

ENDÜSTRİ 4.0 TEKNOLOJİK DÖNÜŞÜM SÜRECİNDE SEÇİLMİŞ ÜLKELER ve TÜRKİYE’NİN DURUMU: AMPİRİK BİR ANALİZ

Hatice ERKEKOĞLU¹, Hüseyin USLU²

ÖZET

Amaç: Endüstri 4.0 teknolojik dönüşüm sürecinde seçilmiş ülkeler ve Türkiye’nin durumunu, teorik ve uygulamalı olarak incelemeyi amaçlamaktadır.

Yöntem: Durağanlık analizleri; LLC, IPS, Fisher ADF ve Fisher PP panel birim kök testleriyle, panel regresyon analizleri; havuzlanmış panel veri yöntemi, sabit etkiler yöntemi ve rassal etkiler yöntemiyle, nedensellik analizleri ise Granger Panel Nedensellik testiyle gerçekleştirilmiştir.

Bulgular: Hausman sınavında; rassal etkiler yöntemi ile elde edilen sonuçların daha geçerli olduğu belirlenmiştir. Analize dâhil edilen 21 ülkede, 2013-2019 döneminde; RDE %1 arttığında, ülkelerin GII seviyesi %0,05 oranında azalmıştır. RDP %1 arttığında, ülkelerin GII seviyesi %0,06 oranında artmıştır. GDPPC %1 arttığında ülkelerin GII seviyesi %0,09 oranında artmıştır. HDI %1 arttığında ise ülkelerin GII seviyeleri %0,99 oranında artmıştır. Panel Granger Nedensellik testi sonucunda; RDE, HDI ve GDPPC’den GII’ye doğru tek yönlü, RDP ile GII arasında karşılıklı, HDI’den RDP’ye doğru tek yönlü nedensellik ilişkileri tespit edilmiştir.

Özgünlük: Endüstri 4.0 ile ilgili yapılan bu ampirik çalışmanın ele aldığı konu, konuyu irdeleme biçimi ve gerçekleştirilen detaylı ampirik analizler ile yapılan çalışmalardan farklılaşması dolayısıyla literatüre bir katkı sağlaması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Endüstri 4.0, İnovasyon Seviyesi, Ar-Ge Harcamaları, Ar-Ge Personeli, İnsani Gelişmişlik Seviyesi.

JEL Kodları: L16, O11, O32.

THE STATUS of SELECTED COUNTRIES and TURKEY in the INDUSTRY 4.0 TECHNOLOGICAL TRANSFORMATION PROCESS: AN EMPIRICAL ANALYSIS

ABSTRACT

Purpose: Industry 4.0 aims to examine the situation of selected countries and Turkey in the technological transformation process, theoretically and practically.

Methodology: Stationarity analyzes; LLC, IPS, Fisher ADF and Fisher PP panel unit root tests with, panel regression analysis; pooled panel data method, fixed effects method and random effects method, causality analyses were performed using the Granger panel causality test.

Findings: In the Hausa test, it was determined that the results obtained by the random effects method were more valid. In the 21 countries included in the analysis, the GII level of the countries decreased by 0,05% in the period 2013-2019, when the RDE increased by 1%. When the RDP increased by 1%, the GII of the countries increased by 0,06%. The GII of countries increased by 0,09% when the GDPPC increased by 1%. While HDI increased by 1%, countries ' GII levels increased by 0,99%. As a result of the Panel Granger Causality test; One-way causality relationships from RDE, HDI and GDPPC to GII, reciprocal causality between RDP and GII, and one-way causality from HDI to RDP were determined.

Originality: It is expected that this empirical study on Industry 4.0 will make a contribution to the literature, as it differs from the studies carried out with the subject, the way it examines the subject and the detailed empirical analyzes carried out.

Keywords: Industry 4.0, Innovation Level, R&D Expenditures, R&D Personnel, Human Development Level.

JEL Codes: L16, O11, O32.

¹ Prof. Dr., Kayseri Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Uluslararası Ticaret ve Lojistik Bölümü, haticeer@kayseri.edu.tr, ORCID: 0000-0002-9021-5843

² Bilim Uzmanı, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, huseyinusu80@osmaniye.edu.tr ORCID: 0000-0002-2642-1175 (Sorumlu Yazar-Corresponding Author)

DOI: 10.51551/verimlilik.792865

ERKEKOĞLU, H. ve USLU, H. (2021), Endüstri 4.0 Teknolojik Dönüşüm Sürecinde Seçilmiş Ülkeler ve Türkiye'nin Durumu: Ampirik Bir Analiz, Verimlilik Dergisi, Sayı: 4, 51-65.

Araştırma Makalesi/Research Article | Geliş Tarihi/Received Date: 09.09.2020 | Kabul Tarihi/Accepted Date: 19.01.2021

1. GİRİŞ

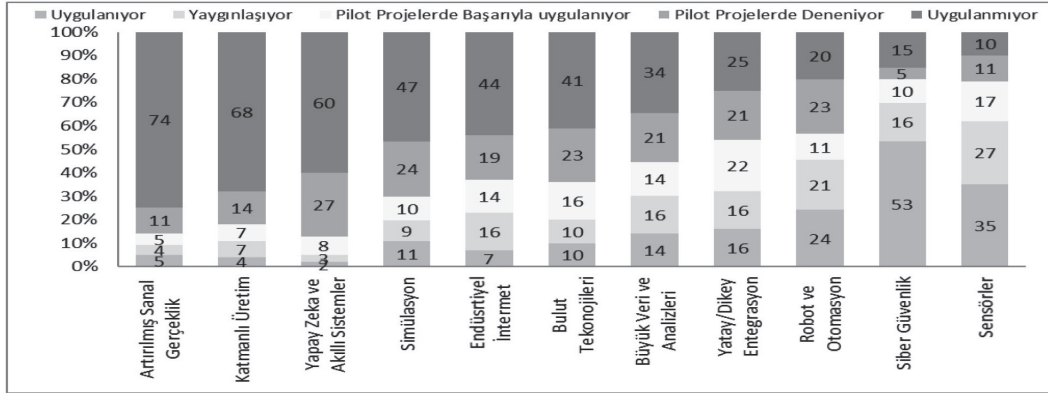
1700'lü yılların sonlarında James Watt tarafından icat edilen buharlı makinelerin ulaşım ve üretimde kullanılmasıyla birlikte 1800'lü yıllarda *Birinci Endüstri Devrimi* gerçekleşmiştir (Dereli, 2015: 31). Bu süreçte seri üretim teknolojileri geliştirilmiş, üretim ve pazarlama hacmi genişlemiş, ürün çeşidi ve kalitesi artmıştır. Sanayileşmenin ikinci aşamasında; temel üretim girdisi ve enerji kaynaklarında değişimler yaşanmış, kömür, buhar ve demirin yanında petrol, çelik, elektrik ve kimyasal maddeler (*sunî gübreler vb.*) de üretim sürecinde kullanılmaya başlanmıştır. Bu yolla sanayi ve seri üretim daha fazla gelişmiştir. Bu nedenle 20.yy'ın başlarında yakıt olarak kömürün yerine petrolün kullanılmaya başlanması ve içten yanmalı motorların geliştirilmesiyle İkinci Endüstri Devrimi gerçekleşmiştir. II. Dünya Savaşı'nın sona ermesiyle birlikte elektronik, bilgi ve iletişim teknolojileri hızla gelişme yoluna girmiş, üretimde artık bilgisayarlar ve robotik kollar kullanılmaya başlanmıştır. 1940'lardan 2000'li yıllara kadar süren bu döneme de Üçüncü Endüstri Devrimi adı verilmektedir. 1943'te ilk programlanabilir bilgisayar Colossus'un icadı, 1947'de ilk transistörlerin üretilmesi, 1952'de Bilgisayar Kontrollü (Computer Numerical Control: CNC) makinelerin geliştirilmesi ve izleyen yıllarda Programlanabilir Mantıksal Denetleyici'lerin (Programmable Logic Controller: PLC) geliştirilmesi sonucunda, üretimde otomasyon ileri aşamalara taşınmış, bilgisayar, fiber optik, mikroelektronik ve lazer gibi teknolojiler, nükleer enerji, telekomünikasyon, biyogenetik ve biyotarım gibi bilimlerdeki ilerlemeler, üretimin biçimini ve yönünü etkilemiştir (Özdoğan, 2017: 13-14).

