

Endüstri 4.0 ve Ekonomik Büyüme Arasında Panel Nedensellik İncelemesi

Panel Causality Analysis Between Industry 4.0 and Economic Growth:

ÖZET

Geçmişten günümüze dört endüstriyel devrim yaşanmıştır. Bu devrimler insan yaşamını ekonomik, sosyal, kültürel, eğitim, sağlık vb. birçok sektörde etkilemiştir. Bu devrimlerden dördüncüsü Endüstri 4.0 (Dördüncü Sanayi Devrimi) kavramıdır. Alman hükümeti bu devrim ile sanayi sektöründe rekabet edilebilirliğin artırılmasını amaçlamıştır. Birçok ülke tarafından uygulanan Endüstri 4.0 internet ve dijitalleşmenin etkisiyle tüm alanlarda bilgisayarların kullanılmasını, bilgilerin depolanmasını ve ticaretin kolaylaşmasını sağlamıştır. Dolayısıyla Endüstri 4.0'ın genel etkilerine bakıldığında verimliliğin, üretimin ve karlılığın artmasını sağlayarak ülkelerde daha yüksek GSYH seviyelerine ulaşılmasına neden olduğu tespit edilmektedir.

Bu çalışmanın amacı 2009-2022 yılları arasında E7 ülkelerinde Endüstri 4.0 göstergeleri ve ekonomik büyüme oranı arasındaki panel nedensel ilişkiler araştırılmaktadır. Panele ait nedensel ilişkileri analiz eden Emirmahmutoğlu ve Köse (2011) panel nedensellik test sonuçlarına göre AR-GE'den büyüme oranlarına doğru çift yönlü nedensellik ilişkisi tespit edilirken, Endüstri 4.0 değişkenlerinden bir diğeri olan yüksek teknoloji ürün ihracatı ve büyüme ilişkisinde ise büyümeden yüksek teknoloji ürün ihracatına doğru tek yönlü nedensellik ilişkisinin var olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Endüstri 4.0, Ekonomik Büyüme, Panel Nedensellik.

ABSTRACT

There have been four industrial revolutions from the past to the present. These revolutions have affected human life in many sectors such as economic, social, cultural, education, health, etc. The fourth of these revolutions, Industry 4.0 (Fourth Industrial Revolution), was first used in Germany. The German government aimed to increase competitiveness in the industrial sector with this revolution. Industry 4.0, which has been implemented by many countries, has enabled the use of computers in all areas, the storage of information and the facilitation of trade with the effect of the internet and digitalization. Therefore, looking at the general effects of Industry 4.0, it is determined that it leads to higher GDP levels in countries by increasing productivity, production and profitability.

The aim of this study is to investigate the panel causal relationships between Industry 4.0 indicators and economic growth rate in E7 countries between 2009 and 2022. According to the panel causality test results of Emirmahmutoğlu and Köse (2011), who analyzed the panel causal relationships, it was found that there is a bidirectional causality relationship from R&D to growth rates, while there is a unidirectional causality relationship from growth to high-tech product exports in the relationship between high-tech product exports and growth, which is another of the Industry 4.0 variables.

Keywords: Industry 4.0, Economic Growth, Panel Causality.

GİRİŞ

Endüstriyel devrimler ekonomik, sosyal ve kültürel yapıları etkileyerek şekillenmesini sağlamıştır. Dört büyük endüstriyel devrim yaşanmıştır. Bu devrimlerden dördüncüsü olan Endüstri 4.0 internet kullanımının yaygınlığının artması ve dijitalleşme özelliği ile etkisi daha geniş olan bir devrimdir.

Günay Koyuncu¹
Feyza Arıca²

How to Cite This Article

Koyuncu, G. & Arıca, F. (2024).
“Endüstri 4.0 ve Ekonomik
Büyüme Arasında Panel
Nedensellik İncelemesi”
International Social Sciences
Studies Journal, (e-ISSN:2587-
1587) Vol:10, Issue:11; pp:2018-
2025. DOI:
<https://doi.org/10.5281/zenodo.14218259>

