



## Abant Sosyal Bilimler Dergisi

Journal of Abant Social Sciences

2023, 23(3): 1293-1314, doi: 10.11616/asbi.1265937



### Türkiye'nin Endüstri 4.0'a Geçiş Sürecinin Teknoloji Kapasitesi Yaklaşımları Temelli Analizi

An Analysis of Türkiye's Transition to Industry 4.0 Based on Technology Capacity Approaches

Furkan BÖRÜ<sup>1</sup>, Emine TAHSİN<sup>2</sup>

Geliş Tarihi (Received): 15.03.2023

Kabul Tarihi (Accepted): 28.09.2023

Yayın Tarihi (Published): 30.11.2023

**Öz:** Teknoloji kapasitesi yaklaşımları özellikle de gelişmekte olan ülkelerin sahip oldukları teknoloji düzeyinin geliştirilmesine yönelik yapabilirliklerini, üretim alanındaki koşulları da dikkate alarak analiz etmektedir. Bu çalışma da bu olgulardan yola çıkarak Türkiye'nin Endüstri 4.0 sürecinin dayandığı teknolojilerin alınması ve geliştirilmesi için gerekli olan teknoloji kapasitesini (özelde tasarım kapasitesi) ortaya koymayı hedeflemektedir. Türkiye'nin tasarım kapasitesi alanındaki durumu, 2000-2020 yılları arasında, AR-GE sektöründeki araştırmacı sayısı, AR-GE harcamaları, yüksek teknoloji ihracatı, patent başvuruları ve endüstriyel tasarım başvuruları verileri kullanılarak türetilen endeksler üzerinden değerlendirilmektedir. Tasarım kapasitesi ile ilgili endekslerin ölçeklendirilmesinde Endüstri 4.0 sürecini başlatan öncü ülkelerden biri olması nedeni ile Almanya temelli bir hesaplama yapılmıştır. Buna ek olarak ilgili veriler, Türkiye dışında, Güney Kore, Çin, İspanya, Polonya, Meksika ve Brezilya dahil edilerek üretilmiştir. Böylelikle seçilmiş ülkelerin yapabilirlikleri tasarım kapasitesi temelli olarak analiz edilmiştir. Türkiye'nin tasarım kapasitesi, endüstriyel tasarım başvuruları dışındaki alanlarda başta Almanya olmak üzere Çin ve Güney Kore'nin gerisinde bulunmaktadır. Temel bulgular, aynı zamanda Türkiye'nin ileri düzey teknoloji üretme kapasitesine erişme olanaklarının sınırlarını ortaya koymuştur

**Anahtar Kelimeler:** Teknoloji kapasitesi, Endüstri 4.0 ve Türkiye, Tasarım Kapasitesi, Türkiye imalat sanayi, Türkiye teknoloji politikaları

&

**Abstract:** Technological capacity approaches, in particular, analyze the capabilities of developing countries to develop technology levels in connection with production capabilities. Based on these facts, this study aims to reveal the technological capacity (specifically design capacity) required for the acquisition and development of technologies on which Türkiye's Industry 4.0 process is based. The conditions of Türkiye in the field of design capacity are analyzed by the indices derived from the data on the number of researchers in the R&D sector, R&D expenditures, high technology exports, patent applications, and industrial design applications between the years 2000 and 2020. In scaling the indices related to design capacity, considering the technology level related to industry 4.0, Germany is taken as a proxy. In addition, relevant data including South Korea, China, Spain, Poland, Mexico, and Brazil is considered for a comparative analysis based on the design capacity. Turkey's design capacity is behind Germany, China and South Korea in areas other than industrial design applications. The basic findings also reveal the limits of Turkey's ability to achieve advanced technology production capacity.

**Keywords:** Technological capacity, Industry 4.0 and Türkiye, Design Capacity, Turkish manufacturing industry, Technology policies and Türkiye

**Atıf/Cite as:** Börü, F., Tahsin, E. (2023). Türkiye'nin Endüstri 4.0'a Geçiş Sürecinin Teknoloji Kapasitesi Yaklaşımları Temelli Analizi. *Abant Sosyal Bilimler Dergisi*, 23(3), 1293-1314. doi: 10.11616/asbi.1265937

**İntihal-Plagiarizm/Etik-Ethic:** Bu makale, en az iki hakem tarafından incelenmiş ve intihal içermediği, araştırma ve yayın etiğine uyulduğu teyit edilmiştir. / This article has been reviewed by at least two referees and it has been confirmed that it is plagiarism-free and complies with research and publication ethics. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/asbi/policy>

**Copyright** © Published by Bolu Abant İzzet Baysal University, Since 2000 – Bolu

<sup>1</sup> Dr., Furkan Börü, Vakıflar Bankası T.A.O, [furkanboru@gmail.com](mailto:furkanboru@gmail.com). (Sorumlu Yazar)

<sup>2</sup> Doç. Dr., Emine Tahsin, İstanbul Üniversitesi, [tahsin@istanbul.edu.tr](mailto:tahsin@istanbul.edu.tr).

