



Endüstri 4.0'ın Ekonomik Büyüme Etkisi: Yenilikçi Ekonomilere Yönelik Ampirik bir Analiz

Hicran Kasa^{1*}

¹ Türk Hava Kurumu Üniversitesi, AHMYO, Yönetim ve Organizasyon Bölümü, Ankara, Türkiye (0000-0001-7266-0313)

(International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT) 2020 – 22-24 October 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.823569)

ATIF/REFERENCE: 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.

Öz

Endüstrileşme kavramı, bir taraftan gelişen teknolojilerin kullanımı ile artan verimliliğin GSYH'a yansımalarını nitelerken diğer taraftan ülkelerin iktisadi olarak refahının yanı sıra sosyal alanlarda da değişimini ifade etmektedir. Endüstrileşmenin itici gücü olan mekanik ve elektronik değişimler bilgi toplumunu, iletişim teknolojileri ve bilgisayarların sürece entegre edilmesi ise enformasyon devrimini gerçekleştirmiştir. Bu bağlamda, günümüzde Endüstri 4.0 olarak bilinen son sanayi devrimi, akıllı üretim sistemlerinin ve gelişmiş bilgi-iletişim teknolojilerinin endüstrileşmede yarattığı değişim ve dönüşümleriyle oldukça önemli hale gelmiştir. Solow büyüme modeli uzun dönemde ekonomik büyümenin temel kaynağının sermaye, emek ve işçi başına sermaye birikiminin yanı sıra dışsal faktörler olarak kabul edilen teknolojik gelişmeler ve inovasyon olduğunu savunmaktadır. Bu kapsamda, Endüstri 4.0 sürecine entegre olmayı başaran ve/veya uyum noktasında gerekli reformları yapmayı başarmış yenilikçi ülkelerin gelişimlerine en çok etki eden faktörleri irdelemek bu çalışmanın temel amacını oluşturmaktadır. Bu amaca uygun olarak dinamik panel veri modellerinden "Sistem GMM" tahmincisi kullanarak seçilmiş 16 ülkenin; Ar-Ge harcamaları, yüksek teknoloji ürün ihracatları, beşeri sermaye endeksi, doğrudan yabancı sermaye yatırımları ve patent başvurularının ekonomik büyüme etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar yüksek teknoloji ihracatı ve doğrudan yabancı sermaye yatırımlarının kişi başına GSYH'a pozitif etki ettiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Endüstri 4.0, Sistem GMM, Kişi Başına GSYH, İnovasyon

The Impact of Industry 4.0 on Economic Growth: An Empirical Analysis for Innovative Economies

Abstract

The concept of industrialization defines the change not only in the economic welfare of countries but also in social areas, due to the increase in the share of rising production in GDP with the use of developing technologies. The information society has been formed with mechanical and electronic changes, and the information revolution has taken place with the integration of communication technologies and computers into this process. In this context, the last industrial revolution known as Industry 4.0 has become very important with the changes and transformations created by smart production systems and advanced information-communication technologies in industrialization. The Slow growth model has been argued that the source of economic growth is not only capital, labor, and capital accumulation for the per worker but also technological developments and innovation, which are considered as external factors in the long run. Based on this argument, the aim of the study is to statistically examine the development of countries that have succeeded in integrating with the Industry 4.0 process and/or have succeeded in the necessary reforms in the process of adaptation. R&D expenditures, high technology product exports (HTE), human capital index, direct foreign capital investments, and high technology export impact on economic growth have analyzed by using the system GMM model for the selected innovative economies.

Keywords: Industry 4.0, System GMM, Economic Growth, Innovation

* Sorumlu Yazar: Türk Hava Kurumu Üniversitesi, AHMYO, Yönetim ve Organizasyon Bölümü, Ankara, Türkiye (0000-0001-7266-0313), hkasa@thk.edu.tr

1. Giriş

Mevcut küreselleşme dünya çapında sürekli artan sermaye ve tüketim malları talebini karşılama ve aynı anda insanoğlunun ekonomik, sosyal ve çevresel boyutlarıyla sürdürülebilir gelişimini amaçlamaktadır. Bu gelişimin sağlanması yaratılan endüstriyel katma değerın sürdürülebilir olmasını gerektirmekte ve günümüzde sanayileşmenin dördüncü aşaması ile biçimlendirilmektedir. Endüstri 4.0 olarak adlandırılan bu süreç ilk olarak 2011 yılında Almanya'da yüksek teknoloji stratejilerine dayalı yeni bir Alman ekonomi politikasının geliştirilebilmesi için bir öneri olarak doğmuştur. Hızlı, esnek ve düşük maliyetli üretime olanak sağlayan Endüstri 4.0; kaynakların tahsisi, yeni ürünler, malzemeler, enerji ve su kaynaklarının etkin kullanımı gibi alanlarda verimlilik artışı sağlarken, sürece adapte olabilen ekonomilere de birçok alanda rekabet üstünlüğünü beraberinde getirmektedir (Gabriel ve Pessl, 2016; Wagner, 2016). İmalat sanayinde gittikçe daha şiddetli hale gelen küresel rekabetle birlikte, nesnelere ve hizmetlerin internetini imalat sanayinde kullanmanın sağlayacağı avantajları fark eden tek ülke tabiki Almanya değildir. Dahası, Alman endüstrisine tehdit oluşturan sadece Asya ülkeleri değil aynı zamanda sanayisizleşme ile mücadele etmek için "gelişmiş üretimi" teşvik eden ABD gibi diğer birçok yüksek gelirli ekonomi de mevcuttur.

Teknolojik gelişmeler ve ekonomik büyüme ile ilişkisi 1980'lerden itibaren araştırmalara konu olmuştur. İçsel büyüme ve neo klasik büyüme teorilerinin aksine ekonomik büyümenin dışsal kabul edilen faktörlerin sonucu değil de ekonomik sistemin içsel bir sonucu olduğu savunulmuş dolayısıyla ülkeler arasındaki var olan refah farklılıkları teknolojik değişimlere bağlanmıştır. Böylelikle sanayi devriminden sonra kişi başına milli gelirdeki hızlı yükseliş teknolojik gelişmelere dayandırılarak, bilginin üretimde artan marjinal verimliliğe sahip bir girdi olarak kabul edildiği uzun vadeli bir büyüme modeli sunulmuştur (Romar, 1986; Lucas 1988). Ancak yeniliği ekonomik kalkınmanın temel itici gücü olarak gören Schumpeter (1911, 1939) , yaratıcı yıkımın işgücü piyasasına şiddetli ve uzun süreli sürüşmeler getirdiğini ayrıca işsizliğe neden olacağını savunmaktadır. Nitekim onun için teknolojik işsizlik açık arayla en önemli işsizlik türüdür.