Arrival: 29 July 2024

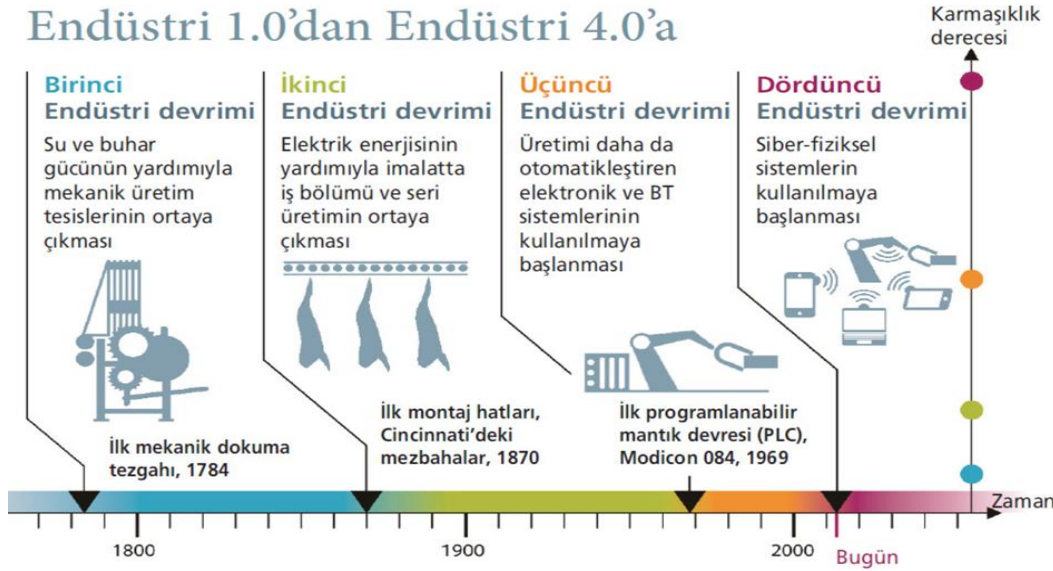
Published: 26 November 2024

Social Sciences Studies Journal is
licensed under a Creative
Commons Attribution-
NonCommercial 4.0 International
License.

¹Öğr. Gör. Dr., COMU, Çan MYO, Yönetim ve Organizasyon, Çanakkale, Türkiye. ORCID: 0000-0002-3626-744X

²Prof. Dr., COMU, BİGA İİBF, İktisat, Çanakkale, Türkiye, ORCID: 0000-0002-5552-347X

Endüstri 1.0'dan Endüstri 4.0'a



Şekil 1: Endüstri Devriminin Aşamaları

Kaynak: <http://www.capital.com.tr/images/Haberler/er2.jpg>, (erş:30.06.2024).

İktisadi anlamda yaşamsal döngüyü etkileyen iki değişim vardır. Bunlar tarım ve sanayi devrimleridir. Tarım devrimi ile insanlar yerleşik hayata geçmiştir. Bu devrim ile sosyo-ekonomik yapının değişimine, nüfusun artmasına, özel mülkiyetin oluşmasına, tarımda üretimin artmasına vb. gelişmeleri sağlamıştır.

1700 yılların ikinci yarından itibaren Sanayi devrimi İngiltere’de başlamıştır. Bu devrim ile beden gücü yerine makina kullanımı başlamıştır. Üretim artmış, mal ve hizmetlerin fiyatları düşmüştür.

1860’lı yıllardan itibaren II. Sanayi devriminin başladığı kabul edilmektedir. Bu devrimin belirgin özellikleri ucuz çelik, ulaşım ağlarının gelişmesi (demiryolu taşımacılığı) ve elektriğin kullanılmaya başlanmasıdır. İngiltere’den, Avrupa’ya ve ABD’ye yayılan sanayi devrimi ülkelerin zenginleşmesini ve refah artışı sağlamıştır. Birinci Sanayi devriminden başarıyla çıkan ülkeler Almanya ve ABD’dir. 1914’de 1. Dünya Savaşı yaşandığında Japonya, Rusya, Kanada ve İtalya birinci sanayi devrimine yeni başlar iken Türkiye, Çin, Hindistan ve İspanya’nın 1. Sanayi devrimine daha başlamadığı bilinmektedir (Özsoylu, 2017: 42).

III. Sanayi devrimi II. Dünya savaşı sonrasında başlamıştır. Endüstri 2.0 “Kitlesel Üretim” olarak, Endüstri 3.0 ise “Kitlesel Özelleştirilmiş Üretim” olarak adlandırılmıştır.

IV. Sanayi devrimi ise 2011 yılında Almanya’da resmi olarak Hanover Fuarında ele alınmıştır. Endüstri 4.0 temel olarak farklı teknolojilerin eş zamanlı olarak kullanılmasını amaçlamaktadır.

Bu çalışmanın ilk bölümünde Endüstri 4.0’ın kavramsal çerçevesi ele alınacaktır. İkinci bölümde Endüstri 4.0 ve büyüme ilişkisine, üçüncü bölümde literatür incelemesine yer verilecektir. Son bölümde ise yüksek teknoloji ürün ihracatı ve AR-GE harcamalarının GSYH içindeki payı şeklinde kullanılan iki ayrı Endüstri 4.0 değişkenlerinin ekonomik büyüme ile aralarındaki nedensel ilişkiler Emirmahmutoğlu ve Köse (2011) yaklaşımı ile araştırılacaktır.