## 1. Giriş

Gelişmekte olan ülkelerin büyüme sürecinde önemli rol oynayan imalat sanayinin ekonomi içindeki ağırlığı, özellikle 1990 sonrası dönemde giderek azalmaktadır. Doğu Asya'da bulunan sanayileşmiş ülkeler dışında, çoğu geliştirmekte olan ülkede görülen bu eğilim, "erken sanayisizleşme" olarak da adlandırılmaktadır (Rodrik, 2016: 2). Bu eğilime, aynı zamanda, imalat sanayini farklı değişimlere zorlayan, yeni koşullar eşlik etmektedir. 21 yy.'da özellikle üç eğilim, imalat sanayini değiştirmeye zorlamaktadır (Bartodziej, 2017: 27). Buna göre; bireyselleşme ile birlikte değişen tüketim kalıplarına uyum, enerji alanındaki kaynakların daha etkin kullanılması gerekliliği ile iktisadi dalgalanmalar (kırılganlıklar), imalat sanayinin yapısında değişimi gerektirmektedir. Genel olarak, imalat sanayinin ürün yapısı ve süreçlerinin daha esnek hale getirilmesine yönelik iş organizasyonlarının gerekliliği ortaya çıkmaktadır (Bartodziej, 2017: 27-29). Bu kapsamda, Endüstri 4.0 adı altında söz konusu geçiş sürecini özetleyen stratejiler gündeme gelirken, ülkeleri sanayi alanında yeni değişimlere zorlayan koşullar söz konusudur. Türkiye özelinde de Endüstri 4.0'a geçiş kapsamında imalat sanayinin uluslararası rekabet edebilirlik koşullarının artırılması öngörüsü öne çıkmaktadır (T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2021). Bu öngörü kaçınılmaz olarak Türkiye'nin genel olarak Endüstri 4.0 sürecinin neresinde bulunduğu sorusunu gündeme getirmektedir. Bu kapsamda öncelikle imalat sanayi ile ulusal yenilik sisteminin verili koşulları dikkate alınarak karşılaşılan sorunların tespiti (Türkmen, 2018; Erdil ve Ertekin, 2018) yaygın olarak ele alınan başlıklar arasında yer almaktadır.

Türkiye imalat sanayinin Endüstri 4.0'a geçiş sürecinde karşı karşıya olduğu sorunlara yönelik analizler, aynı zamanda Türkiye'nin sahip olduğu teknoloji kapasitesinin sınırlarını ortaya koyduğunu temel almaktadır. Ülkelerin teknoloji kapasitesi genel olarak teknoloji alanında yapabilirliklerini ortaya koymakta ( Lall, 1992; Kim,1999; Lee vd.,2019) ve daha ileri düzey teknolojilere geçiş süreci hakkında önemli bir referans noktasını oluşturmaktadır. Türkiye özelinde Endüstri 4.0'a geçiş sürecinin "teknoloji kapasitesi"(Lall, 1992; Lee vd.,2019) odaklı analizi daha geri planda kalmaktadır.

Çalışma bu olgulardan yola çıkarak, özellikle geliştirmekte olan ülkelerin "teknoloji alanında yapabilirliklerinin" (Lall, 1992; Kim,1999; Lee vd.,2019) analizini temel alan bir bakış açısı sunmayı öngörmektedir. Böylelikle, Endüstri 4.0 sürecinin dayandığı teknolojilerin alınması ve geliştirmesi için gerekli olan teknoloji kapasitesinin Türkiye'deki düzeyi ortaya konulması amaçlanmaktadır. Teknoloji kapasitesi ilgili yaklaşımlarında, bu alanda "ilerlemeler" elde eden ülkeler ve bunun dışında teknoloji kapasitesi alanında belli tuzaklarla karşılaşan ülkeler arasında karşılaştırmalar yaygın olarak yapılmaktadır (Yeon vd. 2022; Lee vd.,2009).

Bu kapsamda, teknoloji kapasitesi farklı ölçütler üzerinden analiz edilebilmektedir (Lall,1992; Lee vd., 2019). Çalışmada teknoloji kapasitesi ölçütü olarak Lee vd. (2019) tarafından geliştirilen endeks kullanılacaktır. Endeksin üretilmesinde, Endüstri 4.0 alanında öncü ülke olarak değerlendirilen Almanya'yı (Kagerman vd.,2013; Kuo vd., 2019) temel alan bir ölçeklendirme kullanılarak Türkiye ve diğer ülkelerin bu alandaki durumu analiz edilecektir. Türkiye dışında, 6 ülkenin ( G.Kore, Brezilya, Çin, İspanya, Meksika, Polonya) dahil edileceği örneklem üzerinden ülkelerin teknoloji kapasitesi karşılaştırmalı olarak değerlendirilecektir. Söz konusu ülkelerin teknoloji kapasitesi endeksi için örnekleme dahil edilmesinin çıkış noktası iki temel nedene dayanmaktadır.

G.Kore, Çin, Polonya öncelikle Endüstri 4.0' A geçiş sürecinde yaygın olarak tartışılan, ileri düzey teknoloji üretimi alanında belli bir düzeyi yakalayan ülkeler arasında yer almaktadır. Diğer ülkeler ise Türkiye ile benzer şekilde, belli bir gelir düzeyinin üzerinde ancak orta düzey teknoloji üretiminin bir üst aşamasına geçemeyen, bu alanda belli tuzaklarla yüzleşen ülkeler arasında yer almaktadır ( Lee vd., 2009; Pruchnik ve Zowczak ,2017). Bu iki temel sınıflandırma, ülkelerin teknoloji kapasitesi açısından nerede durduklarını, Türkiye'nin görece konumunu analizi için önemsenmektedir.

Çalışma dört temel bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde Endüstri 4.0 kavramının kapsamı özetlenmektedir. İkinci bölümde Türkiye'de imalat sanayinin temel karakteristikleri anlatılırken; Endüstri 4.0 karşısındaki engellere yönelik yürütülen temel tartışmaların çerçevesi aktarılmaktadır. Üçüncü bölümde teknoloji kapasitesi yaklaşımlarının teorik çerçevesi ortaya konmaktadır. Dördüncü bölümde ise,

teknoloji kapasitesine yönelik ölçütler dikkate alınarak, Lee vd. (2019) tarafından geliştirilen kapasite endeksinin temel metodolojisi açıklanmakta, sonrasında ilgili endeks, Türkiye özelinde diğer ülkelerle karşılaştırmalı olarak analiz edilmektedir.