Endüstriyel devrimlerin ilki İngilterede başlamış ve insanlık tarihinde önemli değişimlere yol açmıştır. Dönüm noktası olarak kabul edilen birinci sanayi devrimi günümüz ekonomik, siyasal ve toplumsal ilişkilerine de ışık tutmaktadır. 1775 yılında buhar gücü ile çalışan ilk makinanın keşfi ile İngilterede başlayan dönüşüm süreci kısa sürede dünyaya yayılmış üretimde birim maliyetler düşerken verimlilik artışı da sağlanmıştır. Bu süreç aynı zamanda küreselleşme algısının başlangıç noktası olarak kabul edilmektedir. 1870 lerde başlayarak 1989 kadar devam eden küreselleşmenin ikinci dalgası ise Endüstri 2.0'dır. Petrolün endüstrilerde kullanılmasıyla yeni içten yanmalı motor ve makineler geliştirilmiş dolayısıyla buhar makinalarının yerini alan bu teknoloji yapısal bir değişim ve dönüşümü de beraberinde getirmiştir. Söz konusu teknolojik gelişmeler her ne kadar arzın artmasına neden olsa da bu artış talebin ve yeni ürün beklentilerinin gerisinde kalmaya devam etmiştir. 1. Dünya savaşına tekabül eden bu süreçte, kalifiye iş gücü yetersizliği ve ekonomik koşullar nedeniyle işverenlerin yüksek ücret ödeme olasılığı da ortadan kalkmıştır. İkinci dünya savaşı ile bu sorunlar aşılmaya başlanmış elektrik enerjisinin üretimde kullanılmasıyla müşteri temelli üretim sistemleri oluşturulmuştur. Veri saklama ve elektronik sistemlere geçiş küreselleşmenin üçüncü dalgası olan Endüstri 3.0'a yön verecek gelişmelerdir. Elektronik ve bilişim teknolojilerinin ileri otomasyonda kullanılması olarak tanınabilecek Üçüncü Sanayi Devrimi programlanabilir mantıksal denetleyici cihazının üretimde kullanılmasıyla ortaya çıkan süreçtir. Söz konusu teknolojilerin kullanımı otomasyonu doğurmuştur (Kagermann, 2013).

İlk üç sanayi devrimi incelendiğinde mekanizasyon, elektronik ve bilişimin bir sonucu olarak ortaya çıkan yapısal dönüşümler ve reformlar dikkat çekmektedir. Nesnelere ve hizmetlerin interneti, siber-fiziksel sistemler gibi teknolojilerin üretim sürecine dahil edilmeleri ile akıllı fabrikaların oluşturulmaya başlanması ise içinde bulunduğumuz süreç olan Dördüncü Sanayi Devrimi olarak ifade edilmektedir. Böylelikle işletmeler, makinelerini, depolama sistemlerini ve üretim tesislerini Siber-Fiziksel Sistemler (CPS) ile birleştiren küresel ağlar kurabilmişlerdir. Bu sadece üretimin daha esnek bir şekilde yapılandırılmasının yanı sıra çok daha farklılaşmış yönetim ve kontrol süreçleri sunmaktadır. Bu nedenle Endüstri 4.0, mevcut bilgi iletişim (IT) tabanlı süreçleri optimize etmenin yanı sıra, daha önce kaydedilmesi imkansız olan hem ayrıntılı süreçlerin hem de genel etkilerin küresel ölçekte izlenebilmesine olanak tanımaktadır. Alışla gelmiş birçok iş yapma biçimini farklılaştıran dördüncü sanayi devrimi ile farklı uygun fiyatlı teknolojilerin yakınsanması ekonominin tüm alanlarını da dönüştürmüştür.

Dünya Fikri Mülkiyet Kurumu (WİPO) liderliğinde hazırlanan Küresel İnovasyon Endeksi, dünyada ekonominin itici gücü olarak inovasyonu görmekte, bu nedenle ekonomik kalkınma ile inovasyon arasındaki ilişkiyi araştırmaktadır. WİPO'nun 2020 yılı raporunda Türkiye 52. sırada yer almakta olup gelişmekte olan ülkeler kategorisinde de onuncu sırada bulunmaktadır. Üst orta gelirli ülkeler arasında ise ilk 25 de yer alan üst orta gelirli tek ülke Çin'dir. Listenin ilk onunda yer alan ülkeler, gelir grupları ve buldukları bölgeler ve sıralamalarına ilişkin bilgiler Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1: İnovasyon Endeksi Yüksek Olan İlk On Ülke ve Bölgesel Sıralamaları (2020)

Ülkeler	Puan	Global Sıralama	Gelir Seviyesi	Gelir Gruplarına Göre	Bölgeler	Bölgesel Sıralama
İsviçre	66.08	1	Yüksek Gelir	1	Avrupa	1
İsveç	62.47	2	Yüksek Gelir	2	Avrupa	2
Amerika	60.56	3	Yüksek Gelir	3	Kuzey Amerika	1
İngiltere	59.78	4	Yüksek Gelir	4	Avrupa	3
Hollanda	58.76	5	Yüksek Gelir	5	Avrupa	4
Danimarka	57.53	6	Yüksek Gelir	6	Avrupa	5
Finlandiya	57.02	7	Yüksek Gelir	7	Avrupa	6
Singapur	56.61	8	Yüksek Gelir	8	Güneydoğu Asya	1
Almanya	56.55	9	Yüksek Gelir	9	Avrupa	7
G. Kore	56.11	10	Yüksek Gelir	10	Güney Doğu Asya	2

Kaynak: WİPO Global İnnovation Index 2020

İlk 10'da yer alan ülkelerin tamamının yüksek gelirli ülkeler olduğu, raporun son sıralarında yer alan ülkelerin genelinen ise düşük gelirli Sahra-Altı Afrika bölgesinde yer alan Mozambik, Etiyopya, Nijerya gibi ülkelerden oluştuğu görülmektedir. Sürdürülebilir ekonomik büyümeyi sağlayabilen ülkelerin temelde Ar-Ge'ye yatırım yapan, inovasyon yapabilen, teknolojik yenilikleri takip edebilen dolayısıyla toplam faktör verimliliğini artırabilen gelişmiş ülkeler olduğu görülmektedir.