ENDÜSTRİ 4.0 KAVRAMININ TEORİK ÇERÇEVESİ

Endüstri 4.0 kavramı ilk olarak 2011 yılında Kagermann tarafından kullanılmıştır. 2013 yılında Kagermann’ın açıklamaları temel alınarak *Alman Ulusal Bilim ve Mühendislik Akademisi* tarafından yayınlanan Endüstri 4.0 manifestosu yayınlanmıştır. Endüstri 4.0 kavramı yerine “*Kitlesel Kişiselleştirme*” kavramı da kullanılmıştır. Endüstri 4.0 pazarlamanın kişiselleştirilmesi yani üreticilerin, tüketicilerin talebine göre üretim yapması temeli üzerine kurulmuştur. 3B yazıcıların düşük maliyetler ile yüksek miktarda üretim yapmayı ve üretim aşamalarında müşterinin üretim aşamasında söz sahibi olmasına imkân vermektedir. Tüketicinin küresel anlamda bilgiyi her aşamada ulaşmasını ve müşteri hizmetlerinin gelişmesi amaçlanmıştır (Yıldırım, 2019:223).

Endüstri 4.0 her yazar tarafından farklı bir özelliği ele alınarak tanımlanmıştır. Alman Telekomünikasyon Derneği (BITCOM) tarafından yapılan araştırmalarda Endüstri 4.0’ın açıklana bilmesi adına 100’den fazla farklı tanım yapıldığı sonucuna ulaşılmıştır. Trappey vd tarafından Endüstri 4.0, 2016 yılında üretiminde üç uygulamanın (*bulut bilişim, nesnelerin interneti ve büyük veri*) birleştirilerek kullanılması olarak tanımlanmıştır (Koç ve Aslan, 2023: 3). Endüstri 4.0, bulut tabanlı üretim, akıllı üretim, internet ve destekleyici teknolojileri (gömülü sistemler ve fiziksel nesnelere) insan faktörüyle birleştirilmesi olarak tanımlanmıştır (Schumacher vd., 2016:162). Yoğunlukla makine ile üretim yapan firmaların yerine yeni teknolojileri üretimde kullanarak mevcut üretimde verimlilik ve

karlılığı artırmak olarak da açıklanmaktadır. Endüstri 4.0, internet, bulut bilişim, 3B yazıcıların yanında emeğinde eğitilmiş ve girişimci olarak üretime katılması gerektiğini savunan bir yaklaşımdır. Başka bir yaklaşım ise Endüstri 4.0'ı üretimde dijitalleşmeyi yaygın hale getirmek olarak tanımlamaktadır (TBMM Araştırma Hizmetleri Başkanlığı, 2014).

Endüstri 4.0 sürecinin işleyişi 11 farklı bileşenden oluşmaktadır. Bunlar (Sarıç ve Acar, 2023:1644-1647):

- ✓ Siber – Fiziksel Sistemler
- ✓ Nesnelerin İnterneti
- ✓ Akıllı Fabrikalar
- ✓ Hizmetlerin Dijitalleşmesi
- ✓ Bulut Bilgi İşlem
- ✓ Büyük Veri
- ✓ Yatay Entegrasyon
- ✓ Dikey Entegrasyon
- ✓ Yapay Zekâ
- ✓ Siber Güvenlik olarak sıralanmaktadır.

Yazar Kurnivian vd. tarafından Endüstri 4.0'nın işletmelere sağladığı avantajlar aşağıdaki gibi açıklanmıştır. Bunlar (Kurnivian,2019: 156):

Verimlilik: Üretim aşamasında daha az işgücü daha yoğun teknoloji kullanılmaktadır. Yüksek teknoloji kullanımı hızlı karar almayı, verimliliği ve kalitenin artmasını sağlamaktadır.

Çeviklik: Standardizasyonu yüksek tutup, üretim süreçlerinde esneklik sağlamaktadır

İnovasyon: Karışık malzemeler ile yeni ürün ve tasarım yaratma imkânı sağlar.

Müşteri Hizmetleri: Müşteriye doğru bilgi aktarımı ve müşteri odaklı hizmet sunmaktadır.

Maliyet Azaltma: Personel sayısını azaltarak, uzun vadede maliyetlerin düşürülmesi amaçlanmaktadır.

Rekabet Avantajları: Müşteri odaklı üretim, küresel pazarlara ulaşma imkânı, kaliteli ürün üretme imkânı sunmaktadır.

Endüstri 4.0 yukarıda sayılan avantajları sayesinde üretimi, verimliliği ve müşteri memnuniyetinin artmasını sağlamıştır. Aynı zamanda maliyetlerin düşmesini, kalitenin artmasını ve bilgeye daha hızlı ulaşımı sağlamaktadır.

Endüstri 4.0, fabrikalarda gelişmiş otomasyon ve sayısallaştırma işlemleri sayesinde üretimin daha esnek, düşük maliyetli, esnek, daha hızlı, kaliteli ve verimli hale getirmektedir. Üretim süreçlerinde mikroçip, sensor ve otonom sistemlerin uygulanmasına olanak sağlamaktadır. Endüstri 4.0 ülkeler arasında yaygınlaşması ekonomik, sosyal ve coğrafi olarak homojen değil ise dezavantajlı ülkeler bu durumdan olumsuz etkilenecektir (Ersoy, 2022:209).