## 2. Endüstri 4.0 Kavramının Çıkış Noktası ve Kapsamı

Endüstri 4.0 kavramının çıkış noktasını, Almanya'nın, imalat sanayini değişime zorlayan gelişmelerin sonucunda başlattığı stratejiler oluşturmaktadır. Endüstri 4.0, ilk defa 2011 yılında Hannover Fuarında tanıtılmış; resmi olarak ise 2013 yılında, imalat sanayini dijital teknolojiler ile dönüştürmeyi amaçlayan Alman stratejik girişimi olarak duyurulmuştur (Xu vd., 2018: 1). Almanya'nın başlattığı Endüstri 4.0 sürecine benzer girişimler başka ülkelerde de gündeme gelmiştir (Bartodziej, 2017: 38). Genel Electric, 2012 yılında ABD'de endüstriyel nesnelerin interneti kavramını tanıtmıştır. Endüstri 4.0'a benzer diğer bir girişim, 2015 yılında Japonya'da başlatılmıştır. Endüstriyel değer zinciri adlı girişimin amacı, imalat sanayinin dijitalleşmesini teşvik etmek ve firmaların bu konuda birbirleri ile iletişim kurabileceği bir platform oluşturmaktır. İmalat sanayinde dijital teknolojilerin kullanımını yaygınlaştırmayı amaçlayan başka bir girişim, 2015 yılında Çin'de başlatılmıştır. Bu çerçevede, Çin, imalat sanayinde ileri konumda bulunan ülkeleri yakalamak amacı ile imalat sanayisinin yenilik kapasitesini geliştirmeye çalışmakta ve bilgi teknolojilerinin imalat sanayine entegrasyonunu teşvik etmektedir (Zhong vd., 2017: 624-625).

Endüstri 4.0 en genel anlamda, ürün ve üretim süreçlerinde, akıllı tasarım ve yapay zeka uygulamalarını kapsayan yeni bir aşamayı içermektedir. Endüstri 4.0 bir "etiket" olarak, imalat sanayinin bilgi ve iletişim (ICT) teknolojileri yönelimli yenilikleri kapsayan aşaması olarak tanımlanabilmektedir (Culot vd., 2020). İmalat sanayinin yeni bir aşaması olan Endüstri 4.0, "dijitalleşme" adı altında da özetlenebilmektedir. Endüstri 4.0 adı altında anılan teknolojiler; Fiziksel-dijital arayüz teknolojileri (siber fiziksel sistemler, nesnelerin dönüşümü), network (ağ) teknolojileri (bulut teknolojileri), veri oluşturma teknolojileri (makine öğrenmesi, yapay öğrenme) ile fiziksel-dijital süreç teknolojilerini (ileri robotik) içermektedir (Hermann vd., 2015: 11; Culot vd., 2020:7).

Endüstri 4.0 ile tanımlanan teknolojilerin kapsamı, imalat sanayinde sekiz temel alanda dönüşüm sağlamayı (Salkin vd., 2018: 5) gerekli kılmaktadır. Buna göre; i) eklemeli imalat, ii) siber fiziksel sistemler, iii) simülasyon araçlarında meydana gelen gelişmeler, iv) robot teknolojisi v) veri analitiği ve yapay zeka, vi) görselleştirme teknolojilerinde meydana gelen ilerlemeler, vii) bulut teknolojisinde meydana gelen gelişmeler, viii) nesnelerin interneti, Endüstri 4.0 süreci ile birlikte ortaya çıkabilecek dönüşümleri içermektedir.

Söz konusu teknolojilerin gelişimi ve kullanımı, kaçınılmaz olarak, firmalar açısından yeni organizasyon biçimlerinin ortaya çıkmasına neden olurken; firmaların uluslararası rekabet düzeyini artıran verimlilik kazanımlarına da yol açmaktadır (Schuh vd., 2014: 51). Özellikle dört mekanizma, dijital teknolojiler ile imalat sürecini bütünleştiren firmalarda, üretkenlik artışı sağlanmasında önemli rol oynamaktadır (Schuh vd., 2014: 53). Bu mekanizmalar; ürün geliştirme sürecinin kısalması, değer zincirlerinin kısalması, değer zincirlerinin görsel mühendisliğinin ortaya çıkması ve kendi kendini en iyi duruma getiren üretim sistemlerinin gelişimidir (Schuh vd., 2014: 54-55).

Özet olarak, Endüstri 4.0'ın dayandığı teknolojilerin kapsamı gereği imalat sanayini yeni bir aşamaya taşıyacağı ve Dördüncü Endüstri Devrimi'ni başlatacağı iddia edilmektedir (Kagermann vd., 2013: 13-14). Fakat bu yaklaşıma karşı çıkan görüşler de mevcuttur. Reischauer (2018), Endüstri 4.0'ı, yeni bir sanayi devrimi olarak değil; Almanya (özelinde) devleti tarafından devam ettirilen yenilik söylemi olarak tanımlamaktadır. Reischauer (2018)'e göre, Endüstri 4.0'nun amacı, imalat sanayinde, dijital teknolojilere dayalı yenilik sistemini kalıcı hale getirmektir. Endüstri 4.0'a geçiş sürecinin firmaların uluslararası rekabet koşullarının korunması ya da artırılması amacı ile bir gereklilik olarak değerlendirilmesi de bir eleştiri konusu olabilmektedir. Endüstri 4.0 adı altında yürütülen tartışmaların gelişmekte olan ülkeleri belli yapısal dönüşümlere zorlamasının, olumlu ve olumsuz yönleri üzerinde de durulmaktadır.