Bu çalışma 1980'den günümüze özellikle bilgi iletişim teknolojileri alanında hız kazanan teknolojik gelişmelerin ülkelerin ekonomik büyümelerine etkilerini ölçmeyi amaçlamıştır. Bu amaçla, teknolojik değişimin önceki çalışmaların aksine, makroekonomik unsurlara ve bir bütün olarak ekonominin tamamı üzerine etkisi gözlemlenmek istenmiştir. Firma düzeyindeki çalışmalar genellikle yenilik yapan firmaları dikkate alırken rakip firmalar ve/veya diğer sektörleri konu dışında bırakmışlardır. Sektör düzeyindeki çalışmalar ise belirli endüstrilerdeki yeniliklerin etkisini tahmin etmekte, ancak bir bütün olarak ekonomi üzerindeki etkiyi irdelememektedirler. Ekonomi üzerindeki genel etki ancak makroekonomik çalışmalarca değerlendirilebilir.

Bu kapsamda, Endüstri 4.0 sürecine entegre olabilmemiş ve uyum noktasında gerekli reformları yapmayı başarmış ülkelerin bölgesel ekonomik gelişmişlik seviyelerine teknolojinin etkisini ölçmek maksadıyla 2020 Küresel İnovasyon Endeksi'nde ön sıralarda yer alan 16 gelişmiş ve gelişmekte olan ülke araştırmaya dahil edilmiştir. Böylelikle bağımsız değişkenlerin ülkelerin ekonomik büyümelerine etkilerine ilişkin genel sonuçlar elde etmenin yanı sıra her bir bölgesel farklılık göz önüne alınarak da sonuçlar değerlendirilebilecektir. Yeni nesil panel veri analizlerinden Sistem GMM modeli ile ülkelerin inovatif olmalarını dolayısıyla ekonomik büyümelerini destekleyen Ar-Ge harcamaları, patent başvuruları, beşeri sermaye, yüksek teknoloji ürün ihracatları, doğrudan yabancı sermaye yatırımlarının ekonomik büyümeye etkisi araştırılmıştır. İlerleyen bölümlerde öncelikle literatür incelemesi yapılacak daha sora sırasıyla veri ve metodoloji, tahmin sonuçlarına yer verilecektir.

Literatür

Endüstri 4.0 Nesnelerin İnterneti (IoT), artırılmış gerçeklik, katmanlı imalat (AM), büyük veri, bulut bilişim, simülasyon, endüstriyel otomasyon, siber güvenlik gibi teknolojilerin dahil edilerek söz konusu ileri teknolojilerin iş akışlarını sürekli iyileştirme metodolojilerine entegre edebilen dijital dönüşüm çağını ifade etmektedir (Barreto vd., 2017; Li ve Yang, 2017; Trompisch, 2017; Wagner vd., 2017; Kasa ve Arslan, 2020; Nascimento, vd. 2019). Dolayısıyla bilgi iletişim teknolojilerinin ve veri depolama tekniklerinin gelişimi ile Endüstri 4.0 araştırmacılar, akademisyenler, işletmeler ve diğer paydaşlar tarafından giderek daha çok araştırılan bir konu haline gelmiştir. Dördüncü Sanayi Devrimi ve ekonomik etkilerine yönelik çalışmalar ampirik ve teorik olarak iki grupta değerlendirilebilmektedir. Bu kapsamda Roblek, vd. (2016), Endüstri 4.0'ın bilinen teori ve uygulamalarını sentezleyerek nesnelerin internetinin gelişmesi ile ortaya çıkacak değişiklikleri araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlar üretici ve tüketici arasındaki ilişkinin yeni bir ifadesi olarak ortaya çıkan nesnelerin internetinin (IoT teknolojisi), işletmenin değeri bakımından oldukça önemli olduğunu ve neredeyse tüm sektörlerde katma değerli yeni ürünler, hizmetler ve iş modellerinin oluşturulmasını sağladığını göstermektedir (Dutton, 2014; Forrest and Hoanca, 2015; Yu et al., 2015). Dolayısıyla, dijitalleşme ile gerçek ve sanal dünyaların sürekli yakınsaması, ekonominin tüm sektörlerinde yenilik ve değişimi ana itici güç haline getirmektedir (Kagermann, 2015). Bu bağlamda sürecin olumlu olduğu kadar olumsuz etkileri de literatürde yer bulmuştur. Kerem, (2018) tarafından sürdürülebilirliğe olan etkisi üzerine yapılan çalışmalar değerlendirilmiştir ve Türkiye'nin adaptasyonu noktasında öneriler sunulmuştur.

Kaynakların sürdürülebilirliği ve gelecek nesillere aktarımının sağlanmasında endüstri 4.0 ile sürdürülebilir kalkınma arasındaki ilişki büyük önem taşımaktadır (Bakkari ve Khatory, 2017). Bu bağlamda Endüstri 4.0 işletmelerin üretim, lojistik ve kalite yönetim maliyetlerinde ortalama %10 ila % 30 arasında azalmaya neden olacaktır (Rojko, 2017). Avrupa Birliği ülkelerin de endüstriyel üretim sektörü ekonomik büyümeye etki eden tüketim, yatırım, istihdam gibi kalemlerin önemli itici güçüdür ve Avrupa birliğinin ihracatının %75'ini ve tüm yeniliklerinin ise % 80 kapsamaktadır (Hofmann ve Rüsçh, 2017). Ancak yeterli kurumsal denetim mekanizmasına sahip olmayan ve endüstrileşme sürecini geriden takip eden ülkelerde bu süreci hızlandıracak sistemlerin yatırım getiri oranı cazip gelmemekte dolayısıyla akıllı fabrikaları destekleyen yatırımlar düşük seviyede kalmaktadır (Stăncioiu, 2017). Uzun dönemde dijitalleşmeye yönelik yatırımların artacağı da bilinen bir gerçektir (Baysal, 2015). Dolayısıyla kısa vadede inovasyonun yarattığı teknolojik gelişmelerden özellikle istihdam üzerinde yaratacağı olumsuz etkilerden uzun dönemde kaçış mümkün olmayacaktır (Deloitte, 2016; Kabaklarlı ve Atasoy, 2016). İşsizliğin artabileceği endişesiyle gelişen ve değişen teknolojilere tepki olarak ortaya çıkan birçok eylem yeni sanayi devrimleriyle son bulmuş ve modern insan karşı konulamaz bu süreci kabullenmiştir (Kabaklarlı, 2016). Yeni mesleklerin doğuşu işsizlikten ziyade yeni niteliklere sahip işgücü ihtiyacını da beraberinde getirmiştir.