2008 küresel ekonomik krizi sonrasında başta ABD, Almanya ve İngiltere olmak üzere gelişmiş ülkeler, reel sektörün önemini bir kez daha fark etmişler ve imalat sanayilerini tekrar canlandırmak için *yeniden endüstrileşme* stratejileri geliştirmeye başlamışlardır. Gelişmiş ülkeler sahip oldukları üretim yöntemlerini ve teknolojilerini geliştirmekle uğraşmak yerine, bilgi-iletişim teknolojilerini ve dijital imalat teknolojilerini uygulamaya odaklanmışlardır (Fırat ve Fırat, 2017: 10). Bu kapsamda Endüstri 4.0 kavramı ilk defa 2011 yılında Almanya'nın Hannover kentinde düzenlenen fuarda kullanılmıştır. *Dördüncü Sanayi Devrimi* olarak da adlandırılan Endüstri 4.0; akıllı ve birbiriyle iletişim içindeki makinelerle, yapay zekâ uygulamaları eşliğinde gerçekleştirilen üretim sürecini ifade etmektedir (Dikkaya, Gençer ve Aytekin, 2018: 856). Bu süreç kısaca; sadece üretim hatlarının, belirli faaliyetlerin değil, şirketlerin bir bütün olarak dijitalleşmesi ya da insan gücünün yerini makine gücü olarak, üretim süreçlerinin kendiliğinden yönetilebilir şekle gelmesi olarak tanımlanabilmektedir (Arslan, 2018: 7). Endüstri 4.0; birbiriyle bağlantılı talep ve üretim süreçlerinin, anlık iletişim ve etkileşim içinde olduğu, internet üzerinden iletişim kuran cihazların verileri anlık olarak toplayıp analiz ettiği ve üretimin buna göre otomatik olarak şekillendirildiği bir dönemdir. Bu süreç, kendi kendini düzenleyebilen otonom üretim sistemleri ve nesnelerin internetine dayalı, kapsamlı ağ iletişimi ile desteklenen çözümler vaat etmektedir (Banger, 2017: 11). Endüstri 4.0; çok daha verimli çalışan, daha çok nitelikli iş gücüne ihtiyaç duyan, bir yandan üretimi artırırken, diğer yandan üretim süreçlerini kolaylaştıran ve kısaltan bir endüstrileşme dönemidir. Endüstri 4.0 konsepti, ürünlerin piyasaya arz edilme sürelerini de önemli ölçüde düşürecektir. Bu süreçle birlikte hesaplamalara göre; yeni ürünlerin pazara sunum süresi %25-%50 arasında azalabilecek, mühendislik ve enerji giderlerinde %70'e yakın tasarruf sağlanabilecektir (Ersoy, 2017). Üretim tamamen birbirleriyle etkileşim ve iletişim içinde olan makineler eliyle gerçekleştirilecek olup, fabrikalarda aydınlatma sistemlerine bile gerek kalmayacaktır. Dördüncü Sanayi Devrimi, yapay zekâ uygulamaları ve etkileşimli makineler eliyle gerçekleştirilen otomatik karar alma ve üretim süreçlerinin yanında, gen dizimleri, nanoteknolojiler, yenilenebilir enerji kaynakları ve kuantum bilgi işlemi gibi konuları da beraberinde getirmektedir (Arslan, 2018: 4). Endüstri 4.0 süreci sermaye ve teknoloji yoğun üretimi, üretimde maliyet düşüşünü ve üretim birimi başına verimliliği önemli ölçüde artıracaktır (Yüksekbilgili ve Çevik, 2018: 424). Bu da ülkelere dış ticarete rekabet gücü (Karaaslan ve Tuncer, 2010) ile yurt içinde vatandaşların mal ve hizmetlere erişiminin ve gönenclerinin artması şeklinde yararlar sağlayacaktır (Suiçmez, 2015). Endüstri 4.0 dönüşümü sayesinde daha verimli çalışan fabrikalar; bir taraftan enerji tasarrufu sağlarken, diğer yandan karbon emisyonları azalarak çevreyi daha az kirleteceklerdir.

Bu yeni devrim özellikle Almanya'da hızla olgunlaşmakta olup, bu ülkede söz konusu devrim kapsamında Akıllı Fabrikaları hayata geçirebilmek için kamu gelirlerinden 200 milyon euro bütçe ayrılmıştır. Almanya gibi nüfusu hızla yaşanan Avrupa ülkeleri için akıllı fabrikaların, insan gücüne olan gereksinimi azaltacak

olması, ayrı bir önem taşımaktadır (Kagermann, Wahlster ve Helbig, 2013). Almanya'da başlayan Endüstri 4.0 fikri, gelişmiş ve gelişmekte olan tüm ülkelere yeni bir hedef ve dinamizm kazandırmıştır. Çin, Almanya'nın öncülüğünde başlatılan Endüstri 4.0 sürecini en kısa sürede gerçekleştirmeye odaklanmış ülkelerden biridir. Çin bu süreçte, gerekli teknolojileri üretmenin yanında, bu teknolojiler için geçerli standartları da belirlemeye taliptir. Bu amaçla Çin, Sany gibi ağır makina ya da Haier gibi tüketici elektroniği üreticileri aracılığıyla Endüstri 4.0 sürecinde hızla yol almaktadır. Endüstri 4.0 kapsamında, Almanya ve Çin İnovasyon Ortaklığı çatısı altında Ekim 2014'ten beri sürdürülen çalışmalar, meyvelerini vermeye başlamıştır. Bu doğrultuda Çin'de otomasyon ve dijitalleşme alanlarına yönelik gerçekleştirilen yatırımlar her geçen gün artmaktadır. 2005 yılından beri bilişim teknolojilerine yönelik gerçekleştirilen yatırımlar iki katına çıkmıştır. Çin, robot ve robotik endüstriyel kollarla ilgili teknolojilere de önemli yatırımlar yapmaktadır. ABD'de kurulan Akıllı Üretim Liderlik Koalisyonu (Smart Manufacturing Leadership Coalition, SMLC) isimli oluşum, endüstriyel üretimin geleceğine odaklanmaktadır. Endüstriyel firmalar, teknoloji ve inovasyon işletmeleri, sektör tedarikçileri, üniversiteler ve resmî kurumlar da bu oluşuma büyük katkı sunmaktadır. SMLC, üretim süreçlerinde yapay zekâ uygulamaları ve otomasyon sistemlerinin geliştirilebilmesi için çeşitli çalışmalar sürdürmektedir. Bu girişim ayrıca ABD genelinde bir Araştırma-Geliştirme (Ar-Ge) platformu oluşturmaya yönelik çalışmalarını da sürdürmektedir. Bütün bu çalışmalar, Endüstri 4.0 sürecinde akıllı üretim sistemlerinin kurulması hedefine yöneliktir (SMLC, 2019). Başta mobil iletişim cihazları olmak üzere, sanayi üretiminde Avrupa'nın önemli ülkelerinden biri olan Finlandiya, değişen çevre koşulları ve nüfusunun yaş ortalamasının hızla artması nedeniyle, eski gücünü kaybetme tehlikesiyle karşı karşıyadır. Bu nedenle Finlandiya da Endüstri 4.0 hedefi doğrultusunda hızla harekete geçmiş, hükümet eliyle belirledikleri 2020 Vizyonu'nda, Almanya'nın liderliğindeki bu yeni vizyon çerçevesinde yeni iş modelleri oluşturmaya başlamıştır. Endüstri 4.0 hedefi istikametinde İspanya Gelişmiş Fabrikalar adı altında, İtalya Akıllı Fabrikalar, Fransa Geleceğin Sanayisi ismiyle önemli çalışmalar yürütmektedir. Avrupa'daki gelişmiş ülkeler dışında; Japonya ve Güney Kore de Dördüncü Sanayi Devriminde söz sahibi olabilmek için politikalar geliştirmektedirler (Yazıcı ve Düzkaya, 2016: 74). Ülkeler bu süreçte bütün fiziksel sistemleri otomatikleştirip, uzaktan takip edilebilir hale getirerek, değer zincirinin kişiye özel ürünler üretir hale gelmesini hedeflemektedirler. Çünkü günümüz yüksek rekabet dünyasında firmalar fiyat belirleyen konumunu kaybetmiş, fiyatlar piyasada belirlenir hale gelmiştir. Bu süreçte firmaların kâr elde edebilmeleri için üretim sürecini kısaltmaları ve üretim maliyetlerini azaltmaları gerekmektedir (Dikkaya, Gençer ve AYTEKİN, 2018: 863). Milli gelirinin yenicene %1'ini Araştırma ve Geliştirme (Ar-Ge) faaliyetlerine ayıran (World Bank, 2021d)) Türkiye'nin imalat sanayi ürünleri ihracatı içinde yüksek teknoloji ürünlerin payı 2019 yılı itibarıyla sadece %3 olup (World Bank, 2021a), bu endüstriyel dönüşümü yakalamaya şiddetle ihtiyacı vardır.

Türkiye son yıllarda Endüstri 4.0'a yönelik çalışmalara hız vermeye çalışmakta, bu konuda başta TÜBİTAK ve üniversiteler gibi kamu olmak üzere kamu-özel sektör iş birliğine önem vermekte, gerekli teşvikleri hayata geçirmeye çalışmaktadır. Ancak genel olarak Türkiye bu alanda yatırım öncesi planlama aşamasındadır (Sağlar ve Dereli, 2018: 119). Endüstri 4.0 konusunda Türkiye'nin mevcut konumunu belirleyebilmek adına TÜSİAD tarafından 2017 yılında yaptırılan kapsamlı bir araştırmada, firmaların dijital teknolojileri kullanma seviyeleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu araştırmada; firmaların sanayide dijital dönüşüme imkân sağlayan, akıllı sistemler, simülasyon, artırılmış sanal gerçeklik, otomasyon, sensörler, büyük veri analizi, endüstriyel internet ve bulut teknolojisi gibi Sanayi 4.0'ın temel unsurlarını kullanma dereceleri ölçülmeye çalışılmıştır. Bu rapor kapsamında, 108 teknoloji kullanıcısı ve 110 teknoloji tedarikçisi şirket ile kapsamlı bir anket çalışması gerçekleştirilmiştir. Firmaların dijital teknolojileri kullanma seviyelerine ait sonuçlar Şekil 1'de yer almaktadır.