Sonuç olarak, Endsütri 4.0 ile başlayan süreç, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin imalat sanayilerinin yapısal meydan okumalar ile karşı karşıya (Garzarain ve Errasti, 2016: 1122) olduğunun somut örneklerinden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Söz konusu tartışmalar, aynı zamanda, teknoloji odaklı politikaların kapsamı ve bunun hangi aktör ve kurumlar üzerinden ilerleyeceği gibi birçok sorunsalı da gündeme getirmektedir. İmalat sanayinin yapısal olarak değişime zorlayan koşulların hangi olgular üzerinden analiz edileceği, gelişmekte olan ülkeler açısından, teknoloji kapasitesi yaklaşımı çerçevesinde değerlendirilebilmektedir.

### 3. Türkiye'de İmalat Sanayinin Yapısı ve Endüstri 4.0 Karşısında Engellere Yönelik Yaklaşımlar

Türkiye'de imalat sanayinin yapısı temel alındığında, Endüstri 4.0 olarak tanımlanan sürece geçiş aşamasında belli sınırları olduğu ve sorunlarla yüzleştiği saptanmaktadır. İmalat sanayi katma değer ve istihdam payı ile verimlilik düzeyindeki göreceli değişimler, Türkiye'de imalat sanayinin erken sanayisizleşme (Taymaz ve Voyvoda, 2015; Bakır vd., 2017) olgusu içinde olduğunu ortaya koymaktadır. Bu olgu, 2000'li yıllarda sanayinin özellikle de imalat sanayinin hızla büyüyen lokomotif sektör olma özelliğini yitirmesi, hizmetler sektörünün ekonomi içindeki artan önemi ve imalat sanayinin yarattığı katma değer GSYH içindeki payının düşmesi ile beraber değerlendirildiğinde; daha net olarak ortaya çıkmaktadır (Soydan, 2018: 402). Türkiye'de imalat sanayindeki katma değer artışına rağmen; esas olarak katma değer artış hızının durağanlaştığı ve istihdam yaratma koşullarının yavaşladığı bir durum söz konusudur. İmalat sanayinde, hizmet odaklı sektörlerle oranla, verimlilik düzeyindeki artışın ivmesi de sınırlı kalmıştır (Taymaz ve Voyvoda, 2015: 33-34; Atiyas ve Bakis, 2015: 1214; Bakır vd., 2017: 164).

Türkiye'de imalat sanayinin içsel yapısı, ekonomideki ağırlığının gerilediği 2000'li yıllarda önemli değişimler geçirmiştir. En belirgin değişim, makine ve metal eşya sektörlerinin imalat sanayi katma değeri içindeki paylarında, 2002 sonrası dönemde önemli artışlar meydana gelmesi ile ilgili olmuştur. 2002 sonrası dönemde, Türkiye imalat sanayi, mühendislik sanayilerine doğru bir dönüşüm içerisindedir. Ancak, bu değişim daha çok yüksek teknoloji sektörleri yerine, makine ve metal eşya gibi orta teknoloji sektörlerinin imalat sanayi katma değeri içindeki paylarının artması sonucu ortaya çıkmıştır (Taymaz ve Voyvoda, 2015: 33-34). Orta teknoloji ürünlerin imalat sanayi üretimindeki payında meydana gelen bu artış eğilimine karşılık, yüksek teknoloji ürünlerin imalat sanayi üretimindeki payında azalma meydana gelmiştir. 2003'te %5.7 olan yüksek teknoloji ürünlerin payı, 2013 yılında %3.4'e gerilemiştir (Soydan, 2018: 407). Yine bu gelişme, imalat sanayinin ihracat yapısına da yansımış, ihracat içinde orta teknoloji ürünlerin payı artmıştır (Wigley vd., 2018: 226). Ancak Türkiye'nin gerçekleştirdiği ihracatın yabancı katma değer içeriğini ölçen geri eklenme endeksi, 2000 ile 2011 arasındaki dönemde neredeyse iki kat artmıştır. Yabancı ülkelerin yaptığı ihracata Türkiye'nin yaptığı katma değeri ifade eden ileri katılım endeksi ise, 2000 ile 2011 arasındaki dönemde hemen hemen aynı kalmıştır (Ziemann ve Guérard, 2016: 7- 8). Diğer yandan, imalat sanayi ihracatında AR-GE içeren yüksek teknoloji ürünlerinin payının 2007 ile 2018 arasındaki dönemde, ortalama olarak yüzde 2 düzeyinde kalması, imalat sanayi yapısının yüzleştiği sınırlar olarak değerlendirilmektedir. (World Bank, 2020).

Türkiye'de imalat sanayi alanında faaliyet gösteren firmalar, Endüstri 4.0 sürecinin dayandığı teknolojilerin kullanımında başlangıç aşamasında (Gökbulut vd., 2017) olduğu gibi; Endüstri 4.0 sürecinin dayandığı teknolojilerden faydalanmak için gerekli olan dijital teknolojilerin kullanımında da, birçok Avrupa ülkesinin gerisinde bulunmaktadır. Türkiye'de imalat sanayinde web üzerinden e-ticaret yapan firmaların imalat sanayinde faaliyet gösteren firmalara oranı, 2016 yılında, %11'dir. AB (Avrupa Birliği) ülkeleri için aynı oran, 2016 yılında %19'dur. Türkiye, imalat sanayinde web üzerinden e-ticaret yapan firmaların imalat sanayinde faaliyet gösteren firmalara oranında, tüm AB ülkelerinin gerisinde kalmıştır. Benzer bir durum, Türkiye imalat sanayinde bulut bilişim kullanımı için de söz konusudur. AB imalat sanayinde bulut bilişim kullanan firmaların imalat sanayinde faaliyet gösteren firmalara oranı, 2016 yılında %17'dir. Türkiye'de ise aynı oran 2016 yılında %10'dur. Türkiye imalat sanayi, bulut bilişim kullanımında bütün AB ülkelerinin gerisinde bulunmaktadır. Türkiye imalat sanayi, önemli bulut bilişim teknolojilerinden olan müşteri ilişkileri yönetiminin (CRM) kullanımında, 2015 yılında, tüm AB ülkelerinin gerisinde kalmıştır. Türkiye imalat sanayinde CRM yazılımı kullanan firmaların oranı, %7'dir. AB