ENDÜSTRİ 4.0 VE EKONOMİK BÜYÜME İLİŞKİSİ

Dünya ekonomik formu kurucusu Endüstri 4.0'ın ekonomik büyüme üzerindeki etkisini farklı görüşler üzerinden açıklamıştır. Bir kesim araştırmacı tarafından endüstri 4.0 devriminin sonlandığını ve etkisini yitirdiğini, diğer görüşte olanlar ise üretkenliğin artacağı ve ekonomik büyümede etkisinin pozitif yönde olacağını savunmaktadır. Üretkenliğin ileri teknoloji kullanarak az maliyetle üretim yapmaya bağlıdır (Öztürk ve Alaşahan, 2019: 4).

Endüstri 4.0 devrimini, maliyetlerin düşürüldüğü, üretim miktarının artırıldığı, fiyatların düştüğü, kişiye göre üretim yapılabildiği, stokların düşük seviyede tutulduğu, üretimde daha çok makinaların kullanılarak ucuz, kaliteli ve düşük maliyetli bir üretim yönetimi olarak da açıklanabilir.

Accenture tarafından 2016 yılında on iki ülkenin ele alındığı çalışmada yapay zekâ uygulamalarının ülke ekonomileri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Uzun vadede yapay zekâ kullanımı işgücü verimliliğini bu 12 ülkenin bazılarında 2035 yılına kadar %30'nun üstünde artışa neden olabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Bu artış çalışma sürelerinin artırılmasından değil yapay zekâların üretimde kullanılmasıyla sağlanmaktadır. Üretim faktörlerine beşinci bir faktör olarak yapay zekâ uygulamaları eklenmiştir. Ekonomiye yeni bir büyüme modeli olan "Yapay Zekâ Kaynaklı Büyüme (AI-Led Growth)" eklenmiştir (TBMM Araştırma Hizmetleri Başkanlığı).

Bu çalışmada E-7 ülkelerinin (Çin, Hindistan, Brezilya, Meksika, Endonezya, Rusya ve Türkiye) Endüstri 4.0 uygulamalarının ekonomik büyüme üzerindeki etkisi incelenmektedir. E-7 ülkeleri yüksek gelişme hızına sahip ülkeler olarak tanımlanmaktadır.

Çin, Endüstri 4.0 devriminde başarılı olan ülkelerden biridir. Bu başarısını üretimde “endüstriyel robot” kullanımının yaygınlığı ile açıklanmaktadır. Çin hükümetinin diğer ülkelere kıyasla üretim maliyetlerini düşürmesi, endüstriyel robot kullanımındaki artış ile bağ kurulmaktadır. Çin Hükümeti Endüstri 4.0 sürecinde endüstriyel robot kullanımındaki gelişmeler yanında, yapay zeka, nesnelerin interneti, 3B yazıcılar ve AR-GE alanlarında yüksek yatırımlar yapmaktadır. Çin, Endüstri 4.0 stratejisi olarak orta ve yüksek teknoloji sanayi üretimini artırarak yıllık ihracat miktarını artırmayı hedeflemektedir. Çin’in 2014-2019 yılları arasındaki dış ticaret verileri incelendiğinde orta ve yüksek teknoloji üretim yapan bir sanayi işletmesinin düşük teknoloji bir sanayi işletmesi karşılaştırıldığında orta ve yüksek teknoloji bir sanayi işletmesinin 2 kat daha fazla ihracat yaptığı sonucuna ulaşılmıştır (TBMM Araştırma Hizmetleri Başkanlığı).

Türkiye’nin gelişmiş ülke statüsüne girebilmesi ve küresel rekabet gücünü kaybetmemesi adına Endüstri 4.0 yaşamsal bir öneme sahiptir. BCG Global Üretim Maliyet Endeksi ülkelerin döviz kurları, enerji maliyetleri ve ücret verimliliğini inceleyerek oluşturulmaktadır. Her ülkenin birim üretim maliyetleri hesaplanmaktadır. ABD 100 birim, Almanya 121 birim, Türkiye ise 98 ortalama birim maliyetle üretim yapabilmektedir. Türkiye’nin bu avantajlı üretim maliyeti coğrafi konumu sayesinde taşıma faaliyetlerinde esnek olmasına ve maliyetlerin düşük kalmasını sağlamaktadır. Ayrıca düşük maliyetli işgücü birim üretim maliyetlerinin düşmesini sağlamaktadır. Türkiye bu avantajlarını kullanarak Endüstri 4.0 aşamasını tamamlar ise küresel piyasalarda söz hakkını artıracaktır. Bu avantajların yanında yapısal zorluklar ile de karşı karşıyadır. Bunlar ihracatın, ithalata bağımlı olması, katma değerli üretiminin payının düşük olması, kalifiye işgücünün yeterli olmaması, sanayideki işgücünün, hizmet sektörüne doğru kayması olarak sıralanabilir (TUSİAD, 2016: 33). Dolayısıyla Türkiye’nin değişen tüketici talepleri ve üretim aşamaları, maliyetleri düşürme, üretim miktarını artırma, küresel piyasada rekabet gücünü artırabilme vb. nedenlerle Endüstri 4.0’a hızlı bir şekilde uyum sağlaması gerekmektedir.