Şekil 1. Firmaların dijital teknolojileri kullanma seviyeleri

Kaynak: TÜSiAD (2017: 43)'teki veriler kullanılarak, yazarlar tarafından hazırlanmıştır.

Şekil 1'e göre analize dahil edilen firmalardan %74'ü artırılmış sanal gerçeklik uygulamalarını, %68'i katmanlı (eklemeli) üretim teknolojilerini, %60'ı yapay zekâ ve akıllı sistemleri, %47'si simülasyon teknolojilerini, %44'ü endüstriyel interneti hiç kullanmamaktadır. Bu şekilde sevindirici olan sonuçlar; firmaların %53'ünün siber güvenlik sistemlerini, %35'inin sensörleri, %24'ünün robot ve otomasyon sistemlerini kullanıyor olmalarıdır. Grafiğe genel olarak bakıldığında; Endüstri 4.0'ın temel bileşenlerine yönelik uygulamaların artma eğiliminde olduğu, ancak bu çabaların kamu-özel sektör iş birliği içinde hızlandırılmasının gerektiği görülmektedir.

Bu çalışmanın amacı; bu dönüşüm sürecinde 2019 yılı Küresel İnovasyon Endeksi sıralamasında ilk 20 sırada yer alan ülkeler ve Türkiye'nin durumunu, teorik ve uygulamalı olarak incelemektir. Ülkelerin ihracatları içinde yüksek teknoloji ürünlerin payının artırılabilmesi ve bu yolla dış ticaret gelirlerini artırıp, cari işlemler açığı gibi kriz risklerinin önüne geçilebilmesi açısından Türkiye gibi gelişmekte olan ve cari işlemler açığı sorunu yaşayan ülkelerin Endüstri 4.0 devrimini kaçırmaması büyük bir önem taşımaktadır. Oldukça yeni bir konu olan Endüstri 4.0 ile ilgili yapılan bu ampirik çalışmanın, firmaların ve politika yapıcılarının dikkatlerini bir kez daha bu kavrama çekerek ülke ekonomisine ve ilgili literatüre önemli katkılar sağlaması beklenmektedir.

Çalışmayı literatürdeki benzerlerinden ayıran en önemli özellikleri; Endüstri 4.0 gibi oldukça yeni olan ve hakkında yeterince veri seti oluşmamış bir konunun ekonometrik analizlerle somut biçime incelenmiş olması, ele alınan örneklem, kullanılan değişkenler ve yararlanılan ekonometrik analiz yöntemleridir. Çalışma esas olarak 4 bölümden oluşmaktadır. Girişi takip eden ikinci bölümünde; konuyla ilgili yapılmış çalışmaların kısa bir özeti sunulduğu literatür taramasına yer verilmiş, üçüncü bölümde ampirik analiz gerçekleştirilmiş, dördüncü bölümde yer alan sonuç ve değerlendirmelerle çalışma tamamlanmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Endüstri 4.0 dönüşüm süreci ile ilgili literatürde yer alan çalışmaların genellikle yeni tarihli olduğu, ama son yıllarda hızla arttığı görülmüştür. Konuyla ilgili ampirik analizlerin oldukça sınırlı kaldığı da dikkat çekmektedir. Ulaşılabilen sınırlı sayıda uygulamalı çalışmada ise; doğrudan bu süreci ölçebilen bir veri seti olmadığı için genellikle Ar-Ge harcamaları, patent başvuru sayıları, insani gelişmişlik endeksi veya yeni geliştirilen bazı inovasyon endeksleri kullanılmıştır. Endüstri 4.0 süreciyle ilgili yapılmış çalışmaların kısa bir özeti, yayınlanma tarihi sırasına göre burada derlenmiştir.

Sandu ve Ciocanel (2014), Ar-Ge harcamaları ve inovasyonun, yüksek teknoloji ürün ihracatı üzerindeki etkilerini, 26 AB ülkesinin 2006-2010 dönemi verilerini kullanarak panel veri analizi yöntemleriyle incelemişlerdir. Buna göre yüksek teknoloji ürün ihracatını en fazla etkileyen değişkenin, özel sektör tarafından gerçekleştirilen Ar-Ge harcamaları olduğunu, onu kamu kesimi tarafından gerçekleştirilen Ar-Ge harcamalarının izlediğini tespit etmişlerdir.

Tuncel ve Polat (2016), Endüstri 4.0 çerçevesinde Türkiye'deki makine endüstrisinde sektörel inovasyonun ve teknolojik dönüşümün kaynaklarını belirlemeye yönelik olarak 250 firma üzerinde yaptıkları araştırmada; firmaların yer aldığı sektörün ve bu sektördeki teknoloji yoğunluğunun, inovasyonun temel belirleyicisi olduğunu tespit etmişlerdir.

Ustabaş ve Ersim (2016), Ar-Ge harcamaları ve yüksek teknoloji ürün ihracatının ekonomik büyüme üzerindeki etkilerini, Türkiye ve Güney Kore'nin 1989-2014 dönemi verilerini kullanarak, Zivot-Andrews ve Lee-Stražicich yapısal kırılmalı birim kök testleri ve Engle-Granger ve Johansen eşbütünleşme testleriyle analiz etmişlerdir. Analizler sonucunda; Güney Kore'de yüksek teknoloji ürün ihracatının ekonomik büyümeyi kısa dönemde de uzun dönemde de artırdığı tespit edilirken, yüksek teknoloji ürün ihracatının ekonomik büyümeyi Türkiye'de sadece kısa dönemde ve sınırlı miktarda etkilediği belirlenmiştir.

Lin, Shyu ve Ding (2017), Çin ve Tayvan'daki inovasyon politikalarının sürdürülebilirliğini, Endüstri 4.0 dönüşümü çerçevesinde incelemişler ve Çin'deki çalışmaların daha çok politikalar ve yasal düzenlemeler üzerinden gittiğini, bu işlemlerde kamu kesiminin daha ön planda olduğunu, Tayvan'da ise örgün eğitim ve çalışan eğitimi üzerinde daha fazla durulduğunu belirlemişlerdir.

Günaydın (2018), Endüstri 4.0 sürecinde İstanbul'da 70.000 kişinin istihdam edildiği Çerkezköy Organize Sanayi Bölgesi'nde faaliyet gösteren 226 firma üzerinde yaptığı araştırmada; sanayicilerin ilerleyen dönemlerde özellikle yazılım ve mekanik bilgisi yüksek, elit iş gücüne olan taleplerinin artacağını belirlemiştir. Yapılan bu araştırmada, firmaların %36'sının teknoloji yoğun, %36'sının emek yoğun üretim gerçekleştirdiği, üretimin %64'ünün rutin ve manuel olarak gerçekleştiği, firmaların %44'ünün vasıflı işçi istihdam ettiği tespit edilmiştir.

Aydın (2018), Türkiye'de teknolojik ilerleme ile istihdam yapısındaki değişim arasındaki ilişkiyi, Endüstri 4.0 kapsamında, 1981-2015 dönemi verilerini kullanarak, ARDL yöntemiyle analiz etmiştir. Yazar bu çalışmada teknolojik ilerlemeyi ifade etmek üzere Ar-Ge harcamaları ve bilgi iletişim teknolojileri ihracatı verilerini, istihdam yapısını ifade etmek için de yükseköğretim mezunu olarak istihdam edilen kişi sayısını kullanmıştır. Analizler sonucunda; teknolojik ilerlemenin, istihdam yapısını, eğitim düzeyi yüksek kişiler lehine değiştirdiği bulgusuna ulaşılmıştır.

Kaygısız ve Sipahi (2018), Y kuşağı üniversite öğrencilerinin Endüstri 4.0 hakkındaki bilgi düzeylerini incelediği çalışmada; Giresun Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümünde eğitim gören, 321 öğrenciye uyguladıkları anket sonucunda, öğrencilerin %83'ünün Endüstri 4.0 kavramından haberdar olduklarını ve bu öğrencilerden %50'sinin konuyu okuldaki derslerinde gördüğünü belirlemişlerdir. Öğrencilere Endüstri 4.0'ın ne ifade ettiği sorulduğunda; %23,6'sı teknoloji, %10,9'u rekabet, %18,2'si endüstri devrimi ifadelerini kullanmıştır. Öğrencilerin Endüstri 4.0'ın içeriği hakkındaki farkındalık düzeylerinin belirlenmesine yönelik soruda ise, öğrencilerden %13,2'si nesnelere interneti, %15,7'si simülasyon, %16,2'si siber güvenlik kavramlarını duyduklarını belirtmişlerdir. Çalışmadan elde edilen bulguları genel olarak değerlendiren araştırmacılar; Y kuşağının teknolojik yenilikler konusunda kuşkucu olduklarını, yenilikleri dikkate almadan önce diğer insanlar tarafından o yeniliğin kullanıldığını görmek istediklerini ifade etmişlerdir.

Yüksekbilgili ve Çevik (2018), Endüstri 4.0 kapsamında Türkiye'nin yerinin tespitine ilişkin yaptıkları çalışmada, bu konuda ülkeye öncülük eden 6 firmanın üst düzey yöneticileriyle yüz yüze görüşmeler yapmışlar ve firmaların, Endüstri 4.0'ın İşsiz Fabrikalar sayesinde %70'e yakın enerji tasarrufu sağlayacağını beklediklerini, Türkiye'nin şu anda Endüstri 2.5 seviyesinde olduğunu, Endüstri 4.0'ı yakalayabilmesi için kamu ve özel sektöre büyük görevler düştüğünü ifade ettiklerini belirtmişlerdir.