ülkelerinde ise aynı oran, %33'tür. Türkiye imalat sanayi, bir diğer önemli bulut bilişim teknolojisi olan kurumsal kaynak planlaması (ERP) kullanımında, CRM kullanımında olduğu gibi, AB ülkelerinin gerisindedir. AB imalat sanayinde kurumsal kaynak planlaması (ERP) kullanım oranı, %45'tir. Türkiye'de ise aynı oran, %24'tür. Türkiye imalat sanayinde faaliyet gösteren firmalar, Endüstri 4.0 sürecinin dayandığı teknolojilerde yeterli kapasiteye sahip olmadıkları gibi, Endüstri 4.0 sürecinin dayandığı teknolojilerden faydalanmak için gerekli olan dijital uygulamalarda da, AB ülkeleri ile rekabet edebilecek durumda değildirler (Taymaz vd., 2018: 49-59).

Endüstri 4.0'a geçiş süreci ile birlikte ortaya çıkacak olan avantaj ve dezavantajları tartışmaya açan çalışmalar, Endüstri 4.0'a geçiş sürecinde karşılaşılan engelleri de tanımlanmaya çalışmaktadır (Koca, 2018; TÜSİAD ve BCG, 2016). Buna göre, yatırım ve finansman sorunları karşısında yatırımcı piyasaların geliştirilmesi başlıca gereksinimler arasında yer almaktadır. Ulusal yenilik sisteminin zayıflıkları, teknoloji ve bilim politikalarının kapsamının dönüştürülmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Beşeri sermayenin uzmanlaşma alanları ile nitelikli iş gücü eksikliği, eğitim alanı ile üretim alanı arasındaki bağlantıların zayıflıklarına işaret etmektedir. Diğer yandan firmaların sahip olduğu teknoloji düzeyi ile Endüstri 4.0 teknolojilerini kullanmak ve geliştirmek için gerekli olan düzey arasındaki fark, en temel engeller arasında yer almaktadır. Bu engeller ve politika gereksinimleri, aşağıda bulunan Tablo 1'de özetlenmektedir.

**Tablo 1:** Endüstri 4.0 Sürecinde Karşılaşılan Engeller ve Politika Gereksinimleri

Engeller	Gereksinimler
Yatırım ve finansman sorunları (Türkmen, 2018; Gökbulut vd., 2017).	Yatırımlardan elde edilecek geri dönüşlere yönelik belirsizliklerin giderilmesi. Yenilikçi firmaların finansmanına yönelik teşvikler artırılması. Risk sermayesi ve melek yatırımcı piyasasının geliştirilmesi (Aydoğan, Erdil ve Pamukçu, 2017: 693).
Ulusal Yenilik sisteminin zayıflıkları (Erkan ve Erdil, 2018) ve bilimde uzmanlaşan alanlar ile teknolojiye uzmanlaşılacak alanları örtüşmemesi ; (Aydoğan, Erdil ve Pamukçu, 2017)	Üniversite-sanayi işbirliğinin yeniden düzenlenmesi. Arz yönlü teknoloji politikalarının üretilmesi. Bilim politikalarının yeniden düzenlenmesi. AR-GE harcamalarının artırılması. Bilişim altyapısının geliştirilmesi. Sensör teknolojilerinin geliştirilmesi (Koca, 2018).
Firmaların sahip olduğu kapasitelerin sınırlı olması ile Endüstri 4.0 sürecinin dayandığı teknolojilerin yabancı firmalardan tedarik edilmesi ile ilgili sorunlar (Gökbulut vd., 2017)	AR-GE ve öğrenme kapasitesinin geliştirilmesi. Firmaların sahip olduğu teknoloji düzeyi ile Endüstri 4.0 teknolojileri için gerekli olan düzey arasındaki açıkların giderilmesi.
Nitelikli iş gücü eksikliği ve istihdamı ile ilgili sorunlar (Taymaz vd., 2018; Aydoğan, Erdil ve Pamukçu, 2017)	Araştırmacı sayısının istihdam içindeki payının artırılması. AR-GE personelinin niceliği ve niteliğinin artırılması. Bilişim teknolojileri alanındaki uzmanı eksikliğini giderilmesi. STEM alanında eğitim almış uzman eksikliğini giderilmesi.
Eğitim sisteminin kapasitesinin yetersizliği (Erdil ve Ertekin, 2018)	Beşeri sermayenin niteliğinin ve istihdamının artırılması.

**Kaynak:** Yazarlar tarafından hazırlanmıştır.

Endüstri 4.0 ve Türkiye bağlantısını analiz eden çalışmalarda, genel olarak, Endüstri 4.0'a geçiş sürecine yönelik durum değerlendirilmesi ve farkındalık olgusu özellikle firma düzeyinde ortaya konmaktadır. Bu çalışmalar, genel hatlarıyla, aşağıda bulunan Tablo 2'de özetlenmektedir. Firma düzeyinde yapılan çalışmalarda, KOBİ'lerin Endüstri 4.0'a geçiş sürecine yönelik farkındalık ve yol haritası çıkarabilme koşulları dikkate alınmaktadır. KOBİ'lerin teknoloji düzeyi, organizasyon biçimleri, AR-GE birimlerinin durumu ve Endüstri 4.0'a geçişe yönelik yol haritası oluşturabilme koşulları, nitel ve nicel olarak analiz edilmektedir.

