliliği nedeniyle, değişkenlere ilişkin katsayı tahminleri türetilirken yatay kesit bağımlılığı ve eğim katsayısı homojenliği durumunda kullanılabilen Pesaran (2006) CCEP tahmincisi tercih edilmiştir (Güzel, 2018: 72). CCEP tahmincisi kullanılarak elde edilen eğim katsayıları aşağıdaki tabloda görülmektedir:

Tablo.9: CCEP Tahmincisi Kullanılarak Elde Edilen Eğim Katsayıları

Değişkenler	Katsayı Tahminleri	Standart Hata	z-değeri	Pr(> z)
mhte	0.45175	0.64581	0.6995	0.4842
rde	-16.44697	10.23382	-1.6071	0.1080
bithrct	0.29885	0.76567	0.3903	0.6963
Hata Kareleri Toplamı		1.0016		
Kalıntı Kareleri Toplamı		0.23868		
HPY R-squared (Holly, Pesaran ve Yamagata)		0.6894		

CCEP katsayı tahmincisinden elde edilen bulgular neticesinde açıklayıcı değişkenlerin bağımlı değişken ekonomik büyüme üzerinde istatistiki açıdan anlamlı etkileri görülmemektedir. Bu sonuçlar bize G7 ülkeleri için teknolojik gelişimi temsilen analizde kullanılan değişkenlerin ekonomik büyüme üzerinde herhangi bir anlamlı etkileri olmadığını göstermektedir.

4. TARTIŞMA

Bu çalışmada G7 ülkelerinin Endüstri 4.0 unsurları olan Ar-Ge harcamaları, orta ve yüksek düzey teknoloji ihracatı ile bilgi iletişim teknoloji ihracatının ekonomik büyüme üzerindeki etkisini incelenmektedir. Ancak analiz sonucu elde edilen bulgular, açıklayıcı değişkenlerin bağımlı değişken olan ekonomik büyüme üzerinde istatistiksel açıdan anlamlı bir etki yaratmadığını göstermektedir. Çalışmanın ampirik kısmını Ar-Ge özelinde destekler nitelikte olan Özcan ve Arı (2014), Ar-Ge harcamalarının OECD ülkelerinde büyüme üzerindeki etkilerini araştırdıkları çalışmalarında, Ar-Ge harcamalarının Japonya, Avusturya, İrlanda, Danimarka ve Japonya için büyüme sürecinde istatistiki olarak anlamlı katkıda bulunmadığını ifade etmektedirler. Ar-Ge özelinde ampirik sonucu destekleyen bir başka çalışma ise Tunalı (2016) çalışmasıdır. Ampirik analiz sonuçları 18 OECD ülkesinde toplam ve işletme Ar-Ge harcamalarının OECD ülkelerinde ekonomik büyüme üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olmadığını göstermektedir. Özcan ve Özer (2017) ve çalışmalarının sonuçları, elde ettiğimiz sonuçlarla benzerdir. Yine Kacprzyk ve Doryń (2017), teknolojik yenilik ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi inceledikleri çalışmalarında Ar-Ge harcamaları ile ekonomik büyüme arasında istatistiki olarak anlamlı bir ilişki olmadığı sonucuna ulaşmışlardır. Son olarak Sojoodi ve Baghbanpour (2023), 30 gelişmiş ülkeyi de kapsayan çalışmalarında yüksek teknoloji ihracatı ve ekonomik büyüme arasında istatistiki olarak anlamlı bir etki olmadığı sonucuna ulaşmaktadırlar. Endüstri 4.0 fikrinin ortaya çıkması ve ekonomilerin yapısal değişim modellerine yansması oldukça yeni sayılabilir. Dolayısıyla yapılan tüm analizler aslında kısa dönemli sayılabilir ve sonuçlar arasında çalışmada olduğu gibi istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunamayabilir.