Maresova ve diğerleri (2018), Endüstri 4.0'ın sonuçlarına ilişkin gerçekleştirdikleri çalışmada; 2014-2018 döneminde yayınlanan ve Web of Science, Scopus ve Science Direct endekslerinde taranan 2275 makaleyi, anahtar kelimeler üzerinden incelemişler ve gelecek dönemlerde iş ve kabiliyetler noktasında, akıllı teknolojilere uyum konusunda, yapay zekâli üretim teknolojilerinde ve dijitalleşmede önemli değişimlerin yaşanacağını tespit etmişlerdir.

Dalenogare ve diğerleri (2018), Endüstri 4.0'ın sanayi performansı üzerindeki beklenen etkilerini ortaya çıkartabilmek için Brezilya'da faaliyet gösteren 2225 firmaya anket uygulamışlar ve Endüstri 4.0 çerçevesinde yürütülen çabaların umut verici olduğunu fakat hızlı gelişen teknolojilere uyumun henüz beklenen seviyelerde olmadığını, işletmelerde geleneksel üretim yöntemlerinin ağırlıklı olarak kullanıldığını tespit etmişlerdir.

Öztürk ve Alaşahan (2019), Türkiye dâhil seçilmiş 10 ülkede endüstri 4.0 uygulamalarının değerlendirilmesini, 2011-2016 dönemi GSYH, küresel inovasyon endeksi, ileri teknoloji ihracatı, patent başvuru sayısı ve Ar-Ge harcamaları verilerini kullanarak, Pedroni panel eşbütünleşme testi ve Granger panel nedensellik testi yardımıyla araştırmışlardır. Analizler sonucunda; yüksek teknoloji ürünü ihracatının, milli geliri pozitif, Ar-Ge harcamalarının ise negatif etkilediği belirlenmiştir. Nedensellik analizi sonucunda ise; GSYH ve patent başvurularından küresel inovasyon endeksine doğru tek yönlü nedensellik ilişkileri tespit edilmiştir.

Mohnen (2019), Ar-Ge harcamaları, inovasyon ve verimlilik arasındaki ilişkileri inceleyen çalışmalara yönelik gerçekleştirdiği detaylı literatür taramasında; Schumpeter'in de ifade ettiği gibi inovasyonun, ekonomik büyümenin lokomotifini olduğunu tespit etmiştir. Bu da yürütülecek Endüstri 4.0 çalışmalarının, ülkelerin ekonomik büyümelerini ivmelendireceğini göstermektedir.

Literatürde yer alan çalışmalara genel olarak bakıldığında; araştırmacıların doğrudan Endüstri 4.0 sürecini ölçmekte zorlandıkları, çevresel değişkenler üzerinden bu dönüşümü analiz etmeye çalıştıkları görülmektedir. Yapılan bu çalışmanın; doğrudan Küresel İnovasyon Endeksi'ni kullanması, ampirik bir analiz barındırması ve analizde yer verilen diğer değişkenler yönüyle literatüre bir katkı sağlaması beklenmektedir.

3. AMPİRİK ANALİZ ve BULGULAR

3.1. Veri Seti

Bu çalışmanın ampirik analiz aşamasında; 2019 yılı Küresel İnovasyon Endeksi sıralamasında ilk 20 sırada yer alan ülkeler ve Türkiye'ye ait 2013-2019 dönemi verileri kullanılmıştır. Bu çalışmada ülkelerin Endüstri 4.0 sürecine uyumunun bir göstergesi olarak Küresel İnovasyon Endeksi (Global Innovation Index, *GII*) alınmış³ ve bu endeksi etkilediği düşünülen Ar-Ge harcamaları (Research and Development Expenditure, Milyar Dolar, *RDE*)⁴, Ar-Ge alanında çalışan uzman personel sayısı (Research and Development Personnel, Kişi Sayısı, *RDP*)⁵, kişi başına düşen milli gelir (Gross Domestic Product Per Capita, Dolar, *GDPPC*) ve İnsani Gelişmişlik Endeksi (Human Development Index, *HDI*)⁶ verileri kullanılmıştır. Bütün verilerin doğal logaritmaları alınarak analizlere dâhil edilmiştir. Veriler Dünya Fikrî Mülkiyet Örgütü (World Intellectual Property Organization, 2019), Dünya Bankası (World Bank, 2021b, 2021c, 2021d) ve Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı'ndan (United Nations Development Programme, 2019) elde edilmiştir. Veri setine ait tanımlayıcı istatistikler Ek 1'de, veriler arasındaki korelasyon katsayıları Ek 2'de yer almaktadır.

3.2. Ekonometrik Model

Bu çalışmada bağımlı değişken olarak; ülkelerin Endüstri 4.0 sürecine uyumlarının bir göstergesi olan Küresel İnovasyon Endeksi alınmış, bağımsız değişken olarak ise bu endeksi etkilediği düşünülen Ar-Ge

³ Endüstri 4.0 sürecinin bir temsilcisi olarak *GII* verisinin kullanıldığı çalışma örneği için bakınız: Sağlar ve Dereli (2018); Öztürk ve Alaşahan (2019).

⁴ RDE verisi; World Bank'den (2021c) alınan GDP verileri ile World Bank'den (2021d) alınan GDP içinde R&D'nin payı verilerinin çarpılıp, 100'e bölünmesiyle elde edilmiştir.

⁵ RDP verisi de; World Bank'den (2019e) alınan, bir milyon kişi içinde R&D faaliyetleriyle uğraşan araştırmacı sayısı verilerinin World Bank'den (2019f) alınan nüfus verileriyle çarpılıp, 1 milyona bölünmesiyle elde edilmiştir.

⁶ HDI verileri (0-1) aralığında olacak şekilde yayınlanmaktadır. Bu verilerin doğrudan logaritması alındığında negatif değerler ortaya çıkmaktadır. Bu sorunu çözebilmek için; HDI verileri 100 ile çarpılarak, değerler % haline getirilmiş, sonra logaritmaları alınmıştır. Bu verinin kullanılma nedeni; İçsel Büyüme Modellerindeki artan insani gelişmişlik düzeyinin, beşerî sermayeyi artırarak, ülkelerin teknolojik ilerlemelerini ve ekonomik büyümelerini olumlu yönde etkileyeceği beklentisidir. Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UNDP) tarafından hazırlanan HDI; ülkelerdeki sağlık, eğitim ve gelir gibi temel konulardaki seviyeyi ölçmektedir (UNDP, 2018). Bu yönüyle beşerî sermayenin iyi bir göstergesidir. HDI'nin bu amaçla kullanıldığı çalışma örnekleri için bakınız: Yılmaz ve Danişoğlu (2017); Uçan ve Koçak (2018).

harcamaları, Ar-Ge alanında çalışan uzman personel sayısı, kişi başına düşen milli gelir ve insani gelişmişlik endeksi verileri kullanılmıştır. Verilerin seçiminde ve model kurulumunda Sağlar ve Dereli (2018); Öztürk ve Alaşahan (2019)⁷ çalışmaları temel alınmıştır (Eşitlik 1).

$$LnGI_{it} = \beta_0 + \beta_1 LnRDE_{it} + \beta_2 LnRDP_{it} + \beta_3 LnGDPPC_{it} + \beta_4 LnHDI_{it} + e_{it} \quad (1)$$

Burada i analize dahil edilen ülkeleri göstermekte olup, $i = 1, \dots, 21$; t , analize dahil edilen zaman dilimini göstermekte olup, $t = 2013, \dots, 2019$ şeklindedir. e_{it} rassal yürüyüş sürecine sahip hata terimleri serisini göstermektedir. Ar-Ge alanında çalışan uzman sayısındaki, Ar-Ge harcamalarındaki, kişi başına düşen milli gelirdeki ve insani gelişmişlik seviyesindeki artışların, ülkelerin yenilik yapma yetisini olumlu yönde etkileyeceği beklendiği için yapılacak analizler sonucunda $\beta_1 > 0$; $\beta_2 > 0$; $\beta_3 > 0$ ve $\beta_4 > 0$ çıkması beklenmektedir.

3.3. Yöntem

Bu çalışmada serilerin durağanlık sınamaları; LLC, IPS, Fisher ADF ve Fisher PP panel birim kök testleriyle gerçekleştirilmiştir. Panel regresyon analizleri; havuzlanmış panel veri yöntemi, sabit etkiler yöntemi ve rassal etkiler yöntemi yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Yapılan panel regresyon analizlerinden hangisinin daha geçerli olduğu; Hausman sınamasıyla belirlenmiştir. Analize dâhil edilen değişkenler arasındaki nedensellik ilişkileri, Granger panel nedensellik testi ile incelenmiştir.