**Tablo 2:** Endüstri 4.0 ve Türkiye’de Firmaların Koşullarının Analizine Yönelik Çalışmalar

Çalışma	Konusu
Çalış ve Akdemir (2021)	İşletmelerin Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanım düzeyinin belirlenmesine yönelik ölçek geliştirilmiştir
Türkmen (2018)	Endüstri 4.0’ın finansal etkileri incelenmiştir.
Güleş, Yiğitol ve Sarı (2020)	Konya imalat sanayi KOBİ’lerinin teknoloji seviyelerinin belirlenmesine çalışılmıştır.
Gül, Bolat ve Gözül (2018)	Endüstri 4.0 okur-yazarlık yol haritası ve farkındalık oluşturma üzerine çalışılmıştır.
Ersoz, Merdin ve Ersoz (2018)	Endüstri 4.0 farkındalık düzeyinin analizi yapılmıştır.
Yüksel (2020)	KOBİ’lere anket uygulaması yapılmıştır.
Atık ve Ünlü (2019; 2020)	İşletmelerin Endüstri 4.0 performansının, Endüstri 4.0 endeksi temelli analizi, Türkiye ve AB karşılaştırmalı olarak yapılmıştır.
Gergin ve Diğerleri, (2018)	Sanayileşmiş şehirlerde yer alan KOBİ’lerin Endüstri 4.0 farkındalığı ve gerekliliğine yönelik puanlama sisteminin geliştirilmiştir.

**Kaynak:** Yazarlar tarafından hazırlanmıştır.

Türkiye’nin Endüstri 4.0 karşısında karşılaştığı sorunlara yönelik olarak “teknoloji” düzeyi ile ilgili saptamalar, Türkiye’nin sahip olduğu teknoloji kapasitesinin sınırlarını ortaya koymaktadır. Bundan dolayı, bu çalışmada, Türkiye’nin Endüstri 4.0 karşısında sahip olduğu avantaj ve dezavantajlarına odaklanmak yerine, teknoloji olgusundan yola çıkarak teknoloji kapasitesi temelli bir analiz öngörülmüştür.

#### 4. Teknoloji Kapasitesi Yaklaşımlarının Temel Çerçevesi

Kapasite eksikleri, gelişmekte olan ülkelerin emek yoğun üretimden bilgi yoğun üretime geçiş sürecinde karşı karşıya oldukları en büyük sorunlardan biri olarak tanımlanmakla birlikte, neoklasik yaklaşımlarda ihmal edilmektedir. Neoklasik yaklaşımlara alternatif olarak ortaya atılan “teknoloji kapasitesi” yaklaşımı, temelde teknolojinin kamusal mal olduğu görüşüne karşı çıkmaktadır (Morrison, Pietrobelli ve Rabbellotti, 2008). Bundan yola çıkarak, “teknoloji kapasitesi” yaklaşımı, teknolojinin, hem firmalar arasında, hem de ülkeler arasında serbestçe transfer edilemediği gerçeğini veri almaktadır. Teknolojik bilginin kapalı ve maddi olmayan doğası, kaçınılmaz olarak teknolojinin üretim ve kullanımının kısıtlarını ortaya koymaktadır. Örneğin, firmalar, teknoloji kapasitelerini arttırmak için yatırım yaptıklarında, başarılı olup olmayacaklarını bilmemektedirler. Bu durum, teknoloji kapasitesi birikim sürecinin hem maliyetli hem de riskli olmasına neden olmaktadır. Teknoloji kapasitesinin birikim süreci, firmaların karşı karşıya olduğu bu risk ve maliyetler nedeniyle, otomatik olarak değil; amaçlı ve bilinçli olarak yapılan yatırımların sonucu olarak ortaya çıkmaktadır (Whitfield vd., 2020).

Amaçlı ve bilinçli yatırımlar sonucunda ortaya çıkan teknoloji kapasitesinin özelliklerini geliştirmekte olan ülkeler bağlamında inceleyen öncül çalışmalar (Bell ve Pavitt, 1992; Lall, 1992), temel olarak, ülkelerin sahip olduğu teknoloji kapasitesi ile üretim kapasitesi arasındaki farka vurgu yapmaktadırlar. Bell ve Pavitt (1992)’e göre üretim kapasitesi, verili verimlilik düzeyi ve üretimde kullanılan girdi birleşiminde, sanayi üretimi için gerekli olan kaynakları içermektedir. Bu kaynaklar, makineler, üretim sürecinde kullanılan emek, ürün ile girdilerin başlıca özellikleri ve işletmelerin sahip olduğu organizasyon yapılarıdır. Teknoloji kapasitesi ise, üretim kapasitesinden tamamen farklı kaynaklara işaret etmektedir. Yetenekler, bilgi ile deneyimler, kurumsal yapılar ve bağlantılar, teknoloji kapasitesini meydana getirmektedirler. Teknoloji kapasitesi sayesinde teknolojik değişim yaratılmakta ve yönetilmektedir. Teknoloji kapasitesi, üretim kapasitesinin gelişmesinin sonucu olarak, kendiliğinden ortaya çıkmamaktadır. Bu nedenle, gelişmekte olan ülkelerin, gelişmiş ülkeleri yakalama sürecinde kritik rol oynayan teknoloji kapasitesinin birikimi için gerekli olan sanayi ve teknoloji politikalarını özel olarak tasarlamaları önemsenmektedir (Bell ve Pavitt, 1992).