Teknolojik değişimleri ele alarak yapılan ampirik çalışmaların temelinde Ar-Ge harcamaları yer almaktadır. Bu değer ülkelerin teknoloji üretme ve geliştirmeye yönelik çabalarını göstermektedir. Aynı zamanda Ar-Ge'ye yönelik yatırımlar ülkelerin yüksek teknoloji mal ve hizmet üretme kapasitelerini, dolayısıyla net ihracatlarını, istihdamlarını ve ekonomik büyümelerini uzun dönemde pozitif yönde etkilemektedir. Feldmann (2013), 21 endüstri ülkesinin Ar-Ge harcamaları ve patent sayılarından yola çıkarak inovasyonun işsizlik üzerine etkisini regresyon analizi ile incelemiştir. 1985-2009 yıllarını kapsayan panel veri analizinde Sistem GMM modeli kullanılmış ve kısa dönemde teknolojinin işsizlik üzerine etkisi negatif görülürken üç yıllık bir sürecin ardından bu etkinin pozitif yönüne dönüştüğü gözlemlenmiştir. Teknoloji yeni becerilerin gerekliliğini ortaya çıkartırken bu becerilere sahip olmayan insan kaynağı ihtiyacının azalmasına da neden olmuştur (Michelacci and Lopez-Salido, 2007). İçinde bulunulan dönemin gerektirdiği niteliklere sahip emek gücünün ücret ve ortalama gelirleri de teknolojik gelişmelere paralel olarak artmıştır (Weiss and Garloff, 2011). Ücretlere yönelik değişikliklerin, Cafri (2018)'in 28 OECD ülkesini ve 1997-2010 yıllarını kapsayan panel veri analizi, gelir adaletsizliğinde artışa neden olduğunu göstermektedir. Bogliacino (2014), 2000-2008 yıllarını kapsayan istihdam, yatırım ve Ar-Ge harcamalarına ilişkin dengesiz panel (unbalanced panel) veri setinden yola çıkarak yaptığı analiz sonucunda yenilikçi yaklaşımların istihdam etkisini incelemiştir. Sonuçta verimlilik artışı elde edilirken, istihdamda daha az yetenek gerektiren işlere doğru kaymalar meydana gelmiştir. Endüstri 4.0'a ilişkin teorik incelemelerde oldukça yer verilen ve sürecin en önemli yapıtaşlarından biri olan bilgi iletişim teknolojilerinin, Ar-Ge

harcamaları ve yüksek teknoloji ürün ihracatı arasındaki ilişkinin ülke ekonomilerine yansımaları Göçer (2013) tarafından araştırılmıştır. 11 Asya ülkesinden yola çıkılarak elde edilen regresyon sonucunda söz konusu üç değişkenin büyümeye pozitif etki ettiği gözlemlenmiştir. Buerger vd. (2012) yaptıkları çalışmada Almanya da artan patent sayılarını tıbbi ve optik ekipman endüstrisinin yanı sıra elektrik ve elektronik endüstrisindeki istihdamın artmasıyla ilişkilendirmişlerdir. Bu artış araştırmaya konu olan 1999-2005 yıllarını kapsamakta olup söz konusu alanlara yönelik yapılan yatırımların etkin kullandığını göstermektedir. Benzer şekilde Bogliacino ve Vivarelli (2012), 1996'dan 2005'e kadar 15 Avrupa ülkesinde 25 imalat ve hizmet sektörünü kapsayan çalışmalarında işletmelerin Ar-Ge harcamalarının (kendi görüşlerine göre, ürün yeniliğinin bir öngörücüsü) iş yaratan bir etkisi olduğunu sonucuna varmışlardır. Bilişim teknolojileri harcamalarının çeşitli bileşenlerine ilişkin veriler kullanılarak 1987-1991 yılları arasında verimliliğe etkisi, 1991 yılında yaklaşık 1.8 trilyon dolar çıktı üreten 367 firmada araştırılmıştır. Sonuç olarak bilişim teknolojilerinin verimliliğe etkisinin pozitif yönlü olduğu bulunmuştur (Brynjolfsson & Hitt, 1996). Bilişim teknolojilerine yönelik harcamaların imalat sanayi maliyetlerini %20 oranında azalttığı da ayrıca Morrison & Berndt (1990) tarafından ekonometrik olarak saptanmıştır.

Endüstri 4.0 ile hayatımıza giren yeni teknolojiler ve birebirleriyle iletişim kurabilen, sensörler yardımıyla ortamı algılayabilen, veri toplama ve veri analizi ile tüketicinin değişen taleplerini ve ihtiyaçlarını tahmin edebilen robotlar, üretim sistemlerinde kullanılmaya başlanılmıştır. Böylelikle daha etkin, verimli ve düşük maliyetli üretim yapılabilmektedir. İlgili literatürden yola çıkılarak söz konusu teknolojik değişim ve dönüşümlerin yarattığı makroekonomik etkilerin ampirik analizlerde çoğunlukla işsizlik, istihdam ve ihracat üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Bu nedenle çalışmada, teknolojik gelişmişlik seviyesinin artmasına neden olan faktörlerin ve yüksek teknoloji ürün ihracatı, yabancı sermaye yatırımları gibi çıktılarının ülkelerin refahına olan etkisinin sorgulanması amaçlanmıştır. Değişkenlerin seçiliminde bilhassa Doğu Asya ülkelerinde gözlemlenen teknolojik gelişmelere etki eden faktörler göz önüne alınmıştır.

Veri ve Metodoloji

Çalışmanın ampirik bölümünde dijital ekonominin yani nesnelerin inteneti, sanal gerçeklik, bulut teknolojileri, Siber-Fiziksel Sistemler gibi Endüstri 4.0 teknolojilerinin temsili olarak Ar-Ge harcamaları, patent başvuru sayıları ve beşeri sermaye indeksi kullanılmıştır. Kontrol değişkenler ise yüksek teknoloji ürün ihracatı ve doğrudan yabancı sermaye yatırımlarıdır. Her bir değişkene ilişkin semboller, derlendiği veri tabanları ve açıklayıcı bilgiler Tablo 3 de sunulmuştur. Söz konusu değişkenlerin kişi başına GSYH hasılaya etkisi yeni nesil panel veri modellerinden Sistem GMM yardımı ile analiz edilmiştir.