3.4. Durağanlık Sınaması

Bu çalışmada analiz dönemi kısa olmakla birlikte, seriler zaman içinde anormal dalgalanmalar gösterdiğinde, bu tür serilerle yapılacak analizlerde yanıltıcı sonuçlar (sahte regresyon sorunu) ile karşılaşılabilir. Bu nedenle öncelikle serilere durağanlık sınaması yapılması, analizin sonraki aşamalarında kullanılacak yöntemlerin de durağanlık sınaması sonuçlarına göre belirlenmesi gerekmektedir (Torres-Reyna, 2017). Bu çalışmada serilerin durağanlığı Levin, Lin ve Chu (2002) tarafından geliştirilen LLC, Im, Pesaran ve Shin (2003) tarafından geliştirilen IPS, Maddala ve Wu (1999) tarafından geliştirilen ADF-Fisher Ki-Kare ve PP-Fisher Ki-Kare panel birim kök testleriyle sınanmıştır. Bu testlerin H_0 hipotezi; "Seride birim kök vardır" şeklindedir. Bu testler genel olarak Eşitlik 2'yi temel almaktadır:

$$y_{it} = \rho_i y_{it-1} + X_{it} \delta_i + u_{it} \quad (2)$$

Burada birim kök parametresi olmaktadır. LLC testi, bu parametrenin yatay kesitler arasında değişmediğini (homojen olduğunu) varsayarken, IPS testi bu parametrenin yatay kesitler arasında değişebileceğini (heterojen olduğunu) göz önünde bulundurmaktadır. Fisher tipi testler ise parametrik olmayan ve panel veride birim kökü sınavabilmek için, her bir yatay kesit birimi için elde edilen birim kök için test istatistiklerinin olasılık değerlerinin bir bileşimine dayanan testlerdir (Inal, 2009: 27). Panel birim kök sınaması sonuçları Çizelge 1'de yer almaktadır.

Çizelge 1. Panel birim kök sınaması sonuçları

Değişkenler	LLC	IPS	Fisher ADF	Fisher PP
LnGI	-24,89*** (0,00)	-5,41*** (0,00)	75,50*** (0,00)	73,22*** (0,00)
LnRDE	-7,77*** (0,00)	-2,35*** (0,00)	71,67*** (0,00)	64,28** (0,01)
LnRDP	-10,53*** (0,00)	-1,17 (0,11)	58,59** (0,04)	139,59*** (0,00)
LnGDPPC	-40,61*** (0,00)	-7,98*** (0,00)	101,44*** (0,00)	50,21 (0,18)
LnHDI	-7,66*** (0,00)	-193,92*** (0,00)	30,77 (0,85)	114,01*** (0,00)

Not: *** ve **, sırasıyla %1 ve %5 anlamlılık düzeyinde durağanlığı göstermektedir. Parantez içindekiler olasılık değerleridir.

⁷ Öztürk ve Alaşahan (2019) kurdukları ekonometrik modelde patent başvuru sayılarına da yer vermişlerdir. Bu verinin, Küresel İnovasyon Endeksi ile yakın etkileşim içinde olduğu (Küresel İnovasyon Endeksi tarafından temsil edildiği) göz önünde bulundurularak, tarafımızdan modelden dışlanmış, bunun yerine ülkelerin beşerî sermayesinin önemli bir göstergesi olan İnsani Gelişmişlik Endeksi verileri modele dâhil edilmiştir. Yine Öztürk ve Alaşahan (2019) analizlerinde ülkelerin toplam GSYH'sini kullanırken, bu çalışmada kişi başına düşen GSYH verileri kullanılarak, çalışma daha ileri bir noktaya taşınmıştır.

Çizelge 1'deki sonuçlara göre; bütün seriler düzey değerlerinde durağandır. Serilerin düzeyde durağan çıkmasının en önemli nedenleri; bazı serilerin endeks değerlerinden oluşması, tüm serilerin logaritmaları alınarak aykırı değerlerin ortadan kaldırılmış olması ve çalışmanın zaman boyutunun kısa olmasıdır. Her ne kadar LnRDP serisi IPS'de, LnGDPPC serisi Fisher PP'de, LnHDI serisi Fisher ADF'de durağan gözükme de bu değişkenler için yapılan diğer üç testin sonucuna göre bu seriler de düzeyde durağan kabul edilmiştir. Analizde kullanılacak tüm seriler düzey değerlerinde durağan çıktığı için bu değişkenler kullanılarak gerçekleştirilecek panel regresyon analizlerinde sahte regresyon sorunu ile karşılaşılacaktır.

3.5. Panel Regresyon Analizi

Analizde kullanılan seriler düzey değerlerinde durağan çıktığında, regresyon analizleri Havuzlanmış Panel En Küçük Kareler (Havuzlanmış Panel EKK) yöntemi, sabit etkiler yöntemi veya rassal etkiler yöntemi yardımıyla gerçekleştirilebilmektedir. Bu yöntemlerden Panel EKK; paneli oluşturan yatay kesitler için birim etkilerinin ve zaman etkilerinin olmadığını varsayarken, sabit etkiler yöntemi; bu etkilerin sabit olduğunu, rassal etkiler yöntemi ise rassal olarak değişebileceğini kabul etmektedir (Baltagi, 2008: 22-27). Bu çalışmada panel regresyon analizi her üç yöntemle de gerçekleştirilerek, olası bütün durumlar göz önünde bulundurulmaya çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 2'de yer almaktadır.

Çizelge 2. Panel regresyon analizi sonuçları

Değişkenler	Havuzlanmış Panel EKK	Sabit Etkiler	Rassal Etkiler
LnRDE	-0,03* (0,06)	-0,13** (0,00)	-0,05* (0,08)
LnRDP	0,04** (0,03)	0,17*** (0,00)	0,06* (0,05)
LnGDPPC	0,09*** (0,00)	0,16*** (0,00)	0,09** (0,03)
LnHDI	1,11*** (0,00)	1,25* (0,09)	0,99*** (0,00)
Sabit Terim	-1,66* (0,08)	-2,37 (0,47)	-1,04 (0,49)
R ²	0,35	0,95	0,20
\bar{R}^2	0,34	0,93	0,17
F ist.	19,94 (0,00)	77,15 (0,00)	8,92 (0,00)
DW	1,95	1,00	1,79

Not: ***, İlgili katsayının %1 anlamlılık düzeyine sahip olduğunu göstermektedir. Parantez içindekiler olasılık değerleridir.

Çizelge 2'de elde edilen sonuçlardan hangisinin daha güvenilir olduğunu belirleyebilmek için Hausman içsellik sınaması yapılmıştır. Hausman (1978) tarafından geliştirilen bu test; özellikle sabit etkiler modeli ile rassal etkiler modeli arasındaki seçimde etkin olup, H_0 hipotezi; "Etkiler rassaldır" şeklindedir (Wooldridge, 2002: 288). Hausman sınaması sonuçları Çizelge 3'te yer almaktadır.

Çizelge 3. Hausman Sınaması sonuçları

	Ki-Kare İstatistiği	Karar
Yatay Kesit Etkileri Rassal	10,01** (0,04)	Yatay kesit etkileri sabittir.
Periyot Etkileri Rassal	0,00 (1,00)	Periyot etkileri rassaldır.
Yatay Kesit ve Periyot Etkileri Rassal	4,60 (0,33)	Yatay kesit ve periyot etkileri bir arada değerlendirildiğinde, etkiler rassaldır.

Not: **, H_0 hipotezinin %5 anlamlılık düzeyinde reddedildiğini ve etkilerin sabit olduğunu göstermektedir. Parantez içindekiler olasılık değerleridir.

Çizelge 3'teki sonuçlara göre bu çalışmada yatay kesit ve periyot etkileri bir arada değerlendirildiğinde, etkiler rassaldır. Bu durumda Çizelge 6'daki sonuçlardan, en son sütunda yer alan rassal etkiler modeli tahmin sonuçları daha güçlüdür. Bu sonuçlara göre; Ar-Ge harcamaları %1 arttığında, ülkelerin inovasyon

seviyesi %0,05 oranında azalmaktadır. Bu sonuç, önsel beklentilerimizle uyuşmamaktadır. Bu sonucun nedeninin; Ar-Ge harcamalarının etkin yürütülememesi olabileceği değerlendirilmektedir. Ar-Ge alanında çalışan uzman araştırmacı sayısı %1 arttığında, ülkelerin inovasyon seviyesi %0,06 oranında artmıştır. Elde edilen bu sonuç, Romer (1990) tarafından dile getirilen Yaratıcı Fikirler İktisadı görüşüyle uyumludur. Bu düşünceye göre; bir ekonomide yaratıcı fikirler arttığında, ülkelerin inovasyon ve teknoloji seviyesi artarak, dış ticaretteki rekabet gücünü ve ekonomik büyümesini olumlu yönde etkileyecektir (Jones, 2007: 74-80). Paneli oluşturan ülkelerdeki kişi başına düşen milli gelir %1 arttığında inovasyon seviyesi %0,09 oranında artmıştır. Bu sonuç da iktisatta yerleşik Etkin Ücret Teorisi ile uyumlu olup; bireylerin harcanabilir gelirleri arttığında daha sağlıklı beslenecekleri ve eğitime daha fazla kaynak ayırabilecekleri, bu yolla verimliliklerinin artacağı tezini desteklemektedir. Hatta Etkin Ücret Teorisi'ne göre; geliri yükselen aileler çocuklarını da daha sağlıklı ve eğitilmiş yetiştirecekleri için ileriki dönemlerde de iş gücü verimliliği ve ekonomik büyüme artacaktır (Yıldırım, Karaman ve Taşdemir, 2009: 296-297). Bu çizelgedeki en güçlü sonuç; insani kalkınmışlık düzeyi ile ilgili elde edilmiştir. Buna göre; analize dâhil edilen ülkelerin insani gelişmişlik seviyeleri %1 arttığında, inovasyon seviyeleri %0,99 oranında artmaktadır. O halde inovasyon seviyelerini yükseltmek ve Endüstri 4.0 dönüşüm sürecini başarıyla gerçekleştirebilmek isteyen ülkelerin; yurttaşlarının insani gelişmişlik seviyelerini geliştirmeye daha fazla önem vermelerinin gerektiği görülmektedir.