Lall (1992) ise, ülkelerin sahip olduğu teknoloji kapasitesini iki düzeyde; firma ve ulusal düzeydeki teknoloji kapasiteleri olarak analiz etmektedir. Firma düzeyinde teknoloji kapasitesi, yerine getirilen fonksiyonlar ve karmaşıklık derecesi dikkate alınarak, yatırım kapasitesi, üretim kapasitesi ve bağlantı kapasitesi olarak, üçe ayrılmaktadır. Bu kapasiteler birbirlerinden farklı olsalar da, aralarında ortak noktalar bulunmaktadır (Morrison, Pietrobelli ve Rabellotti, 2008). İkinci düzeyde ise ülkelerin sahip olduğu teknoloji düzeyi, ulusal teknoloji kapasitesi üzerinden tanımlanmaktadır. Ulusal teknoloji kapasitesi, sadece firmaların sahip olduğu teknoloji kapasitelerinin toplamı olarak değil; hem dışsalıklar, hem de firmaların başka firmalar ve kurumlar ile kurduğu ilişkilere bağlı olarak ifade edilmektedir. Aynı ülkede faaliyet gösteren firmalar, teknoloji kapasiteleri farklı olmasına rağmen; hükümetlerin uyguladıkları politikalara veya piyasalardan gelen sinyallere benzer cevaplar verebilmektedirler. Farklı teknoloji kapasitelerine sahip firmaların verdiği bu ortak tepkiler, ulusal teknoloji kapasitesinin önemine işaret etmektedir. Ulusal düzeyde teknoloji kapasitesi kendi içinde üç düzeyde analiz edilmektedir (Lall,1992). Bu düzeyler, teşvikler, kapasiteler ve kurumlardır. Teşvikler, kurumlar ve kapasiteler arasında bulunan ilişkiler, ülkelerin endüstriyel kapasitesinin gelişiminde oldukça önemli rol oynamaktadırlar. Ülkelerin sahip olduğu ulusal teknoloji kapasitesinin bileşenlerinden biri olan teşvikler, ihracata dayalı büyüme stratejisi uygulayan ülkeler arasında çok az değişmektedir. Bu nedenle, ülkelerin sahip olduğu ulusal teknoloji kapasiteleri arasındaki farkları, esas olarak kurumlar ve kapasiteler belirlemektedir (Lall, 1992). Dolayısıyla, ülkelerin gelişmişlik düzeyleri karşılaştırılırken; ulusal teknoloji kapasitesinin bileşenleri olan kurumlar ve kapasiteler oldukça önemli rol oynamaktadırlar.

Kim (1999) ise Güney Kore'nin, 1980 sonrası dönemde gelişmiş ülkeleri yakalayan performansında, teknoloji kapasitesinin oynadığı role dikkat çekmektedir. Güney Kore deneyimi üzerinden, Kim (1999), ülkelerin sahip olduğu teknoloji kapasitesini üç kısma ayırmıştır. Bunlardan ilki, üretim kapasitesi, fabrikaları ve diğer tesisleri işletmek için gerekli olan yetenekleri ifade etmektedir. İkinci kısım olan yatırım kapasitesi, yeni fabrikalar ile tesisler kurmak ve mevcut olan fabrikalar ile tesisleri geliştirmek için gerekli olan yetenekleri göstermektedir. Teknoloji kapasitesinin son parçası ise inovasyon kapasitesidir. İnovasyon kapasitesi, Kim (1999) tarafından, ekonomik pratikler yolu ile, yeni teknoloji olanaklarının yaratılmasını olarak tanımlanmaktadır. Bu yaklaşıma göre, ekonomik gelişmenin farklı aşamalarında, farklı kapasiteler ön plana çıkabilmektedir. Ekonomik gelişmenin erken evrelerinde, üretim kapasitesi önemli rol oynarken; ekonomik gelişmenin ileriki aşamalarında inovasyon kapasitesi ön plana çıkmaktadır. Bu nedenle, gelişmekte olan ülkeler, teknoloji kapasitelerini geliştirecek sanayi ve teknoloji politikalarını tasarlarken; buldukları gelişme aşamasını dikkate almak zorundadırlar (Kim, 1999).

Lee vd. (2019) ise, ülkelerin ileri teknoloji geliştirecek yeterli kapasiteye sahip olmamalarını, orta gelir tuzağından çıkamamalarının temel nedeni olarak tanımlamakta; teknoloji kapasitesi ile orta gelir tuzağı arasındaki bağlantıları incelemektedir. Orta gelir tuzağında olan ülkelerde ulusal yenilik sisteminin yapabilirliklerine odaklanmanın gerekliliği üzerinde durulmaktadır. Bundan yola çıkarak, Lee vd. (2019), ülkelerin sahip olduğu teknoloji kapasitesini iki kısma ayırmaktadır. Bu kısımlar, uygulama ve tasarım kapasiteleridir. Aşağıda bulunan Tablo 3, uygulama ve tasarım kapasiteleri arasında bulunan farkları göstermektedir. Uygulama kapasitesi, verili bir tasarımı gerçekleştirme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Uygulama kapasitesini geliştirmek için gerekli olan bilgiler herkese açıktır. Bu bilgilere, kullanıcı dokümanı gibi belgelerden rahatlıkla erişilebilmektedir. Bu nedenle, uygulama kapasitesinin dış kaynaklardan alınması oldukça kolaydır. Uygulama kapasitesinin gelişmişliğini değerlendirmek için kullanılan kriterler, zaman ve maliyet etkinliğidir. Uygulama kapasitesini geliştirmek için gerekli olan zaman ve maliyet, tasarım kapasitesine göre daha düşüktür. Uygulama kapasitesinin birikimi, yaparak öğrenme yolu ile gerçekleşmektedir. Tasarım kapasitesi ise, yeni ürünler ve tasarımlar ortaya çıkarma yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Yeni tasarımlar ve ürünler ortaya çıkarmak için gerekli olan bilgi, kapalı özelliğe sahiptir. Bu bilgi, ürünleri ve tasarımları geliştiren profesyonellerin birikmiş deneyimlerinde ve organizasyonların hafızalarında bulunmaktadır. Tasarım kapasitesi değerlendirmek için temel kriter, geliştirilen ürün ve hizmetlerin özgünlüğüdür. Yaratıcı ve yenilikçi ürün ve hizmetler ortaya çıkarmak için gerekli olan tasarım kapasitesinin birikimi, deneme ve yanılma yolu ile gerçekleşmektedir. Gelişmekte olan ülkelerin, tasarım kapasitesini, uygulama kapasitesinde olduğu gibi, gelişmiş ülkelere alması oldukça