Çalışmanın sınırlılığı Endüstri 4.0'ı refere edebilecek birçok değişkenin olabilmesidir. Seçilen bağımsız değişkenlerin ekonomik büyüme üzerinde farklı etkileri olabilir. Örneğin çalışmaların birçoğunda yüksek teknoloji ürünlerinin ihracatı bağımsız değişken olarak kullanılmış ve bu değişkenin ekonomik büyüme üzerindeki etkisinin olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Öztürk ve Alaşahan, 2019; Sarıdoğan, 2019; Kasa, 2020; Özkan ve Yılmaz, 2017). Bu makale çalışmasında ise literatürden farklılaşarak orta-yüksek teknolojilerin büyüme üzerindeki etkileri ele alınmıştır ve tersten bir teyitle, anlamlı olarak daha yüksek seviyede teknoloji üreten ülkelerde elbette daha alt teknoloji ürünlerin büyüme üzerindeki etkisi istatistiksel açıdan anlamsız bulunmuştur. Bu durum G7 ülkelerinin özel durumlarına bağlı olarak zaten yüksek düzeyde gelişmiş teknolojik altyapıya sahip olmaları dolayısıyla Endüstri 4.0'ın bu ülkelerde ekonomik büyüme üzerinde

spesifik başkaca unsurlar tarafından belirlendiğini işaret eder niteliktedir. Ülkelerin sahip oldukları teknolojik seviyeler, bu ülkelerin ekonomik büyüme için farklı dinamiklere sahip olmalarına yol açabilir.

Çalışmada ele alınan bir diğer bağımsız değişken ise Bilgi- İletişim Teknolojileridir. Daha açık bir ifade ile bir ülkenin toplam ihracatında bilişim ve iletişim teknolojilerine yönelik malların oranıdır. Dünya Bankası'na (2024) göre Bilgi-İletişim Teknolojileri telekomünikasyon, bilgisayarlar, yazılım, elektronik cihazlar ve ilgili bileşenlerin uluslararası ticaretini ifade eder. Çalışmada görülmektedir ki bu genel sınıflandırmanın büyüme üzerinde anlamlı bir etkisi yoktur. Bir ülkenin Bilgi iletişim teknolojilerini kullanma oranı ve bunların toplam ihracat içerisindeki payı farklı anlamlara gelmektedir. Ele alınan ülkeler gelişmiş ülkeler oldukları için bu yüksek teknoloji ürünlerini kullanabilirler; fakat bu kullanım üretim kapasitesi anlamına gelmeyeceği gibi ve bu üretimin ihracat edilmesi anlamına da gelmemektedir. Dünya bankası verilerine bakıldığında bu durumu destekler niteliktedir. Bir ülkenin toplam ihracatında bilişim ve iletişim teknolojilerine yönelik malların oranı kategorisinde yer alan ilk beş ülke, Hong Kong SAR, Çin, Filipinler, Cayman Adaları, Vietnam, Singapur'dur, hatta ilk on ülke içerisinde dahi çalışmada ele alınan ülkeler yer almamaktadır (Dünya Bankası, 2024).

SONUÇ

Endüstri 4.0'ın ekonomik büyüme üzerindeki etkisi değerlendirmek için daha spesifik ve derinlemesine analizlerin yapılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Çalışmanın sonucunda ilk politika önerisi, ülkelerin ekonomik kriterler bazında tasniflerinden ziyade teknolojik yakınlıkları bağlamında tasniflerini içeren analizlerin daha sağlıklı olacağına dairdir. Her ne kadar ele alınan ülkeler iktisadi olarak birbirine yakın ülkeler olsa da teknolojik seviye olarak birbirlerinden farklı olabilmektedirler. Bu nedenle analiz sonucunun daha sağlıklı olması için ülkelerin teknolojik seviyelerine göre gruplandırılması önemlidir. Fikrimizi destekler nitelikte olan Atik ve Ünlü' nün (2019) AB ülkeleri için yaptıkları çalışmadır. Söz konusu çalışma hangi AB ülkelerinin Endüstri 4.0 performansı açısından benzerlik gösterdiğini analiz etmektedir. Kümeleme analizinden elde edilen bulgulara göre, Avrupa Birliği ülkeleri Endüstri 4.0 açısından homojen bir görünüm sergilememekte olup; altı farklı performans düzeyine sahiptir. Eşiyok ve Demircioğlu (2022) araştırmalarında, OECD ülkelerinde Endüstri 4.0 ve dijital dönüşüm göstergelerini çok kriterli karar verme teknikleri ile değerlendirerek, ülke performanslarını karşılaştırmayı amaçlanmışlardır. Araştırma sonucuna göre ekonomik ve teknolojik olarak gelişmiş olan ülkelere ABD, Japonya, Güney Kore ve Almanya gibi ülkeler Endüstri 4.0 ve dijitalleşme göstergelerine göre üst sıralarda yer almıştır. Danimarka, İsveç, Fransa, İsviçre, Finlandiya, İngiltere gibi Avrupa'nın önde gelen ülkeleri ise ortalama seviyelerde yer almışlardır. Dolayısı ile çalışmada ele alınan G7 ülkeleri de Endüstri 4.0 ve teknoloji anlamında performans farklılığına sahip olabilir. Bunun yanında ikinci politika önerisi olarak Endüstri 4.0'ı daha iyi refere eden spesifik verilerin kullanılması gerekliliğidir. Endüstri 4.0 fikrinin ülkelerin yapısal dönüşüm politikalarında yer bulması ile bu konu ile alakalı analizlerin daha sağlıklı yapılabilmesi her şeyden önce Endüstri 4.0'ı ifade eden verilerin: siber fiziki sistemler, nesnelere interneti, big data, bulut sistemler, akıllı fabrikalar, artırılmış sanal gerçeklik, sistem entegrasyonları ve eklemeli üretimi yansıtan verilerin oluşturulmasına bağlıdır. Örneğin: Genişbant penetrasyonundaki artış Czernich vd.(2011). Buna ek olarak, çalışmada yer alan verilerden olan Ar-Ge harcamalarının hangi alanlarda yapıldığı özel sektör ya da devlet eliyle mi yapıldığı çalışmanın sonucunu değiştirebilir niteliktedir.