LİTERATÜR TARAMASI

Ülkelerin Endüstri 4.0 uygulamaları ve bu uygulamaların ekonomi üzerindeki etkisi birçok yazar tarafından incelenmiştir. Genel olarak, Endüstri 4.0 değişkeni yerine “AR-GE, geniş bant, ileri teknoloji ihracatı, bilgi iletişim teknolojileri, patent başvuru sayısı, beşeri sermaye, iletişim teknolojilerindeki altyapı ve iletişim maliyetleri” değişkenleri kullanılmıştır.

Koç ve Özcan (2023) çalışmalarında 1990-2019 yılları arasındaki veriler ele alınarak G-7 ülkelerinde Endüstri 4.0 uygulamalarının ekonomik büyüme üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışma sonucunda CCE ve AMG tahminlerince iki değişken arasındaki ilişki pozitif çıkmıştır.

Kasa (2020) çalışmasında, panel veri analizi uygulayarak “Sistem GMM” tahmincisi ile 16 ülkenin; “Ar-Ge harcamaları, yüksek teknoloji ürün ihracatları, beşeri sermaye endeksi, doğrudan yabancı sermaye yatırımları ve patent başvurularının” ekonomik büyümeye etkisini incelemiştir. Bu değişkenlerden yüksek teknoloji ihracatı ve doğrudan yabancı sermaye yatırımları ile ekonomik büyüme arasında pozitif bir ilişki olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Kaya ve Abay (2020) çalışmalarında Avrupa Birliği’ne üye en büyük ekonomiye sahip on ülke ile Türkiye arasında uyguladığı analizde 1996-2018 yıllarına ait verileri kullanmıştır. Çalışma sonucunda hükümetler tarafından gerçekleştirile Ar-Ge harcamalarının ekonomik büyüme üzerindeki etkisinin diğer değişkenlere göre daha fazla olduğu bulgusuna ulaşılmıştır.

Öztürk ve Alaşahan (2019) çalışmalarında Küresel İnovasyon Endeksinde yer alan dokuz ülke ile Türkiye’nin Endüstri 4.0 çalışmalarını incelemiştir. Çalışma sonucunda Türkiye’nin eğitim ve Ar-Ge çalışmalarına ağırlık vererek teknoloji ihracatını ve yüksek teknoloji üretim gerçekleştirebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Pradhan vd. (2018) çalışmalarında 2001-2012 dönemleri arasında G-20 ülkelerini ele alarak panel eş bütünleşme analizi kullanmıştır. Bilgi teknolojilerindeki gelişmenin ekonomik büyüme üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışma sonucunda, bilgi iletişim teknolojilerindeki gelişmelerin kişi başına düşen GSYİH’nın artmasına neden olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Özkan ve Yılmaz (2017) çalışmalarında 1996-2015 yılları arasındaki Türkiye ve AB’ye üye 12 ülke ele alınarak yapılan analizde AR-GE çalışmalarının büyüme ve yüksek teknoloji ürün ihracatını pozitif yönde etkilediği bulgusu ortaya konmuştur.

Amaghous vd. (2013) çalışmalarında OECD ülkeleri ele alarak girişimciliğin ve yeniliğin ekonomik büyümeyi pozitif yönde etkilediğine vurgu yapmıştır.

Ng vd. (2013) çalışmalarında, Güneydoğu Asya Ülkeleri Birliği'nin (ASEAN) 10 ülkesinden oluşan panelde geniş bant yaygınlığının ekonomik büyüme üzerindeki etkisini 1998-2011 yılları arasında incelemiştir. Geniş bant dağıtımının ekonomik büyüme ile pozitif bir ilişkisi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Gülmez ve Yardımcıoğlu (2012) çalışmalarında 21 OECD ülkesini ele alarak büyüme ile AR-GE harcamaları arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Çalışma sonucunda, incelenen ülkelerde uzun dönemde AR-GE harcamalarında %1'lik artışın ekonomik büyüme ortalaması %0,77'lik artışa neden olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Czernich vd. (2011) çalışmalarında 1996-2007 yılları arasında OECD ülkeleri verileri ele alınarak geniş bant altyapısının ekonomik büyüme üzerindeki etkisini panel veri analizi ile tahmin etmiştir. Bulgulara göre, Geniş bant penetrasyonundaki %10 puanlık artışın kişi başına düşen yıllık büyüme % 0,9-1,5 puan artırdığına vurgu yapılmıştır.

ARAŞTIRMA METODOLOJİSİ

Veri Seti ve Ekonometrik Model

Çalışmada E7 ülkeleri kapsamında endüstri 4.0 değişkenleri ile ekonomik büyüme arasındaki nedensel ilişkiler 2009-2022 döneminde panel veri tekniği ile araştırılmıştır.