Tablo 3: Değişkenlerin Tanımları

gdp	World Bank Kişibaşına GSYH (constant 2010 US\$)	Kişi başına GSYH, gayri safi yurtiçi hasılanın yıl ortası nüfusa bölünmesiyle elde edilir.
rd	Dünya Bankası (% GSYH), OECD	Araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) için ayrılan gayri safi yurtiçi harcamalarıdır. GSYH'nın yüzdesi olarak ifade edilir. Dört ana sektöre (Özel kar amacı gütmeyen kuruluşlar, Devlet, Ticari İşletmeler, Yükseköğretim) ilişkin hem cari hemde sermaye harcamalarını kapsamaktadır. Ar-Ge, temel araştırma, uygulamalı araştırma ve deneysel geliştirmeyi kapsar.
hte	Orta ve Yüksek Teknoloji İhracatı	Orta ve yüksek teknoloji imalat ihracatının, toplam mamul ihracatı içindeki payı.
pat	Dünya Bankası	Patent başvuruları, bir buluş için münhasır haklar elde etmek amacıyla Patent İşbirliği Anlaşması prosedürü ile bir ulusal patent ofisi tarafından yapılan dünya çapındaki başvuruları ifade eder. Bir ürün veya bir şeyi yapmanın yeni bir yolunu sağlama veya bir soruna yeni bir teknik çözüm sunan işlemlerdir. Bir patent, sahibine kullanım hakları için sınırlı bir süre sağlar (Genellikle 20 yıl süreyle koruma sağlar).
fdi	Dünya Bankası	Doğrudan yabancı yatırım, ekonomisindeki doğrudan yatırım, özkaynak akışlarını ifade eder. Öz sermaye, kazançların yeniden yatırımı ve diğer sermayenin toplamıdır. Doğrudan yatırım, başka bir ekonomide ikamet eden bir işletmenin yönetimi üzerinde kontrole veya önemli derecede etkiye sahip bir ekonomide ikamet eden bir kişi ile ilişkili bir sınır ötesi yatırım kategorisidir. Doğrudan yatırım ilişkisinin varlığını belirleme kriteri, oy hakkına sahip adi hisse senetlerinin yüzde 10 veya daha fazlasına sahip olmasıdır. Veriler, cari ABD doları cinsinden verilmiştir.
hc	Penn World Table	İnsan gelişiminin üç temel boyutunda ortalama başarıyı ölçen bileşik bir endekstir. Uzun ve sağlıklı bir yaşam, bilgi ve makul bir yaşam standardını ifade etmektedir. Beşeri sermaye ayrıca eğitim yılı temel alınarak hazırlanmaktadır.

Teknolojik gelişmelerin kişi başına GSYH'ya etkisinin incelendiği analizde 1991- 2018 yıllarını kapsayan 16 ülkeye ait yıllık veriler kullanılmıştır. Bu ülkeler küresel inovasyon endeksi 2020 yılı raporundan yola çıkılarak seçilmiştir. Söz konusu endeks ayrıca ülkelerin gelir grupları ve bölgesel dağılımlarını da dikkate alacak şekilde hazırlanmıştır. Buna göre seçilen 16 ülke Asya, Avrupa ve Amerika kıtalarında yer alan ve inovasyon endeksi dünya saralamasında ilk on sırada olan ülkelerdir. Bu ülkeler sırasıyla Avrupa kıtası için İsviçre, Finlandiya, İngiltere, Hollanda, Danimarka Amerika kıtası için Amerika, Kanada, Şili, Brezilya, Meksika Asya kıtası için Singapur, Çin, Kore, Hong Kong, Japonya ve Türkiye'dir. Türkiye dünya genelinin 51, yüksek orta gelirli ülkeler sıralamasında 8. sırada yer almaktadır. Ülkelerin 11'i gelişmiş 5'i ise gelişmekte olan ekonomilerdir.

Sistem Genelleştirilmiş Monmentler Yöntemi (GMM) esasına dayanan dinamik panel veri tahmincisi Holtz-Eakin ve Rosen (1988); Arellano and Bond (1991); Arellano and Bover (1995); Blundell and Bond (1998) tarafından geliştirilmiştir (Roodman, 2009). Öncelikle teknolojik gelişmelerin kişi başına GSYH'ya etkisinin tahmininde aşağıda yer alan dinamik panel regresyon denklemi kullanılmıştır.

$$gdp_{i,t} = \alpha + \rho gdp_{i,t-1} + \beta X_{i,t} + \delta TG_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (1)$$

$$i = 1, 2, \dots, N, t = 1991, \dots, T$$

“gdp” kişi başına düşen (GSYH)’ı, $\rho gdp_{i,t-1}$ gecikmeli GSYH değerini, $X_{i,t}$ açıklayıcı değişkenlerin vektörünü yani yüksek teknoloji ürün ihracatı ve doğrudan yabancı sermaye yatırımlarını göstermektedir. İlave olarak $TG_{i,t}$ ise teknolojik gelişmeleri yani patent başvuruları, beşeri sermaye ve Ar-Ge harcamalarını yansıtmaktadır. $\varepsilon_{i,t}$ ise t zamanında i ülkesi için hata terimidir. Araç değişkenlerin geçerliliği (validity) iki farklı test ile tahmin edilmektedir. Hansen testi, GMM tahmininde kullanılan araç değişkenlerin dışsallığını kontrol etmek için kullanılırken, Arellano ve Bond (1991) testi 1. ve 2. dereceden otokorelasyonu kontrol etmek amaçlıdır (Emara ve Kasa, 2020).

İkinci denklem ise ilk denklemin birinci farkını göstermektedir. Arellano and Bond (1991) tarafından önerildiği şekli ile Sistem GMM denklem (1) ve denklem (2)’i aşağıda gösterildiği şekliyle birleştirmektedir.

$$(gdp_{i,t} - gdp_{i,t-1}) = \alpha + \rho(gdp_{i,t-1} - gdp_{i,t-2}) + \beta(X_{i,t} - X_{i,t-1}) + \delta(TG_{i,t} - \delta TG_{i,t-1}) + (\varepsilon_{i,t} - \varepsilon_{i,t-1})$$

Ayrıca, teknoloji gelişme değişkenlerinin kişi başına GSYH üzerindeki potansiyel doğrusal olmayan etkisini incelemek için, TG değişkeninin karesi aşağıda gösterildiği gibi modele eklenmiştir,

$$gdp_{i,t} = \alpha + \rho gdp_{i,t-1} + \beta X_{i,t} + \delta TG_{i,t} + \gamma TG_{i,t}^2 + \varepsilon_{i,t} \quad (3)$$

Teknolojik gelişmelerin yurtiçi tasarruflar üzerindeki toplam etkisi, γ katsayısına δ katsayısı eklenerek tahmin edilir ve etkinin istatistiksel önemi, bu iki katsayının standart hataları kullanılarak tahmin edilir. Son olarak, finansal erişim değişkenlerinin yurtiçi tasarruflar üzerindeki etkisi açısından Asya, Avrupa ve Amerika arasındaki bölgesel farklılıkları incelemek amacıyla, veriler her bölge için sınırlandırılmış ve denklem (3) sırayla her bölge için yeniden tahmin edilmiştir.