FROM INDUSTRY 4.0 TO ECONOMIC GROWTH: G7 COUNTRIES SITUATION ANALYSIS

1. INTRODUCTION

Industry 4.0 is the fourth industrial revolution that emerged with the integration of digital technologies into production processes, and this process has significant impacts on the economic growth of countries. Especially in developed economies, this transformation, which increases production efficiency and improves innovation potential, contributes to long-term growth by creating added value. The impact of Industry 4.0 differs depending on countries' technological capacity, human resources and innovation infrastructure. The G7 countries (Germany, the US, France, the UK, Italy, Japan and Canada) are among the pioneers of this revolution and have an important role in the global economy. This study aims to analyze the effects of Industry 4.0 on economic growth in G7 countries between 2000 and 2021 using panel data analysis. For this purpose, factors such as R&D expenditures, medium-high technology exports and exports of information and communication technology (ICT) products are considered as determinants of Industry 4.0. The findings of the study contribute to understanding the extent to which these countries have adapted to Industry 4.0 and the effects of technological transformation on growth.

2. METHODS

This study uses panel data analysis to assess the impact of Industry 4.0 on economic growth in G7 countries. The analysis is based on a dataset of annual data for the period 2000-2021. The share of R&D expenditures in GDP (rde), the share of exports of medium and high technology products in total exports (mhete) and the share of exports of information communication technology products in total exports (bithrct) are used as independent variables. GDP (gdpgrowth) data

representing economic growth is taken as the dependent variable. The model used in the study is expressed as follows. In the analysis process, the Westerlund cointegration test and the Pooled Common Correlated Effects (CCEP) estimator are used to examine the long-run relationships between variables. While the cointegration test tests whether there is a long-term relationship between the series, the CCEP estimator provides estimates by taking into account the co-dependence and cross-sectional correlation between variables in panel data analysis. In addition, the stationarity of the series is tested with unit root tests (ADF and PP tests).

3. RESULTS

As a result of the analysis, it is concluded that R&D expenditures, medium-high technology exports and exports of information communication technology products, which are the determinants of Industry 4.0, do not have a statistically significant effect on economic growth in G7 countries. These findings suggest that technological developments based on Industry 4.0 alone are insufficient to trigger economic growth. In particular, it is observed that countries' technological innovation capacities, human capital and institutional structures play a decisive role in this process. In addition, the impact on growth of the areas in which R&D expenditures are made and whether they are carried out with state support or by the private sector emerges as an important issue of debate. The findings emphasize that this process should be handled with a multidimensional approach.

4. DISCUSSION

The findings of the study reveal that the effects of Industry 4.0 on economic growth differ depending on countries' structural characteristics, innovation ecosystems and human resources. Although technological investments and digital transformation increase the long-term growth potential of countries, it is understood that not only technological infrastructure but also institutional reforms and education systems need to be invested in order for this process to be successful. For example, the analysis of EU countries by Atik and Ünlü (2019) found that there are significant differences between countries according to their technological development levels. This finding supports that there is heterogeneity in the technology and digitalization performance of G7 countries. For a deeper understanding of the effects of Industry 4.0, it is clear that data that better represent Industry 4.0 technologies such as cyber-physical systems, internet of things, big data, cloud computing and augmented reality should be included in the analysis.