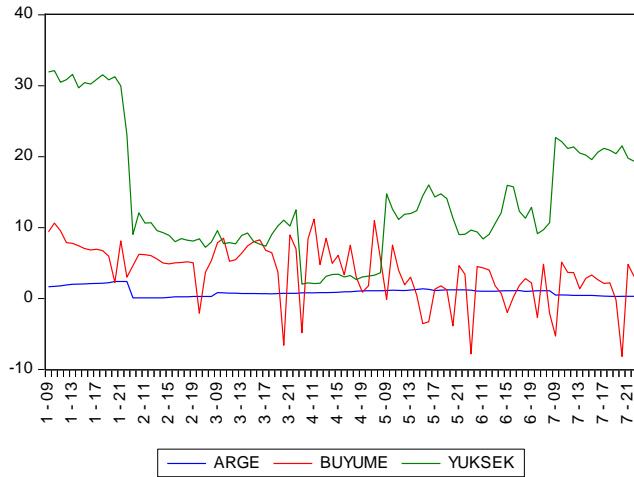
Çalışmada kullanılan değişkenlerin tanımları ve veri kaynakları aşağıda belirtilmiştir.

BUYUME: Çalışmada buyume değişkeni, kişi başına düşen Gayri Safi Yurtiçi Hasıla'nın logaritması alınarak hesaplanmıştır ve BUYUME ile temsil edilmiştir. Veri seti Dünya Bankası'nın Dünya Kalkınma Göstergeleri veri tabanından temin edilmiştir.

Endüstri 4.0: Endüstri 4.0 değişkenleri olarak çalışmada yüksek teknolojlili ürün ihracatı ile AR-GE harcamalarının GSYİH içindeki payları kullanılmıştır: **Yüksek teknolojlili ürün ihracatı:** Yüksek teknolojlili ürünlerin imalat sanayi içindeki payı YUKSEK değişkeni ile temsil edilmektedir.

Çalışmada kullanılan veriler Dünya Kalkınma Göstergeleri veri tabanından temin edilmiştir. **AR-GE:** AR-GE harcamasının GSYH içindeki payı kullanılmıştır. Değişken, Dünya Kalkınma Göstergeleri veri tabanından temin edilmiştir.

Analizde kullanılan BUYUME, ARGE ve YUKSEK değişkenlerinin grafik gösterimleri Şekil 2'de sunulmuştur.



Şekil 2: Çalışmada Kullanılan Değişkenlerin Zaman Serisi Grafikleri

Ekonometrik Metodoloji ve Bulgular

Çalışmada serilerin durağanlıkları araştırılmadan önce yatay kesit bağımlılığının tespiti için Breusch-Pagan (1980)'in Lagrange Multiplier (LM) testinden yararlanılmıştır. Test istatistiği aşağıdaki gibidir:

$$y_{it} = \alpha_i + \beta_i' .x_{it} + \mu_{it}$$

Boşluk ve alternatif hipotezler:

$$H_0 : Cov(\mu_{it}, \mu_{jt}) = 0 \quad \text{bütün } t \text{ ler için } i \neq j$$

$$H_1 : Cov(\mu_{it}, \mu_{jt}) \neq 0 \quad i \neq j$$

Yukarıda $\hat{\rho}_{ij}$, temel regresyon denkleminin EKK yöntemi aracılığıyla tahmin edilmesi sonucu elde edilen korelasyon katsayılarını temsil etmektedir. LM test istatistiği:

$$LM_{BP} = T \cdot \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \hat{\rho}_{ij}^2 \sim \chi_{N \cdot (N-1)/2}^2$$

Serilerin durağanlık özellikleri Hadri ve Kurozumi (2012)'nin panel durağanlık testi aracılığıyla analiz edilmiştir. Panel durağanlık testi sıfır hipotezi altında serilerin durağan olduğunu, alternatif hipotez ise serilerin birim kök içerdiğini ifade etmektedir.

Hadri-Kurozumi (2012) yatay kesit bağımlılığının varlığında Z_A^{SPC} istatistiğini kullanır ve istatistik aşağıdaki gibidir:

$$Z_A^{SPC} = \frac{1}{\hat{\sigma}_{iSPC}^2 \cdot T^2} \sum_{t=1}^T (S_{it}^w)^2$$

Analiz Sonuçları

Breusch ve Pagan (1980)'in test sonuçlarının gösterildiği Tablo 1'e göre her üç seri için hesaplanan LMBP'nin olasılık değeri 0.01 anlamlılık düzeyinden daha küçük olduğu için yatay kesit bağımsızlığı reddedilmektedir.

Tablo 1: Yatay Kesit Bağımlılığı Testi Sonuçları

Değişken	LM _{BP} Test İstatistiği (Olasılık Değeri)
ARGE	98.27*** (0.00)
YUKSEK	70.14*** (0.00)
BUYUME	91.29*** (0.00)
BUYUME	91.29*** (0.00)

*** %1 anlamlılık düzeyinde sıfır hipotezinin reddedildiğini göstermektedir.

Bu durumda serilerin birim kök özellikleri araştırılırken yatay kesit bağımlılığını dikkate alan ikinci kuşak sınamalardan Hadri-Kurozumi (2012) yaklaşımından yararlanılmıştır.