3.6. Nedensellik Sınaması

Analize dâhil edilen değişkenler düzey değerlerinde durağan olduğu için arasındaki nedensellik ilişkileri, Granger (1969) panel nedensellik testi ile incelenmiştir. Ayrıca çalışmanın bu aşamasında Dumitrescu ve Hurlin (2012) panel nedensellik testi kullanılmaya çalışılmıştır. Ancak Dumitrescu ve Hurlin (2012) panel nedensellik testi düzey değerlerinde durağan olan panel veriler için uygun bir test olmasına rağmen panel verinin zaman boyutunun kısa olduğu durumlarda sonuç vermemektedir. O açıdan bu çalışmada kullanılması mümkün olmamıştır. Granger nedensellik testi; serilerin düzey değerlerinde durağan olduğunda etkin sonuçlar üretebilen, bütün değişkenleri bağımlı ve bağımsız değişken olarak eş-anlı biçimde kullanabilen ve ekonometrik analizlerde yaygın biçimde yararlanılan bir testtir. Y ve X şeklindeki iki değişken arasında Granger (1969) panel nedensellik testi, aşağıdaki eş-anlı denklem sistemi yardımıyla gerçekleştirilmektedir.

$$Y_{it} = \alpha_i + \sum_{k=1}^m \gamma_{ik} Y_{i,t-k} + \sum_{k=1}^m \beta_{ik} X_{i,t-k} + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

$$X_{it} = \theta_i + \sum_{k=1}^m \delta_{ik} X_{i,t-k} + \sum_{k=1}^m \theta_{ik} Y_{i,t-k} + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

Bu testte sınanan hipotezler:

$H_0: \beta_{ik} = 0$ Bütün i 'ler için. Yani bütün yatay kesitlerde X 'ten Y 'ye doğru nedensellik ilişkisi yoktur

$H_1: \beta_{ik} \neq 0$ Bütün i 'ler için. Yani bütün yatay kesitlerde X 'ten Y 'ye doğru nedensellik ilişkisi vardır

Eşitlik 3 ve Eşitlik 4'te yer alan optimum gecikme uzunluğu olup, bu değeri belirlemeye yönelik yapılan işlem sonuçları Ek 3'te yer almaktadır. Buna göre optimum gecikme uzunluğu 2 olup, 2 gecikmeli Granger (1969) panel nedensellik testi sonuçları Çizelge 4'te yer almaktadır.

Çizelge 4. Panel Nedensellik Testi sonuçları

H ₀ Hipotezi	Gözlem Sayısı	F-istatistiği	Olasılık
LnRDE → LnGII	105	3,14**	0,04
LnGII → LnRDE		0,04	0,95
LnRDP → LnGII	105	6,08***	0,00
LnGII → LnRDP		2,92*	0,05
LnGDPPC → LnGII	105	5,49***	0,00
LnGII → LnGDPPC		1,09	0,33
LnHDI → LnGII	105	4,70**	0,01
LnGII → LnHDI		0,60	0,54
LnRDP → LnRDE	105	1,05	0,35
LnRDE → LnRDP		0,64	0,52
LnGDPPC → LnRDE	105	1,38	0,25
LnRDE → LnGDPPC		0,71	0,49
LnHDI → LnRDE	105	0,07	0,93
LnRDE → LnHDI		0,76	0,46
LnGDPPC → LnRDP	105	4,89***	0,00
LnRDP → LnGDPPC		0,52	0,59
LnHDI → LnRDP	105	3,67**	0,02
LnRDP → LnHDI		0,81	0,44
LnHDI → LnGDPPC	105	2,14	0,12
LnGDPPC → LnHDI		0,39	0,67

Not: → ; İlk değişkenden, ikinci değişkene doğru bir nedensellik ilişkisinin olmadığını göstermektedir. ***, ** ve *; İlk değişkenden ikincisine sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeyinde nedensellik ilişkisinin var olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4'teki sonuçlara göre; Ar-Ge harcamalarından inovasyon seviyesine doğru tek yönlü; Ar-Ge alanında çalışan araştırmacı sayısı ile inovasyon seviyesi arasında karşılıklı; kişi başına düşen milli gelirden inovasyon seviyesine doğru tek yönlü; insani gelişmişlik seviyesinden inovasyon seviyesine doğru tek yönlü; kişi başına düşen milli gelirden Ar-Ge alanında çalışan uzman sayısına doğru doğru tek yönlü; ve insani gelişmişlik seviyesinden Ar-Ge alanında çalışan uzman sayısına doğru doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi vardır. Bu durumda inovasyon seviyelerini artırmak isteyen ülkelerin Ar-Ge harcamalarını, Ar-Ge alanında istihdam ettikleri araştırmacı sayılarını, kişi başına düşen milli gelirlerini ve insani gelişmişlik seviyelerini artırıcı politikalar uygulamalarında yarar vardır.

4. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada; Endüstri 4.0 dönüşüm sürecinde Türkiye ve seçilmiş ülkelerin durumunu analiz edebilmek için 2019 yılı Küresel İnovasyon Endeksi sıralamasında ilk 20 sırada yer alan ülkeler ve Türkiye'ye ait 2013-2019 dönemi Küresel İnovasyon Endeksi, Ar-Ge harcamaları, Ar-Ge alanında çalışan uzman personel sayısı, kişi başına düşen milli gelir ve İnsani Gelişmişlik Endeksi verileri kullanılmıştır. Serilerin durağanlık sınamaları LLC, IPS, Fisher ADF ve Fisher PP panel birim kök testleriyle gerçekleştirilmiş ve bütün seriler düzey değerlerinde durağan oldukları belirlenmiştir. Panel regresyon analizleri havuzlanmış panel veri analizi yöntemi, sabit etkiler yöntemi ve rassal etkiler yöntemi yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Yapılan Hausman sınamasında rassal etkiler yöntemi ile elde edilen sonuçların daha geçerli olduğu belirlenmiştir. Buna göre analize dâhil edilen 21 ülkede, 2013-2019 döneminde Ar-Ge harcamaları %1 arttığında, ülkelerin inovasyon seviyesi %0,05 oranında azalmıştır. Ar-Ge alanında çalışan uzman araştırmacı sayısı %1 arttığında, ülkelerin inovasyon seviyesi %0,06 oranında artmıştır. Kişi başına düşen milli gelir %1 arttığında inovasyon seviyesi %0,09 oranında artmıştır. İnsani gelişmişlik seviyeleri %1 arttığında ise inovasyon seviyeleri %0,99 oranında artmıştır. Elde edilen bulgular literatürde yer alan Öztürk ve Alaşahan (2019) ve Mohnen (2019) çalışmasıyla doğrudan, Sandu ve Ciocanel (2014) çalışmasıyla dolaylı olarak uyumludur.

Analize dâhil edilen değişkenler arasındaki nedensellik ilişkileri, Granger (1969) nedensellik testi ile incelenmiştir. Bu test sonucunda; Ar-Ge harcamalarından inovasyon seviyesine doğru tek yönlü; Ar-Ge alanında çalışan araştırmacı sayısı ile inovasyon seviyesi arasında karşılıklı; kişi başına düşen milli gelirden inovasyon seviyesine doğru tek yönlü; insani gelişmişlik seviyesinden inovasyon seviyesine doğru tek yönlü; kişi başına düşen milli gelirden Ar-Ge alanında çalışan uzman sayısına doğru doğru tek yönlü ve insani gelişmişlik seviyesinden Ar-Ge alanında çalışan uzman sayısına doğru doğru tek yönlü nedensellik ilişkileri tespit edilmiştir.

Bu çalışmadan elde edilen bulgulara dayanarak; inovasyon seviyelerini artırmak ve bu yolla Endüstri 4.0 Sanayi Devrimini yakalamak isteyen ülkelerin; Ar-Ge harcamalarını, Ar-Ge alanında istihdam ettikleri araştırmacı sayısını, kişi başına düşen milli gelirlerini ve insani gelişmişlik seviyelerini artırıcı politikalar uygulamalarında yarar olduğu söylenebilir. Bunların gerçekleştirilebilmesi için başta eğitim, sağlık ve Ar-Ge harcamalarının artırılması, bu tür hizmet ve faaliyetlerin tüm vatandaşlar için yaygın hale getirilmesi gerekmektedir. Ekonomi biçiminin tanımı gereği; sahip olunan kıt beşerî ve finansal sermayenin de bu amaçlar doğrultusunda etkin kullanımına özel bir önem verilmelidir. Özellikle Türkiye gibi yüksek teknoloji ürün ihracatı oldukça düşük olan ülkelerin, Endüstri 4.0 sürecini daha yakından takip etmesi ve sürekli teknoloji ithal eden ülke konumundan çıkıp, teknolojiyi üreten ve ihraç eden ülke pozisyonuna geçmesi için gerekli çabayı göstermesi gerekmektedir. Bunun için eğitim sisteminin istikrarlı ve yenilik üretir şekilde planlanması, sahip olunan yüksek miktardaki genç nüfusun mesleki yeterliliklerinin artırılması, ülkedeki işsizlik (özellikle de genç işsizlik) sorunlarının bir an önce çözülmesi gerekmektedir. Teknoloji yatırımlarına, adil ve şeffaf devlet teşvikleri mutlaka sağlanmalıdır. Teknoloji yoğun yatırım yapacak yabancı firmalar ülkeye davet edilmeli ve onlara gerekli yasal ve hukukî güvenceler sağlanmalıdır. Yurt içinde faaliyet gösteren yerli firmaların dışa açılabilmesi, üretim teknolojilerini ve yönetim sistemlerini geliştirebilmeleri için ihtiyaç duyulan uzman personel desteği⁸ ve finansal kaynaklar sağlanmalıdır. Aksi takdirde Birinci ve İkinci Sanayi Devrimlerini kaçıran Osmanlı İmparatorluğu'nun dış borç sorunu gibi, Türkiye Cumhuriyeti de dış ticaret açığının neden olduğu cari açık ve dış borç sorununu aşmada problem yaşayarak, sürdürülebilir ve yüksek bir ekonomik büyüme seviyesine ulaşmada zorlanacaktır.