CONCLUSION

In conclusion, this study analyzes the effects of Industry 4.0 on economic growth and reveals that technological transformation does not directly affect growth in G7 countries. These findings emphasize that in the process of transition to Industry 4.0, not only technological investments are not enough, but also institutional structures, education and human resources should be given importance. Moreover, it is recommended that policymakers should strengthen the innovation ecosystem and educational infrastructure in addition to technological investments in order to seize the opportunities offered by Industry 4.0. In this process, it is seen that countries should be classified and analyzed not only on economic criteria but also on technological proximity. The findings of the study contribute to a better understanding of the opportunities and challenges faced by countries in the transition to Industry 4.0.

KAYNAKÇA

- Acatech, (2013). Acatech: Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0. Final Report of the Industry 4.0 Working Group. Erişim: 18.12.2023, https://en.acatech.de/wp-content/uploads/sites/6/2018/03/Final_report_Industrie_4.0_accessible.pdf
- Ahmad, M. ve Zheng, J. (2022). The Cyclical And Nonlinear Impact of R&D and Innovation Activities on Economic Growth in OECD Economies: A New Perspective. *Journal of the Knowledge Economy*, 544-593.
- Alçın, S. (2016). Üretim İçin Yeni Bir İzlek: Sanayi 4.0. *Journal of Life Economics*, 3(2), 19-30.
- Aldakhil, A.M., Zaheer, A., Younas, S., Nassani, A.A., Abro, M.M.Q. ve Zaman, K. (2019). Efficiently managing green information and communication technologies, high-technology exports, and research and development expenditures: A case study. *Journal of Cleaner Production*, 240, 1-14.
- Ardor, H.N. ve Varlık, S. (2009). David Ricardo ile Joseph Alois Schumpeter'in Teknolojik Gelişme Kuramlarının Karşılaştırılması. *Hittit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 2(1), 15-40.
- Atik, H., ve Ünlü, F. (2019). Endüstri 4.0'a Dönüşüm Süreci: Avrupa Birliği Ülkelerinin Performansı Üzerine Ampirik Bir Analiz. *Marmara Üniversitesi Avrupa Araştırmaları Enstitüsü Avrupa Araştırmaları Dergisi*, 27(1), 145-168.
- Avrupa Birliği Başkanlığı (2018). Sosyal, Bölgesel ve Yenilikçi Politikalar Başkanlığı, Sanayi 4.0 Bilgi Notu, Ocak. Erişim: 20.12.2023, https://www.ab.gov.tr/siteimages/resimler/Sanayi%204_0%20web.pdf.
- Baltagi, B. H. (2005). *Econometric Analysis of Panel Data*, John Wiley & Sons Ltd, New York.
- Baesu, V., Albulescu, C. T., Farkas, Z.-B. ve Drăghici, A. (2015). Determinants of the high-tech sector innovation performance in the European Union: A review. *Procedia Technology*, 19, 371-378.
- Barreto, L., Amaral, A. ve Pereira, T. (2017). Industry 4.0 Implications in Logistics: An Overview. *Procedia Manufacturing*, 13, 1245-1252.