Tahmin Sonuçları

Bu bölümde örneklemin tamamını kapsayan regresyon analizine ilişkin elde edilen bulgular ve bölgesel farklılıklar değerlendirilmektedir. Buna göre Tablo 4, teknolojik faktörler gözününe alınarak doğrudan yabancı sermaye yatırımları ve yüksek teknoloji ürün ihracatı ile GSYH arasındaki ilişkiyi gösterilmektedir. Ana modelde yer alan söz konusu bağımsız değişkenler beklenildiği üzere pozitif ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Sütun 1, GSYH’nın gecikmeli değerini göstermekte ve istatistiksel olarak pozitif ve anlamlı bir korelasyon olduğunu teyit etmektedir. Sütun 2 ve 3, doğrudan yabancı sermaye yatırımları ve yüksek teknoloji ürün ihtacatının büyüme üzerine anlamlı ve pozitif etki ettiklerini ayrıca sermaye yatırımlarında meydana gelecek %1 oranındaki artışın büyümeyi %18.38, yüksek teknoloji ürün ihracatındaki %1’lik artışın ise büyümeyi %11.12 oranında artıracaklarını göstermektedirler. Hansen testi, kullanılan veri setinin eksojen dağılımını dolayısıyla regresyonda kullanılan araç değişkenler geçerli ve modelin uygun olduğunu ispatlamaktadır. Ayrıca Arellano Bond (1991) AR1 ve (AR2) testleriyle seri korelasyonun olmadığını göstermektedir.

Tablo 5’te teknolojik gelişmeyi niteleyen göstergelerin ekonomik büyümeye etkisinin bölgesel dağılımlarını görebileceğimiz regresyon sonuçları sunulmuştur. Buna göre sırasıyla Ar-Ge harcamaları “rd”, patent başvuruları “pat” ve sosyal sermaye “hc” olarak isimlendirilmiştir. Öncelikle Tablo 5’te küresel inovasyon endeksinde üst sıralarda yer alan Avrupa ülkelerine ilişkin regresyon sonuçları yer almaktadır. İlk sütunda Ar-Ge harcamaları katsayı değeri istatistiksel olarak anlamlı olmakla birlikte büyümeyi negatif yönde etkilediği görülmektedir. Ar-Ge harcamalarındaki %1’lik artış kişi başına GSYH’da %0.3 oranında azalmaya neden olmaktadır. Bu sonuç Avrupayı temsil eden ülkelerde Ar-Ge harcamalarının etkin ve verimli kullanılmadığının bir göstergesi olabilecektir. Benzer şekilde Avrupa’da Endüstri 4.0 sürecindeki teknolojik gelişmeleri temsilen kullanılan patent başvuruları da istatistiksel olarak anlamlı ancak kişi başına GSYH’ya etkisi negatiftir. Patent başvurularında meydana gelecek %1’lik artış kişi başına GSYH’i %0.08 oranında negatif etkilemektedir. Elde edilen regresyon analizi sonucunda beşeri sermaye ve kişi başına GSYH arasında doğrusal olmayan bir ilişki (nonlinear) tespit edilmiştir. Kontrol değişkeni olarak modelde yer alan doğrudan yabancı sermaye yatırımları ve yüksek teknoloji ürün ihracatının kişi başına GSYH’ya etkileri istatistiksel olarak anlamlı ve pozitifdir. Modele teknolojik göstergeler sırasıyla eklendiğinde “fdi’nin” %1’lik artışı kişi başına GSYH’i %9.74, %6.68, %12.86 oranında artırmaktadır. Modele teknolojik göstergeler sırasıyla eklendiğinde hte’nin” %1 oranında artışı kişi başına GSYH’i %40.94, %51.43, %22.10 oranında artırmaktadır.

Amerika kıtasında bulunan ve küresel inovasyon endeksinde üst sıralarda yer alan gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelere ilişkin regresyon sonuçları Tablo 5’in ikinci kısmında yer almaktadır. Buna göre doğrudan yabancı sermaye yatırımları istatistiksel olarak anlamlı ve kişi başına GSYH’ya pozitif etki etmektedir. Doğrudan yabancı sermaye yatırımlarında “fdi” meydana gelen %1’lik artış kişi başına GSYH’i %27.37 oranında artırmaktadır. Benzer şekilde Ar-Ge harcamaları istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif etkiye sahiptir. Ar-Ge harcamalarında “rd” meydana gelen %1’lik artış kişi başına GSYH’i %0.07 oranında artırmaktadır. Bu durum teknoloji gelişmeleri temsilen modele dahil edilen Ar-Ge harcamalarının etkin kullanımını temsil etmektedir.

Asya kıtasında bulunan ve küresel inovasyon endeksinde üst sıralarda yer alan gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelere ilişkin regresyon sonuçları Tablo 5'in son kısmında yer almaktadır. Buna göre hem doğrudan yabancı sermaye yatırımları hem de yüksek teknoloji ürün ihracatı istatistiksel olarak anlamlı ve kişi başına GSYH üzerinde pozitif etkiye sahiptirler. Doğrudan yabancı sermaye yatırımlarında "fdi" meydana gelen %1'lik artış Ar-Ge harcamaları modele dahil edildiğinde kişi başına GSYH'i % 28.52 oranında, paten başvuruları dahil edildiğinde % 28.58 oranında ve beşeri sermaye endeksi dahil edildiğinde %30.09 oranında artırmaktadır. Benzer şekilde "hte" de %1'lik artış Ar-Ge harcamaları modele dahil edildiğinde kişi başına GSYH'i %0.07 oranında, paten başvuruları dahil edildiğinde % 6.82 oranında, beşeri sermaye endeksi dahil edildiğinde ise % 6.93 artırmaktadır.