Son olarak; Endüstri 4.0 dönüşüm sürecinin, piyasadaki arz ve talep yapısında önemli değişimlere neden olacağı, buna bağlı olarak iş gücünden beklentilerin ve istihdam piyasalarının önemli ölçüde değişeceği hesaba katılmalı ve ileride büyük ölçekli yapısal (teknolojik) işsizlik sorunları ile karşılaşmamak için şimdiden iş gücünün eğitimi ve yeni sürece adaptasyonu ile ilgili çalışmalar başlatılmalıdır. Bu süreç bir yandan bazı işkollarında insan gücüne duyulan ihtiyacı azaltırken, diğer yandan yüksek nitelikli, teknolojiye yön verebilecek kişilere olan ihtiyacı artıracaktır. Yurt içi eğitim sistemi, yurt dışı eğitim iş birliği anlaşmaları, staj ve çalışma şartları bu doğrultuda yeniden dizayn edilmelidir. Bu konuda da kamu kesimi ile özel sektör yakın temas içinde olmalı ve sektörün talepleri sürekli olarak göz önünde tutulmalıdır. Üniversiteler bu değişimde lokomotif rolü üstlenmeli, teknokentler ve üniversite-sanayi-kamu kesimi iş birliği protokolleri imzalanıp, etkin biçimde hayata geçirilmelidir. Ayrıca Ar-Ge çalışmaları ile üretilen bilgiler ürüne, bu ürünleri endüstriye üretime dönüştürülerek, ülkelerin teknoloji yoğun ihracatları artırılmalıdır. Yeni geliştirilen ürünlerin zaman kaybetmeksizin patentlenmesi, bu çalışmalara zaman, emek ve kaynak ayıran kişi ve kuruluşların gelirlerini artırarak, onları yeni çalışmalar konusunda şevklendirecektir. Yaşanacak Endüstri 4.0 dönüşümüyle birlikte üretimde verimlilik artışları ve maliyet düşüşleri yaşanacağı için kitlesel üretime ve tüketimin artması beklenmektedir. Bu nedenle firmaların bu üretimi hanehalkına ulaştıracak büyük ölçekli dağıtım kanallarını kurmalarında, devletlerin de bu ürünlerin güvenli ve ekonomik biçimde taşınmasını mümkün kılacak altyapı ve üst yapı çalışmalarını hızlandırmalarında yarar vardır.

Bu çalışmanın en önemli kısıtı; doğrudan Endüstri 4.0 sürecini ölçebilecek bir verinin bulunmamasıdır. İlerleyen dönemlerde bu dönüşümü resmedebilecek yeni değişkenler tanımlandığında (yeni veri setleri ortaya çıktığında) araştırmacıların analizlerini bu verileri kullanarak yapmaları daha net sonuçlara ulaşmalarını sağlayabilecektir.

⁸ Bu konuda üniversite-sanayi iş birliğine özel bir önem verilmesi, sanayi kuruluşlarına danışmanlık/mentörlük yapan akademisyenlere kariyer ve maaşlar yönünden akademik teşvik uygulanması yararlı olabilecektir.

KAYNAKÇA

- ARSLAN, O. (2018), **Dijital Dönüşüm: Sanayi 4.0**, 21. Uluslararası İktisat Öğrencileri Kongresi, 25-27 Nisan, İzmir.
- AYDIN, E. (2018), **Türkiye’de Teknolojik İlerleme ile İstihdam Yapısındaki Değişme Projeksiyonu: Endüstri 4.0 Bağlamında Ampirik Analiz**, Yönetim Bilimleri Dergisi, 16 (31), 461-471.
- BALTAĞI, B. H. (2008), **Econometric Analysis of Panel Data**, 4th Edition, New York: John Wiley & Sons.
- BANGER, G. (2017), **Endüstri 4.0**, Dorlion Yayınları, Ankara.
- DALENOGARE, L. S., BENITEZ, G. B., AYALA N. F. ve FRANK, A. G. (2018), **The Expected Contribution of Industry 4.0 Technologies for Industrial Performance**, International Journal of Production Economics, 204, 383-394.
- DERELİ, S. (2015), **Klasikten Küresele Endüstri İlişkileri**, Dorlion Yayınları, Ankara.
- DİKKAYA, M., GENÇER, Ü. ve AYTEKİN, İ. (2018), **Endüstri 4.0 Devriminin Ekonomik Etkileri Üzerine**, 12. Uluslararası Kamu Yönetimi Sempozyumu, 25-27 Ekim, Kırıkkale.
- ERSOY, A. R. (2017), **Birinci, İkinci ve Üçüncü Sanayi Devrimi ve ardından Endüstri 4.0**, <http://www.makinamagazin.com.tr/haber/birinci-ikinci-ve-ucuncu-sanayi-devrimi-ve-ardindan-endustri-40/5186>, (Erişim Tarihi: 03.10.2019).
- FIRAT, S. Ü. ve FIRAT, O. Z. (2017), **Sanayi 4.0 Devrimi Üzerine Karşılaştırmalı Bir İnceleme: Kavramlar, Küresel Gelişmeler ve Türkiye**, Toprak İşveren Dergisi, 114, 10-23.
- GÜNAYDIN, D. (2018), **Türkiye’de Dördüncü Sanayi Devrimini Beklerken: Çerkezköy Organize Sanayi Bölgesi’nde Bir Araştırma**, Istanbul Management Journal, 29 (85), 73-106.
- HAUSMAN, J. A. (1978), **Specification Tests in Econometrics**, Econometrica, 46, 1251-1272.
- HP (2018), **HP İnce İstemci Ailesi**, http://h20195.www2.hp.com/v2/GetDocument.aspx?docname=4AA45632TRE&doctype=data%20sheet&doclang=TR_TR&searchquery=&cc=tr&lc=tr, (Erişim Tarihi: 08.10.2019).
- İM, K. S., PESARAN, M. H. ve SHIN, Y. (2003), **Testing for Unit Roots in Heterogeneous Panels**, Journal of Econometrics, 115, 53-74.
- İNAL, A. (2009), **Durağan Olmayan Paneller ve Bir Uygulama**, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Adana.
- JONES, C. I. (2007), **İktisadi Büyüme**, 2. Basım, (Çevirenler: Sanlı Ateş ve İsmail Tuncer), Literatür Yayıncılık, İstanbul.
- KAGERMANN, H., WAHLSTER, W. ve HELBİG, J. (2013), **Alman İmalat Endüstrisinin Geleceğini Güvence Altına Almak: Stratejik Girişim Industrie 4.0’ın Uygulamaya Konulması İçin Tavsiyeler**, Industrie 4.0 Çalışma Grubu Son Raporu.
- KAYGISIZ, E. ve SİPAHİ, H. (2018), **Y Kuşağı Üniversite Öğrencilerinin Bireysel Yenilik ve Endüstri 4.0 Bilgi Düzeyleri Arasındaki İlişkinin İncelenmesi**, Gaziantep University Journal of Social Sciences, 18 (2), 922-936.
- LEVIN, A., LIN, C. F. ve CHU, C. (2002), **Unit Root Tests in Panel Data: Asymptotic and Finite-Sample Properties**, Journal of Econometrics, 108, 1-24.
- LİN, K. C., SHYU, J. ve DİNG, K. (2017), **A Cross-Strait Comparison of Innovation Policy under Industry 4.0 and Sustainability Development Transition**, MDPI Sustainability, 9 (786), 1-17.
- MADDALA, G. S. ve WU, S. (1999), **A Comparative Study of Panel Data Unit Root Tests and a Simple Alternative**, Oxford Bulletin of Economics and Statistics, 61, 631-652.
- MARESOVA, P., SOUKAL, I., SVOBODOVA, L., HEDVICAKOVA, M., JAVANMARDI, E., SELAMAT, A. ve KREJCAR, O. (2018), **Consequences of Industry 4.0 in Business and Economics**, Economies, 4 (46), 1-14.
- MOHNEN, P. (2019), **R&D, Innovation and Productivity**, Maastricht University and UNU-MERIT, Growth Welfare Innovation Productivity, WP, N. 07/2019.
- ÖZDOĞAN, O. (2017), **Dördüncü Sanayi Devrimi ve Endüstriyel Dönüşüm Anahtarları**, Pusula Yayıncılık ve İletişim, İstanbul.
- ÖZTÜRK, S. ve ALAŞAHAN, Y. (2019), **Türkiye’de Endüstri 4.0 Uygulamalarının Değerlendirilmesi: Panel Veri Analiz**, Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 61, 1-18.
- ROMER, P. M. (1990), **Endogenous Technological Change**, Journal of Political Economy, 98 (5), 71-101.