- Bresusch T. S., ve Pagan, A.R. (1980). The Lagrange Multiplier Test and Its Applications to Model Specification In Econometrics. *The Review of Economic Studies*, 47 (1), 239-253.
- Börü, M.K. ve Çelik, D. (2019). Türkiye’de Ar-Ge Harcamaları, İnovasyon ve Ekonomik Büyüme İlişkisi. *Research Studies Anatolia Journal*, 2(5), 196-206.
- Bucak, Ç. ve Saygılı, R.F. (2022). Türkiye’de ve G7 Ülkelerinde Dışa Açıklık ve Ekolojik Ayak İzi İlişkisi: Yatay Kesit Bağımlılığı Altında Panel Veri Analizi. *Anadolu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 23(3), 346-365.
- Bulut, A. E. (2021). Finansal İstikrar ve Gelişmekte Olan Ülkelere Yönelik Uluslararası Sermaye Hareketleri: Panel Veri Analizi. Yüksek Lisans Tezi. *Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü*, İzmir.
- Castells, M. (2005). *Ağ Toplumunun Yükselişi*, İstanbul: İstanbul Bilgi Üniversitesi Yayınları.
- EBSO (Ege Bölgesi Sanayi Odası) (2015). Sanayi 4.0 Uyum Sağlayamayan Kaybedecek, Ege Bölgesi Sanayi Odası Dergisi, 2015.
- Czernich, N., Falck, O., Kretschmer, T., ve Woessmann, L. (2011). Broadband İnfrastructure and Economic Growth. *The Economic Journal*, 121(552), 505-532.
- Çakır, R., Solak, E., ve Tan, S.S. (2015). Artırılmış Gerçeklik Teknolojisi ile İngilizce Kelime Öğretiminin Öğrenci Performansına Etkisi. *Gazi Eğitim Bilimleri Dergisi*, 1(1), 45-58.
- Çebişi, N. (2021). Bilgi İletişim Teknolojilerinin Ekonomik Büyüme Etkisi. *Uşak Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Fakültesi Dergisi*, 1(1), 46-56.
- Çütçü, İ., ve Bozan, T. (2019). İnovasyon ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: G7 Ülkeleri Üzerine Panel Veri Analizi. *Uluslararası Ekonomi İşletme ve Politika Dergisi*, 3(2), 289-310.
- Eğilmez, M. (2018). Endüstri 4.0. *Accounting and Financial History Research Journal*. (15), 264-271.
- Dağlı, İ. ve Ezanoğlu, Z. (2021). Ar-Ge, Patent ve İleri Teknoloji İhracatının Ekonomik Büyüme Etkileri: OECD Ülkeleri İçin Dinamik Panel Veri Analizi. *İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi*, 10(1).
- Dünya Bankası (2024). ICT Goods Exports. <https://data.worldbank.org/indicator/TX.VAL.ICTG.ZS.UN>. Erişim Tarihi: 22.09.2024.
- 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.
- Erdinç, Z. ve Aydınbaş, G. (2020). Yüksek Teknoloji Ürünleri İhracı ve Belirleyicileri: Panel Veri Analizi. *Social Mentality and Researcher Thinkers Journal*, 6(30), 496-507.
- Eşiyok, S., ve Demircioğlu, M. (2022). OECD Ülkelerinin Endüstri 4.0 Düzeylerinin Critic ve Cudas Yöntemleri ile Değerlendirilmesi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 21(43), 377-398.
- Gaberli, Ü. (2018). G7 Ülkelerinde Fikri Mülkiyet Haklarına Yapılan Ödemeler ve Ar-Ge Harcamalarının Yüksek Teknoloji İhracatına Etkisi: Bir Panel Veri Analizi. *Finans Politik & Ekonomik Yorumlar*, 67-82.
- Gedik, Y. (2021). Endüstri 4.0 Teknolojilerinin ve Endüstri 4.0’ın Üretim ve Tedarik Zinciri Kapsamındaki Etkileri: Teorik Bir Çerçeve. *Journal of Emerging Economies and Policy*, 6(1), 248-264.
- Gemici, Z. ve Öztürk, F. (2020). Ar-Ge’yi Doğru Yorumlamak: Bütüncül Ar-Ge, İnovasyon ve Teknoloji Yönetimi. *Makina Tasarım ve İmalat Dergisi*, 18(2), 82-91.
- Genç, M.C. ve Atasoy, Y. (2010). Ar-Ge Harcamaları ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Panel Veri Analizi. *The Journal of Knowledge Economy & Knowledge Management*, 5(2), 27-34.
- Götz, M. ve Jankowska, B. (2017). Clusters and Industry 4.0 – do they fit together? *European Planning Studies*, 25(9), 1633-1653.
- Güngör, B. (2021). Post-Sosyalist Ülkelerde Pro-Demokratik Dönüşüm ve Ekonomik Kalkınma: Panel ARDL Yaklaşımı. *Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 5(2), 188-206.
- Güzel, A.E. (2018). Kapitalist Kurumlar, Ekonomik Özgürlük ve Kalkınma. Yüksek Lisans Tezi. *Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Hatay.
- Hahn, J. ve Shi, R. (2021). Breusch and Pagans’s (1980) Test Revisited. *University of California at Riverside, Department of Economics*. 1-39.
- Hashem I. A. T., Yaqoob I., Anuar N. B., Mokhtar S., Gani A. ve Khan S. U. (2015). The Rise of “Big Data” on Cloud Computing: Review and Open Research Issues. *Information Systems*, 47, 98–115.
- Hoyos, R.E. ve Saradifis, V. (2006). Testing for Cross-Sectional Dependence in Panel-Data Models. *The Stata Journal*, 6(4), 482-496.
- İçli, G. (2001). Eğitim, İstihdam ve Teknoloji. *Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 9, 65-71.
- İçten, T. ve Bal, G. (2017). Artırılmış Gerçeklik Teknolojisi Üzerine Yapılan Akademik Çalışmaların İçerik Analizi. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 10(4), 401-415.
- Inekwe, J. N. (2015). The Contribution of R&D Expenditure to Economic Growth in Developing Economies. *Social Indicators Research*, 124(3), 727-745.
- Kagermann, H., Lukas, W. ve Wahlster, W., (2011). Industrie 4.0 –Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. Industriellen Revolution. *VDI Nachrichten*, 13(1), 2-3.
- Kabaklarlı, E., Duran, M.S. ve Üçler, Y.T. (2018). High-Technology Exports and Economic Growth: Panel Data Analysis For Selected OECD Countries. *Forum Scientiae Oeconomia*, 6(2), 47-60.