Tablo 2 Hadri-Kurozumi (2012) durağanlık test sonuçlarını göstermektedir. Bulgulara göre kullanılan tüm değişkenler 0.01 anlamlılık seviyesinde durağan değişkenlerdir.

Tablo 2: Durağanlık Testi Sonuçları

Değişken	ZA-Spac Test İstatistiği	p-Olasılık değeri
ARGE	-1.66	0.95
YUKSEK	-1.21	0.88
BUYUME	-1.16	0.87

Çalışmada söz konusu değişkenler arasındaki nedensel ilişkiler analizlerinde Granger nedenselliği yaklaşımını Toda-Yamamoto yaklaşımını ekleyerek genişleten Emirmahmutoğlu ve Köse (2011)'nin prosedürü aracılığıyla araştırılmıştır.

Yatay kesit bağımlılığını dikkate alan yaklaşımda değişkenlerin durağan ya da eşbütünleşik olup olmadığı ile ilgilenilmez (Ağır ve Tıraş, 2018: 1564).

Tablo 3: Emirmahmutoğlu ve Köse (2011) Bootstrap Nedensellik Test Sonuçları

Panel sonuçlar	Fisher ist.	p-değeri
BUYUME=>ARGE	106.82***	0.00
ARGE=>BUYUME	22.61*	0.06
BUYUME=>YUKSEK	55.77***	0.00
YUKSEK=>BUYUME	16.71	0.27

Emirmahmutoğlu ve Köse (2011) yaklaşımına ait bireysel panel nedensellik test sonuçları Tablo 3'te yer almaktadır. Tablo 3'te yer alan bulgulara göre bir bütün olarak paneli oluşturan ülkeler için % 1 anlamlılık seviyesinde Endüstri 4.0 değişkenlerinden ARGE ve BUYUME arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir. Endüstri 4.0 değişkenlerinden diğeri YUKSEK değişkeni ile BUYUME arasındaki nedensel ilişkiler incelendiğinde BUYUME'nin YUKSEK'in nedeni olmadığını savunan hipotez 010 anlamlılık seviyesinde reddedilmektedir.

SONUÇ

Endüstri 4.0'ın tamamlanması tüketiciye özel üretim ile ürün talebin artmasına, üretim miktarında verimliliğe, maliyetlerin düşmesini ve küresel piyasalarda daha yüksek bir pay sahibi olmayı sağlayacaktır. Küresel piyasalarda söz sahibi olmak gelir artışına ve ekonomik büyümeyi sağlayacaktır. İstihdam alanında beyaz yakalı çalışanların yetkinliklerin değişmesine, otomasyon sistemi ile daha kaliteli ve verimli üretim yapılması sağlanacaktır. Maliyetlerin düşmesi, müşteri memnuniyetindeki artış, esneklik, teknolojik gelişmeler piyasalarda olumlu etki ederek ulusal ve uluslararası piyasaların canlanmasını sağlayacaktır.

Bu çalışmada 2009-2022 yılları arasında E7 ülkelerinde Endüstri 4.0 göstergeleri ve ekonomik büyüme oranı arasındaki panel nedensel ilişkiler araştırılmaktadır. Burada E7, sermaye piyasaları hızla büyüyen ve ekonomik büyüklük açısından son zamanlarda önem arz eden "Gelişmekte Olan Yedi Ülke" kavramını temsil etmektedir. Bu ülkeler Çin, Hindistan, Rusya, Brezilya, Meksika, Endonezya ve Türkiye'dir. Panele ait nedensel ilişkileri analiz eden Emirmahmutoglu ve Köse (2011) panel nedensellik test sonuçlarına göre AR-GE'den büyüme oranlarına doğru çift yönlü nedensellik ilişkisi tespit edilirken, Endüstri 4.0 değişkenlerinden bir diğeri olan yüksek teknoloji ürün ihracatı ve büyüme ilişkisinde ise büyümeden yüksek teknoloji ürün ihracatına doğru tek yönlü nedensellik ilişkisinin var olduğu tespit edilmiştir.

SolAbility Sustainable Intelligence isimli uluslararası düşünce kuruluşu "Küresel Sürdürülebilir Rekabet Edebilirlik Endeksini (GSCI)" ülkelerin yenilikçilik, gelişmişlik, sosyal sorumluluk konularına bağlı kalarak ülke büyüme oranlarına ve ülke performanslarını yayınlamaktadır. 2023 yılı için yayınlanan raporda Türkiye 63, Çin 31, Brezilya 65, Hindistan 121. sırada yer almaktadır. En yüksek rekabet edebilme gücü yüksek olan ülkeler İskandinav ülkeleridir. Listede ilk sırada İsveç yer almaktadır. Türkiye'nin sıralamasına bakıldığında geride yer aldığı görülmektedir. Üst sıralarda yer alabilmesi için Endüstri 4.0 devrimini tamamlamak adına üretimde teknoloji kullanımı artırması, işgücünde gerekli eğitim yatırımlarını sağlamalı, kamu ve özel sektörün paralel ilerlemesi, AR-GE yatırımlarını artırmalı, internet altyapısını genişletmeli, siber güvenlik sistemleri geliştirilmeli ve her sektörde dijitalleşme yatırımlarının tamamlanması gerekmektedir.