Sonuç

İlk olarak Almanya tarafından Hannover fuarında ortaya atılan Endüstri 4.0 sürecinin temelinde emek faktörüne ihtiyaç duyulmadan otonom olarak faaliyet gösterebilecek makine ve üretim sistemleri kurmak vardır. Akıllı hale getirilmek istenen fabrikalar ve üretim sistemleri ile emek faktörü kaynaklı oluşabilecek hatalar minimize edilebilecek ve en yüksek seviyede verimlilik artışı sağlanabilecektir. Ayrıca tüketici talebine yönelik olarak, ürünün yaşam döngüsü içerisinde siparişinden teslimine kadar denetlenebildiği, faaliyetlerin otonom sistemlerle gerçekleştirildiği, böylece en az hata ve aksamayla müşteri memnuniyetinin en yüksek seviyeye çıkarılabildiği üretim sistemleri yaratılabilir. Dolayısıyla bu üretim modeli işletme maliyetlerinin olabildiğince düşürülmesine olanak sağlamaktadır (Görçün, 2016). Etkilerini hayatın durağan akışında oldukça hissettiğimiz Dördüncü Sanayi Devrimi'nin ekonomiye yansımalarının ölçülebilmesi bu çalışmanın amacıdır. Bu amaç doğrultusunda giriş bölümünde Endüstri 4.0 nedir, etkileri nelerdir sorularına yanıt aranmış ayrıca endüstri devrimleri ve teknolojik gelişmelere dikkat çeken büyüme teorilerine değinilmiştir. Daha sonra ilgili literatür ampirik ve teorik olarak iki grupta incelenmiştir. Teorik çalışmalar, Endüstri 4.0 teknolojileri olarak bilinen Nesnelerin İnterneti (IoT), artırılmış gerçeklik, katmanlı imalat (AM), büyük veri, bulut bilişim, simülasyon, endüstriyel otomasyon, siber güvenlik gibi teknolojilerin ekonomiye yansımalarını büyük oranda mikro ölçekte incelerken, ampirik çalışmaların ise özellikle istihdam, net ihracat, büyüme gibi makro büyüklüklere olan etkilere yoğunlaştığı görülmektedir. Özellikle teknolojik gelişmelerin büyümeye pozitif yönde etki edeceğine yönelik kurulan regresyonda, yüksek teknoloji ürün ihracatı ve doğrudan yabancı sermaye yatırımları kontrol değişkeni olarak kullanılmıştır. Söz konusu kontrol değişkenlerin seçilme nedeni bir ülkede teknolojik gelişimin çıktısı olarak görülebilecek yüksek teknoloji ürün ihracatı ve teknolojik ürün üretimine kaynak sağlayabilecek doğrudan yabancı sermaye yatırımının büyümeyi olumlu etkileyeceği gerçeğidir. Nitekim modele konu olan ülkelere yönelik yapılan temel analizde (bkz. Tablo 5) her iki değişkende istatistiksel olarak anlamlı ve kişi başına GSYH üzerinde pozitif etkiye sahiptir. Ancak ülkelerin bölgesel farklılıkları göz önüne alınarak yapılan gruplandırmaya ilişkin sonuçlarda, Avrupa ve Asya'da hem yüksek teknoloji ürün ihracatı hem de doğrudan yabancı sermaye yatırımları istatistiksel olarak anlamlı ve kişi başına GSYH üzerinde pozitif etkiye sahip iken Amerika'da aynı durum söz konusu değildir. Bu kıtada yalnızca patent sayılarının modele eklendiğinde doğrudan yabancı sermaye yatırımları istatistiksel olarak anlamlı ve kişi başına GSYH üzerinde pozitif etkiye sahiptir.

Bu çalışmada, Endüstri 4.0 ve dolayısıyla teknolojik gelişmelerin bölgesel etkileri patent başvuruları, Ar-Ge harcamaları ve sosyal sermaye endeksinden yola çıkılarak tahmin edilmiştir. Bu bağlamda Amerika ve Asya kıtalarından seçilen ülkelerde her üç değişken ile kişi başına GSYH arasında doğrusal olmayan (nonlinear bir ilişkinin olduğu) sonucuna varılmıştır. Avrupa ülkelerinde ise kişi başına GSYH'e pozitif yönde etki etmesi beklenen Ar-Ge harcamaları ve patent başvurularının negatif ancak istatistiksel olarak anlamlı olduğu gözlemlenmiştir. Söz konusu negatif etki, patent başvurularının tescillenememesi sebebiyle belirli bir maliyete, emeğe ve zamana katlanılarak üretilen ürünün ticari bir değere dönüştürülemediğini, üretim maliyetlerinin getirisinden büyük olduğunu ve artan maliyetlerin büyümeye negatif yansıdığını göstermektedir. Ar-Ge harcamalarının negatif etkisi ise bütçeden ayrılan kaynakların yetersiz kurumsal denetimler sonucu etkin kullanılmadığı ile açıklanabilmektedir.

Ekler

Tablo 4: Ekonomik Büyüme ve Teknolojik Gelişmeler (Main model)

Regressor	(1)	(2)	(3)
L.gdp	1.0167***	1.0136***	0.9972***
	(0.0023)	(0.0019)	(0.0039)
fdi		16.5847	18.3816*
		(8.8666)	(8.7255)
hte			11.1284***
			(2.9131)
N	432	432	432
Arellano-Bond Test			
Order 1 p-value	-2.76	-2.80	-2.89
Order 2 p-value	-2.08	-2.02	-1.93
Hansen Chi- Square	14.61	13.64	14.76

Notes: Standard errors in parentheses * p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001

Tablo 5: Ekonomik Büyüme ve Teknolojik Gelişmeler (Avrupa, Amerika, Asya)

	AVRUPA			AMERIKA			ASYA		
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
L.gdp	0.9728***	0.9597***	0.9908***	1.0138***	1.0146***	1.0156***	0.9996***	1.0003***	0.9997***
	(0.0042)	(0.0030)	(0.0078)	(0.0017)	(0.0021)	(0.0037)	(0.0051)	(0.0058)	(0.0064)
fdi	9.7410**	6.6851*	12.8665***	27.6420	27.3739*	39.1991	28.5217*	28.5819*	30.0999*
	(3.2680)	(3.2327)	(3.4423)	(19.6353)	(13.8656)	(36.7646)	(12.5134)	(12.4675)	(14.7995)
hte	40.9450***	51.4388***	22.1055*	-0.6025	-0.6752	0.2428	7.5582**	6.8273*	6.9328**
	(4.4161)	(2.5199)	(10.9366)	(1.0277)	(0.9731)	(2.4939)	(2.8709)	(3.1348)	(2.6264)
rd	-0.0312***			0.0007***			-0.0007		
	(0.0039)			(0.0002)			(0.0006)		
pat		-0.0812***			-0.0001			-0.0002	
		(0.0070)			(0.0003)			(0.0002)	
hc			-94.4631			-39.6642			-3.7232
			(181.4207)			(101.6042)			(72.9968)
N	133	135	130	119	135	130	154	159	156
Arellano-Bond Test									
Order 1 p-value	-2.00	-1.99	-2.04	-1.63	-1.70	-1.71	-1.65	-1.78	-1.79
Order 2 p-value	-1.43	-1.47	-1.42	-1.12	-1.10	-1.08	-1.23	-1.23	-1.20
Hansen Chi- Square	0.12	4.21	3.49	0.52	2.52	0.00	2.11	2.58	2.54

Note: Standard errors in parentheses * p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001