- Kacprzyk, A. ve Doryń, W. (2015). Innovation and Economic Growth in European Union Panel Data Analysis. *Lodz Economics Working Papers*, 3/2014, University of Lodz, Faculty of Economics and Sociology, June 2015.
- 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.
- Kesbiç, C. ve Şimşek, D. (2020). OECD Ülkelerinde İnovasyonun Ekonomik Büyüme Üzerinde Etkisi: Schumpeter Haklı Mı?. *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 38, 273-296.
- 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*, 5(1), 1-16.
- Lampropoulos, G., Siakas, K. ve Anastasiadis, T. (2019). Internet of Things in the Context of Industry 4.0: An Overview. *International Journal of Entrepreneurial Knowledge*, 7(1), 4-19.
- Li, J., Huang, Z. ve Wang, X. (2011). Notice of Retraction Countermeasure Research About Developing Internet of Things Economy: A Case of Hangzhou City. In 2011 International Conference on E-Business and E-Government (ICEE), Shanghai, China 2011, 1-5.
- Li, L. (2018). China's manufacturing locus in 2025: With a comparison of "Made-in-China 2025" and "Industry 4.0", *Technological Forecasting and Social Change*, 135, 66-74.
- Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, 6, 1-10.
- Mashadisanli, T. ve Zulfikar, H. (2023). The Impact of Information and Communication Technologies on Economic Growth: The Case of Selected European Countries. *Journal of Research in Economics*, 7(2), 131-150.
- Mohammed, M.M.A., Liu, P. ve Nie, G. (2022). Causality between Technological Innovation and Economic Growth: Evidence from the Economies of Developing Countries. *Sustainability*, 14(6), 1-39.
- Montes, J. O. (2016). Impacts of 3D Printing on the Development of New Business Models Technology and Service Complementarity in Industry 4.0. In 2016 IEEE European Technology and Engineering Management Summit (E-TEMS), 03-04 November 2016, Frankfurt am Main, Germany.
- Müller, J.M., Buliga, O. ve Voigt, K. (2018). Fortune Favors The Prepared: How SMEs Approach Business Model Innovations in Industry 4.0. *Technological Forecasting and Social Change*, 132, 2-17.
- NSF (2023). Cyber-Physical Systems. Erişim: 23.12.2023, https://www.nsf.gov/news/special_reports/cyber-physical/
- Nuroğlu, E. ve Nuroğlu, H.H. (2018). Endüstri 4.0'ı Türkiye'nin Dış Ticareti İçin Bir Fırsat Penceresine Dönüştürmek. *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 16, 329-346.
- Özcan, B. ve Arı, A. (2014). Araştırma-Geliştirme Harcamaları ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Panel Veri Analizi. *Maliye Dergisi*, 166(1), 39-55.
- Özcan, G. ve Özmen, İ. (2018). Küreselleşme Yükselen Ekonomilerde Gelir Dağılımını Etkiler Mi?. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 8(2), 35-52.
- Özcan, S. E. ve Özer, P. (2017). Ar-Ge Harcamaları ve Patent Başvuru Sayısının Ekonomik Büyüme Üzerindeki Etkileri: OECD Ülkeleri Üzerine Bir Uygulama. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 18(1), 15-28.
- Özdoğan, O. (2017). *Endüstri 4.0 Dördüncü Sanayi Devrimi ve Endüstriyel Dönüşümün Anahtarları*, İstanbul: Pusula Yayıncılık.
- Özkan, G., ve Yılmaz, H. (2017). Ar-Ge Harcamalarının Yüksek Teknoloji Ürün İhracatı ve Kişi Başı Gelir Üzerindeki Etkileri: 12 AB Ülkesi ve Türkiye İçin Uygulama (1996-2015). *Bilgi Ekonomisi ve Yönetimi Dergisi*, 12(1), 1-12.
- Öztunç, O. (2023). Ticari Bankalarda Kredilendirme Davranışının Belirleyicileri: Ampirik Bir İnceleme. Yüksek Lisans Tezi. *Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Zonguldak.
- Öztürk, S. ve Alaşahan, Y. (2019). Türkiye'de Endüstri 4.0 Uygulamalarının Değerlendirilmesi: Panel Veri Analizi. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 61, 1-18.
- Pesaran, M.H. (2004). General Diagnostic Tests for Cross Section Dependence in Panels. Institute for the Study of Labor, 1240.
- Pesaran, M. H. (2006). Estimation and inference in large heterogeneous panels with a multifactor error structure. *Econometrica*, 74(4), 967-1012.
- Pesaran, M. H. (2007). A Simple Panel Unit Root Test in the Presence of Cross-Section Dependence. *Journal of Applied Econometrics*, 22(2), 265-312.
- Pesaran, M.H. ve Yamagata, T. (2008). Testing slope homogeneity in large panels. *Journal of Econometrics*, 142(1), 50-93.
- Pesaran H. (2015). *Time Series and Panel Data Econometrics*. Oxford: Oxford University Press.
- Pradhan, R. P., Mallik, G., ve Bagchi, T. P. (2018). Information Communication Technology (ICT) Infrastructure And Economic Growth: A Causality Evinced by Cross-Country Panel Data. *IIMB Management Review*, 30(1), 91-103.
- Prause, G. (2015). Sustainable business models and structures for industry 4.0. *Journal of Security and Sustainability Issues*, 5(2), 159-169.
- Principles of Economics (2016). University of Minnesota Libraries Publishing edition. Erişim: 03.01.2024, <https://open.lib.umn.edu/principleseconomics/chapter/2-1-factors-of-production/>
- Rosenberg, N. ve Frischtak, R.C. (1991). Technological Innovation and Long Waves. *John Cunningham Wood*, 4, 223-246.

- Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Engel, P., Harnisch, M., ve Justus, J. (2015). Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. *Boston Consulting Group*, 1-14.
- Sandu, S. ve Ciocanel, B. (2014). Impact of R&D and Innovation on High-tech Export. *Procedia Economics and Finance*, 15(2014) 80 – 90.
- Samimi, A. J., ve Alerasoul, S. M. (2009), R&D and Economic Growth: New Evidence from Some Developing Countries. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3(4), 3464-3469.
- Sarıdoğan, H. Ö. (2019). Yüksek Teknoloji İhracatı, Bilişim Hizmetleri ve Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişki: Türkiye ve AB Ülkeleri İçin Bir Panel Veri Analizi. *Gaziantep Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 1(1), 19-30.
- Schmidt, R., Möhring, M., Härting, R. C, Reichstein, C., Neumaier, P. ve Jozinović P. (2015). Industry 4.0 potentials for creating smart products: Empirical research results. In W. Abramowitz (Ed.). *Springer International Publishing*, 16-27.
- Sevinç, A. (2020). Heterojen Birimler Arası Korelasyonlu Dinamik Panel Veri Modelleri: OECD Ülkelerinde Enerji Talebinin Modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi. *İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, İstanbul.
- Siemens (2016). Endüstri 4.0 Yolunda, İstanbul.
- Sojoodi, S., ve Baghbanpour, J. (2023). The Relationship Between High Tech Industries Exports and GDP Growth in the Selected Developing and Developed Countries. *Journal of the Knowledge Economy*, 15, 2073-2095.
- Soylu, A. (2018). Endüstri 4.0 ve Girişimcilikte Yeni Yaklaşımlar. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 32, 43-57.
- Strange, R. ve Zucchella, A. (2017). Industry 4.0, Global Value Chains and International Business. *Multinational Business Review*. 25(3), 174-184.
- Şahin, G. ve Aydın, H.İ. (2017). Türkiye Düzey-1 Bölgeleri için Yoksulluk Üzerine Bir Çözümleme. *Bitlis Eren Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 6(1), 163-180.
- Tanhan, E. ve Güvenek, B. (2022). Ar-Ge Harcamalarının Ekonomik Büyüme Etkisi: Türkiye. 5. Uluslararası Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Öğrenci Kongresi, 22-23 Aralık, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Taş, H. Y. (2018). Dördüncü Sanayi Devrimi'nin (Endüstri 4.0) Çalışma Hayatına ve İstihdama Muhtemel Etkileri. *Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi*, 9 (16), 1817-1836.
- Türkyılmaz, S. (2024). Endüstri 4.0 ve Endüstriyel Nesnelerin İnterneti: Uygulama, Fırsat ve Zorluklar-Literatür Taraması. *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 25(2), 153-172.
- Yerdelen Tatoğlu, F. (2020). *Panel Zaman Serileri Analizi Stata Uygulamalı*, İstanbul: Beta Basım Yayım Dağıtım.
- Tunalı, Ç. B. (2016). The Effect of Research and Development Spending on Economic Growth in OECD Countries. *Journal of Administrative Sciences*, 14(27), 59 – 79.
- Teyyare, E. (2013). Kriz, Kurumsal Kalite ve Ekonomik Büyüme İlişkisi. Doktora Tezi. *Bülent Ecevit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Zonguldak.
- TÜSİAD Raporu (2016). Türkiye'nin Küresel Rekabetçiliği İçin Bir Gereklilik Olarak Endüstri 4.0 – Gelişmekte Olan Ekonomi Perspektifi. TÜSİAD, Yayın No: TÜSİAD-T/2016-03/576.
- Yaman, H. ve Sungur, O. (2019). İleri Teknoloji İhracatı ve Büyüme İlişkisi: OECD Ülkelerine Yönelik Ekonometrik Analiz. *Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Sosyal Bilimler Üniversitesi Dergisi*, 20(1), 63-80.
- Vaidya, S., Ambad, P. ve Bhosle, S. (2018). Industry 4.0-A Glimpse. *Procedia Manufacturing*, 20, 233-238.
- Witkowski, K. (2017). Internet of things, big data, industry 4.0 – Innovative Solutions in Logistics and Supply Chains Management. *Procedia Engineering*, 182, 763–769.
- Yerdelen Tatoğlu, F. (2020). *Panel Zaman Serileri Analizi Stata Uygulamalı*, İstanbul: Beta Basım Yayım Dağıtım.
- Yıldırım, D. Ç. ve Kantarcı, T. (2018). Araştırma geliştirme harcamaları ve ekonomik büyüme ilişkisi üzerine bir panel veri analizi. *Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 6(5), 661-670.