KAYNAKÇA

- Amaghous, J., & Ibourk, A. (2013). Entrepreneurial Activities, Innovation And Economic Growth: The Role Of Cyclical Factors Evidence From Oecd Countries For The Period 2001-2009. *International Business Research*, 153-165.
- Breusch, T., ve Pagan, A. (1980). The LM Test and Its Applications To Model Specification In Econometrics. *Review of Economic Studies*, 47. 239-254.
- Czernich, N., Falck, O., Kretschmer, T., & Woessmann, L. (2011). *Broadband Infrastructure and Economic Growth. The Economic Journal*, 121(552), 505-532.
- Emirmahmutoglu, F., & Köse, N. (2011). Testing for Granger Causality in Heterogeneous Mixed Panels. *Economic Modelling*, 28, 870-876.
- Ersoy, Y. (2022). The Advantages and Barriers In Implementing of Industry 4.0 and Key Features of Industry 4.0. *The Journal of International Scientific Researches*, 7(3), 207-214.
- Gülmez, A., & Yardımcıoğlu, F. (2012). Oecd Ülkelerinde Ar-Ge Harcamaları Ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Panel Eşbütünleşme Ve Panel Nedensellik Analizi (1990-2010). *Maliye Dergisi*, (163), 335-353.
- Hadri, K., ve Kurozumi, E., (2012). "A Simple Panel Stationarity Test in the Presence of Serial Correlation and a Common Factor", *Economics Letters*, 115, 31-34.
- 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.
- Kaya, İ. & Abay, M. (2020). Türkiye ile Avrupa Birliği Üyesi 10 Ekonominin Arge-Büyüme İlişkisi: Panel Veri Analizi. *Anadolu Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 21 (2), 81- 95.
- Koç, Ş. ve Özcan, G. (2023). Endüstri 4.0'ın Ekonomik Büyüme Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi: G7 Ülkeleri İçin Panel Veri Analizi. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi*, 4(2): 1-16.
- Kurniawan, A., Komara, B.D. & Setiawan, H.C.B. (2019). Preparation and Challenges of Industry 5.0 for Small and Medium Enterprises in Indonesia. *Economics and Business*, 2 (2): 155-160.
- Özkan, G., & 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.

- Özsoylu, Ahmet F.(2017). Endüstri 4.0, Çukurova Ün. *İİBF Dergisi*, Cilt:21, Sayı:1, ss: 41-64.
- Öztürk, S. & Alaşahan, Y. (2019). Türkiye Endüstri 4.0 Uygulamalarının Değerlendirmesi: Panel Veri Analizi. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (61), 1-18.
- Pradhan, R. P., Mallik, G., & Bagchi, T. P. (2018). Information Communication Technology (ICT) İnfrastructure And Economic Growth: A Causality Evinced by Cross-Country Panel Data. *IIMB Management Review*, 30(1), 91-103.
- Sarnıç, A. Ve Acar, S. (2023). Türkiye’de Endüstri 4.0 Literatüründe Gerçekleşen Gelişmeler: Lisansüstü Tezlere Yönelik Bir İçerik Analizi. *Uluslararası Sosyal ve Beşeri Bilimler Araştırma Dergisi*, 10(97),1641-1656.
- Schumacher, A., Erol, S., & Sihni, W. (2016). A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises. *Procedia Cirp*, 52, 161-166.
- TBMM Araştırma Hizmetleri Başkanlığı, (2014), Endüstri 4.0 ve Kavramsal Çerçeve ve Ülke Uygulamaları, <https://cdn.tbmm.gov.tr/TbmmWeb/Yayinlar/Dosya/4bc0f960-acbf-4abc-a366-2271f6cca948.pdf>, (erş:01.07.2024).
- Trappey, A. J., Trappey, C. V., Govindarajan, U. H., Chuang, A. C., & Sun, J. J. (2017). A Review of Essential Standards and Patent Landscapes for The Internet of Things: A Key Enabler for Industry 4.0. *Advanced Engineering Informatics*, 33, 208-229
- TUSİAD (2016) Türkiye’nin Küresel Rekabetçiliği İçin Bir Gereklilik Olarak Sanayi 4.0: Gelişmekte Olan Ülke Perspektifi, <https://tusiad.org/tr/yayinlar/raporlar/item/8671-turkiyenin-sanayi-40-donusumu> (erş:02.07.2024).
- World Bank, <https://www.worldbank.org/en/home>. (erş:21.07.2024).
- Yıldırım, Y. (2019). Endüstri 4.0’a Kapsamlı Bir Bakış: 2011’den Bugüne. *Bilgi Dünyası*, 20(2), 217-249.