- SAĞLAR, U. ve DERELİ, D. D. (2018), **Türkiye ve Sanayi 4.0: Yapısal Bir Değerlendirme**, Current Debates in Economics, JOPEC.
- SANDU, S. ve CIOCANEL, B. (2014), **Impact of R&D and Innovation on High-Tech Export**, Procedia Economics and Finance, 15, 80-90.
- SMLC (2019), **About SMLC**, <https://www.smartmanufacturingcoalition.org/about-2>, (Erişim Tarihi: 04.10.2019).
- TORRES-REYNA, O. (2017), **Time Series, (ver. 1.5)**, Princeton University, <https://www.princeton.edu/~otorres/TS101.pdf>, (Erişim Tarihi: 13.10.2019).
- TUNCEL, C. O. ve POLAT, A. (2016), **Sectoral System of Innovation and Sources of Technological Change in Machinery Industry: An Investigation on Turkish Machinery Industry**, Procedia-Social and Behavioral Sciences, 229, 214-225.
- TÜSİAD (2016), **Türkiye'nin Küresel Rekabetçiliği için Bir Gereklilik Olarak Sanayi 4.0: Gelişmekte Olan Ekonomi Perspektif**, Yayın No: TÜSİAD-T/2016-03/576.
- TÜSİAD (2017), **Türkiye'nin Sanayide Dijital Dönüşüm Yetkinliği Raporu**, Türkiye Sanayici ve İş İnsanları Derneği, Yayın No: TÜSİAD-T/2017;12-589.
- UÇAN, O. ve KOÇAK, E. (2018), **İnsani Gelişme Endeksi ile Büyüme İlişkisi: Pedroni Eşbütünleşme Örneği**, Journal of Politics, Economy and Management (JOPEM), 1 (2), 55-61.
- UNDP (2018), **İnsani Gelişme Endeksi ve Endikatörleri: 2018 İstatistik Güncellemesi**, https://www.tr.undp.org/content/turkey/tr/home/library/human_development/_nsani-geli-me-endeksleri-ve-goestergeleri--2018-statistiksel-gue.html, (Erişim Tarihi: 12.10.2019).
- UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME (2019), **Human Development Reports**, <http://hdr.undp.org/en/data/#>, (Erişim Tarihi: 12.10.2019).
- USTABAŞ, A. ve ERSİM, Ö. Ö. (2016), **The Effects of R&D and High Technology Exports on Economic Growth: A Comparative Cointegration Analysis for Turkey and South Korea**, International Conference on Eurasian Economies 2016, 29-31 August, Kaposvár-Hungary.
- WOOLDRIDGE, J. M. (2002), **Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data**, Cambridge, MA: The MIT Press.
- WORLD BANK (2021a), **High-Technology Exports (% of Manufactured Exports)**, <https://data.worldbank.org/indicator/TX.VAL.TECH.MF.ZS?view=chart>, (Erişim Tarihi: 09.10.2019).
- WORLD BANK (2021b), **GDP per Capita (Current US\$)**, <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.CD?view=chart>, (Erişim Tarihi: 09.10.2019).
- WORLD BANK (2021c), **GDP (Current US\$)**, <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD?view=chart>, (Erişim Tarihi: 09.10.2019).
- WORLD BANK (2021d), **Research and Development Expenditure (% of GDP)**, <https://data.worldbank.org/indicator/GB.XPD.RSDV.GD.ZS>, (Erişim Tarihi: 09.10.2019).
- WORLD BANK (2021e), **Researchers in R&D (per Million People)**, <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.SCIE.RD.P6?view=chart>, (Erişim Tarihi: 09.10.2019).
- WORLD BANK (2021f), **Population, Total**, <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL?view=chart>, (Erişim Tarihi: 09.10.2019).
- WORLD INTELLECTUAL PROPERTY ORGANIZATION (2019), **Global Innovation Index (GII) 2019**, <https://www.globalinnovationindex.org/analysis-indicator>, (Erişim Tarihi: 12.10.2019).
- YAZICI, E. ve DÜZKAYA, H. (2016), **Endüstri Devriminde Dördüncü Dalga ve Eğitim: Türkiye Dördüncü Dalga Endüstri Devrimine Hazır mı?**, Eğitim ve İnsani Bilimler Dergisi, 7 (13), 49-88.
- YILDIRIM, K., KARAMAN, D. ve TAŞDEMİR, M. (2009), **Makroekonomi**, 8. Baskı, Seçkin Yayınevi, Ankara.
- YILMAZ, Z. ve DANIŞOĞLU, F. (2017), **Ekonomik Kalkınmada Beşerî Sermayenin Rolü ve Türkiye'de Beşerî Kalkınmanın Görünümü Olarak İnsani Gelişim Endeksi**, Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 51, 117-147.
- YÜKSEKBİLGİLİ, Z. ve ÇEVİK, G. Z. (2018), **Endüstri 4.0 Bağlamında Türkiye'nin Yerine İlişkin Güncel ve Gelecek Eksenli Bir Analiz**, Finans Ekonomi ve Sosyal Araştırmalar Dergisi (FESA), 3 (2), 422-436.

EKLER

Ek 1. Veri setine ait tanımlayıcı istatistikler

Tanımlayıcı İstatistikler	LnGII	LnRDE	LnRDP	LnGDPPC	LnHDI
Ortalama	4,03	23,41	11,31	10,71	4,51
Ortanca	4,04	23,37	11,17	10,79	4,52
En Büyük	4,23	27,06	14,35	11,69	4,56
En Küçük	3,58	19,46	7,51	8,86	4,29
Standart Sapma	0,11	1,65	1,72	0,59	0,06
Çarpıklık	-1,92	-0,06	-0,26	-1,48	-2,49
Basıklık	8,08	3,02	2,80	5,30	8,25
Jarque-Bera	248,72	0,09	1,87	86,39	321,23
Olasılık	0,00	0,96	0,39	0,00	0,00
Toplam	592,28	3441,48	1662,75	1573,85	662,47
Standart Sapmaların Kareleri Toplamı	1,89	399,15	430,75	50,98	0,49
Gözlem Sayısı	147	147	147	147	147

Ek 2. Korelasyon matrisi

Değişkenler	LnGII	LnRDE	LnRDP	LnGDPPC	LnHDI
LnGII	1	0,182305	-0,08393	0,669234	0,702798
LnRDE	0,182305	1	0,842792	-0,11602	0,095298
LnRDP	-0,08393	0,842792	1	-0,55244	-0,36493
LnGDPPC	0,669234	-0,11602	-0,55244	1	0,882848
LnHDI	0,702798	0,095298	-0,36493	0,882848	1

Bu çizelgedeki bilgilere göre Küresel İnovasyon Endeksi ile en yüksek ilişkiye sahip olan veri; insani gelişmişlik seviyesidir (0,70). Onu kişi başına düşen milli gelir (0,66) ve Ar-Ge harcamaları (0,18) takip etmektedir. Ar-Ge alanında çalışan araştırmacı sayısı ile Küresel İnovasyon Endeksi arasında pozitif yönlü bir korelasyon beklenirken, bu değişkenler arasında negatif bir korelasyonun olduğu görülmüştür.

Ek 3. Optimum gecikme uzunluğu belirleme işlemi sonuçları

Gecikme	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	16,21991	NA	5,27e-07	-0,267141	-0,122449	-0,208976
1	1068,922	1955,019	1,25e-17	-24,73625	-23,86810*	-24,38726
2	1109,664	70,81251*	8,62e-18*	-25,11104*	-23,51944	-24,47123*
3	1131,932	36,05302	9,34e-18	-25,04600	-22,73093	-24,11536

* kriter tarafından seçilen gecikme sırasını gösterir

LR: sıralı modifiye LR test istatistiği (her test %5 düzeyinde), **FPE:** Son tahmin hatası, **AIC:** Akaike bilgi kriteri, **SC:** Schwarz bilgi kriteri, **HQ:** Hannan-Quinn bilgi kriteri Bu çizelgedeki sonuçlara göre; optimum gecikme uzunluğu 2'dir.

Ek 4. Otokorelasyon testi sonuçları

Gecikme	LRE* stat	df	Prob,	Rao F-stat	df	Prob.
1	33,75317	25	0,1133	1,372131	(25, 317,3)	0,1137
2	36,79093	25	0,0604	1,502672	(25, 317,3)	0,0607

Bu çizelgedeki olasılık değerleri 0,05'ten büyük olduğu için 2 gecikmeli VAR modelinde otokorelasyon sorunu yoktur, 2 gecikmeli VAR modeline ait değişen varyans testi sonuçları aşağıda yer almaktadır.

Ek 5. Değişen varyans testi sonuçları

Ki-kare	Serbestlik Derecesi	Olasılık
358,1802	300	0,1118

Bu çizelgedeki olasılık değerleri 0,05'ten büyük çıktığı için 2 gecikmeli VAR modelinde değişen varyans sorunu da yoktur.