KATKI ORANI / CONTRIBUTION RATE	AÇIKLAMA / EXPLANATION	KATKIDA BULUNANLAR / CONTRIBUTORS
Fikir veya Kavram / <i>Idea or Notion</i>	Araştırma hipotezini veya fikrini oluşturmak / <i>Form the research hypothesis or idea</i>	Tuğba ÖZSARI ŞİŞMAN Seda BAYRAKDAR
Tasarım / <i>Design</i>	Yöntemi, ölçeği ve deseni tasarlamak / <i>Designing method, scale and pattern</i>	Seda BAYRAKDAR
Veri Toplama ve İşleme / <i>Data Collecting and Processing</i>	Verileri toplamak, düzenlenmek ve raporlamak / <i>Collecting, organizing and reporting data</i>	Tuğba ÖZSARI ŞİŞMAN
Tartışma ve Yorum / <i>Discussion and Interpretation</i>	Bulguların değerlendirilmesinde ve sonuçlandırılmasında sorumluluk almak / <i>Taking responsibility in evaluating and finalizing the findings</i>	Seda BAYRAKDAR
Literatür Taraması / <i>Literature Review</i>	Çalışma için gerekli literatürü taramak / <i>Review the literature required for the study</i>	Tuğba ÖZSARI ŞİŞMAN