Kaynakça

- Arellano, M., & S. Bond. (1991). Some tests of specification for panel data: Monte Carlo evidence and an application to employment equations. *Review of Economic Studies*, 58: 277–297.
- Arellano, M. & O. Bover. (1995). Another look at the instrumental variable estimation of error-components models. *Journal of Econometrics* 68: 29–51.
- Bakkari, M. & Khatory, A. (2017). Industry 4.0: Strategy for more sustainable industrial development in SMEs. In *Proceedings of the IEOM 7th International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Rabat, Morocco* (pp. 11-13).
- Blundell, R. & S. Bond (1998). Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models. *Journal of Econometrics* 87: 115–143.
- Bogliacino, F. & Vivarelli, M. (2012). The job creation effect of R&D expenditures. *Aust Econ Pap*, 51(2):96–113.
- Buerger, M., Broekel, T. & Coad, A. (2012) Regional dynamics of innovation: investigating the co-evolution of patents, research and development (R&D), and employment. *Reg Stud*, 46(5):565–582
- Bulut, E. (2019). Endüstri 4.0'ın gelişimi, Türkiye ve dünya üzerindeki olası etkileri (Master's thesis, Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü).
- Barreto, L., Amaral, A. & Pereira, T. (2017), “Industry 4.0 implications in logistics: an overview”. *Procedia Manufacturing*, Vol. 13, pp. 1245-1252.
- Bogliacino, F. (2014). Innovation and employment: A firm level analysis with European R&D Scoreboard data. *Economia*, 15(2), 141-154.
- Brynjolfsson, E. & Hitt, L. (1996). Paradox lost? Firm-level evidence on the returns to information systems spending. *Management science*, 42(4), 541-558.
- Dutton, H. W. (2014). Putting things to work: Social and policy challenges for the Internet of things. *Info*, 16, 1-21. doi:10.1108/info-09-2013-0047
- Emara, N. & Kasa, H. (2020). The non-linear relationship between financial access and domestic savings: the case of emerging markets. *Applied Economics*, 1-19.
- Feldmann, H. (2013). Technological unemployment in industrial countries. *Journal of Evolutionary Economics*, 23(5), 1099-1126.
- Forrest, E. & Hoanca, B. (2015). Artificial intelligence: Marketing's game changer. In Tsiakis, T. (Ed.), *Trends and innovations in marketing information systems* (pp. 45–64).
- Gabriel, M. & Pessl, E. (2016). Industry 4.0 and sustainability impacts: Critical discussion of sustainability aspects with a special focus on future of work and ecological consequences. *ANNALS of Faculty Engineering Hunedoara International Journal of Engineering*, 14(2), 131–136.
- Göçer, G. (2013). Ar&Ge harcamalarının yüksek teknoloji ürün ihracatı, dış ticaret dengesi ve ekonomik büyüme üzerindeki etkileri. *Maliye Dergisi*, 165(2), 215-240.
- Görçün, Ö. F. (2016). Dördüncü endüstri devrimi endüstri 4.0. Beta Yayıncılık, İstanbul.
- Hofmann, E. & Rüsç, M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry*, 89, 23–34.
- Holtz-Eakin, D., Newey, W. & Rosen, H. S. (1988). Estimating vector autoregressions with panel data. *Econometrica*, 56: 1371–1395.
- Kagermann, H. (2015). Change through digitization—Value creation in the age of Industry 4.0. In *Management of permanent change*, (pp. 23-45). Springer Gabler, Wiesbaden.
- Kabaklarlı, E. & Atasoy, B.S. (2017) Türkiye İmalat Sanayinin Büyümesi ve Verimliliğin Geleceğinde endüstri 4.0'ın Rolü Dinamik Panel Veri Analizi. *İktisadi Araştırmalar Vakfı Yayınları*. Şişli İstanbul.
- Kabaklarlı, E. (2016). Endüstri 4.0 ve Paylaşım Ekonomisi, Dünya ve Türkiye ekonomisi için Fırsat ve Tehditler, Nobel Yayın, Konya.
- Kagermann, H. (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0. München: National Academy of Science Engineering.
- Kasa, H. & Arslan, G. (2020). Endüstri 4.0 Kapsamında Teorik Bir Analiz: Türkiye Örneği. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 19(76), 1810-1826.
- Li, J. & Yang, H. (2017), “A research on development of construction industrialization based on BIM technology under the background of Industry 4.0”, *MATEC Web of Conferences, EDP Sciences, Vol. 100, p. 02046*.
- Lucas Jr, R. E. (1988). On the mechanics of economic development. *Journal of monetary economics*, 22(1), 3-42.
- Morrison, C. J. & Berndt, E. R. (1990). Assessing the Productivity of Information Technology Equipment in US Manufacturing Industries NBER Working Paper# 3582.
- Michelacci, C. & Lopez-Salido, D. (2007). Technology shocks and job flows. *Rev Econ Stud*, 74(4):1195–1227.
- Nascimento, D. L. M., Alencastro, V., Quelhas, O. L. G., Caiado, R. G. G., Garza-Reyes, J. A., Rocha-Lona, L., & Tortorella, G. (2019). Exploring Industry 4.0 technologies to enable circular economy practices in a manufacturing context. *Journal of Manufacturing Technology Management*.
- Roblek, V., Meško, M., & Krapež, A. (2016). A complex view of industry 4.0. *Sage Open*, 6(2), 2158244016653987.
- Rojko, A. (2017). Industry 4.0 concept: Background and overview. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 5(11), 77–90.
- Romer, P. M. (1986). Increasing returns and long-run growth. *Journal of political economy*, 94(5), 1002-1037.
- Roodman, D. (2009). How to do xtabond2: An introduction to difference and system GMM in Stata. *The stata journal*, 9(1), 86-136.
- Schumpeter, J. (1911). The theory of economic development. *Harvard Economic Studies*. Vol. XLVI.
- Schumpeter, J. A. (1939). *Business cycles* (Vol. 1, pp. 161-174). New York: McGraw-Hill.
- Stancioiu, A. (2017). The fourth industrial revolution: “Industry 4.0”. *Fiability & Durability*, 1, 74–78.
- Trompisch, P. (2017). “The implications of Industry 4.0 on the future of work [industrie 4.0 und die zukunft der arbeit]”, *Elektrotechnik und Informationstechnik*, Vol. 134 No. 7, pp. 370-373.
- Yu, J., Subramanian, N., Ning, K., & Edwards, D. (2015). Product delivery service provider selection and customer satisfaction in the era of Internet of things: A Chinese e-retailers' perspective. *International Journal of Production Economics*, 159, 104-116. doi:10.1016/j.ijpe.2014.09.031
- Wagner, T. (2016). Industry 4.0 as enabler for sustainable lifestyles. *Unconference 2016–INSIGHTS Workstudio*, 4, 1–7.
- Wagner, T., Herrmann, C. & Thiede, S. (2017). “Industry 4.0 impacts on lean production systems”, Vol. 63, pp. 125-131.
- Weiss, M. & Garloff, A. (2011). Skill-based technological change and endogenous benefits: the dynamics of unemployment and wage inequality. *Apply Econ* 43(7–9):811–821.