zordur. Bu duruma neden olan temel faktör, tasarım kapasitesini geliştirmek için gerekli olan bilginin kapalı niteliğidir. Tasarım kapasitesi, gelişmiş ülkelerin, gelişmekte olan ülkeler karşısında sahip olduğu karşılaştırmalı üstünlüğün en önemli nedenidir (Lee vd., 2019).

**Tablo 3:** Uygulama ve Tasarım Kapasitelerinin Temel Özellikleri

Tanım	Tanımın Kapsamı	Temel Yönleri	Temel Kapsam
Uygulama Kapasitesi	Belirli bir ürün veya hizmet tasarımını gerçekleştirme ve üretim operasyonlarda yeterlilik kazanma becerisi.	Bir şeyi yapabileme bilgisine sahip olma. Yaparak öğrenme süreci.	Dünyada geliştirilen yeni teknolojileri olmasa da, belirli kalitede ürün ve hizmetlere sahip olma veya bağımsız markalar ile üretim tesislerini yönetebilme ve işletebilme beceresi. Ürünleri ve hizmetleri yerel olarak üretme ve mühendislik ile imalatın yan ürünü gibi üretim tesislerinde teknolojik olarak öğrenme kapasitesi.
Tasarım Kapasitesi	Yeni spesifikasyonlar veya işlevler tanımlayarak yeni planlar, iş modelleri veya yeni ürün ile hizmetlerin standart seviyelerini oluşturma becerisi.	Bir şeyin neden olduğu bilgisine sahip olma. İnşa ederek öğrenme süreci.	Teknolojilerin ilkelerini yeniden birleştirerek özgün ürün tasarımları oluşturabilme veya yeni özellik ve işlevlere sahip teknolojiler önerebilme. Yeni tasarlanmış teknolojileri ölçeklendirme ve amaca yönelik çabalar ile yaratıcı deneme yanılma yolu ile teknolojik olarak öğrenme kapasitesi.

**Kaynak:** Lee vd., (2019)'dan yararlanarak, yazarlar tarafından hazırlanmıştır.

Aşağıda bulunan Tablo 4, yukarıda açıklanan temel teknoloji kapasitesi yaklaşımlarını özetlemektedir. Gelişmekte olan ülkelerin çoğunluğunun orta gelir seviyesinin üst kısmına ulaşmayı başaramaması, teknolojik alanda yapabilirliklerin sınırlarına bağlı olarak açıklanmaktadır. Söz konusu sınırlar, ülkelerin esas olarak orta inovasyon tuzağına girmelerini beraberinde getirmektedir. Bu ülkeler teknoloji alanındaki yapabilirlikler açısından uygulama aşamasından tasarım aşamasına geçiş sürecini tamamlayamamaktadırlar. Gelişmekte olan ülkelerin çoğunluğunun yeterli tasarım kapasitesi birikimine sahip olmaması, bu durumun en temel nedeni olarak (Lee vd., 2019) gösterilmektedir. Bu sebeple, gelişmekte olan ülkelerin, Endüstri 4.0 sürecinin dayandığı teknolojiler gibi ileri teknolojileri geliştirmeleri için gerekli olan tasarım kapasitesinde yeterli birikimi sağlamaları, kilit bir işleve sahiptir.

**Tablo 4:** Kapasite Yaklaşımları ve Teknoloji Kapasitesi Tanımları

Çalışma	Teknoloji Kapasitesi ve Düzeyleri	
Bell and Pavitt, (1992)	Yetenekler, bilgi ile deneyimler, kurumsal yapılar ve bağlantılar	
Lall, (1992)	1-Firma düzeyi	2-Ulusal düzey
	Yatırım kapasitesi Üretim kapasitesi Bağlantı kapasitesi	Kurumlar Teşvikler Kapasiteler (fiziksel, yatırımlar, insan sermayesi, teknolojik çabalar)
	İnovasyon kapasitesi; ekonomik pratikler yolu ile yeni teknoloji olanaklarının yaratılması	
Kim, (1999)	1-Uygulama kapasitesi 2-Tasarım kapasitesi	
Lee et al., (2019)	verili bir tasarımı gerçekleştirme yeteneği	yeni ürünler ve tasarımlar ortaya çıkarma yeteneği

**Kaynak:** Yazarlar tarafından hazırlanmıştır.



## 5.1 Metodoloji ve Veri

Lee vd. (2019) tarafından bir önceki bölümde açıklanan bir ülkenin sahip olduğu teknoloji kapasitesi (özelde de tasarım kapasitesi), Türkiye'nin Endüstri 4.0 sürecine dayalı teknolojilere geçişinin olanakları hakkında önemli ipuçları sunmaktadır. Türkiye'nin Endüstri 4.0 sürecinin dayandığı teknolojileri geliştirmesi ve bu teknolojilerden faydalanabilmesi için yeterli tasarım kapasitesine sahip olması gerekmektedir.

Bir ülkenin sahip olduğu tasarım kapasitesi, beş temel veri üzerinden açıklanmaktadır. Bu veriler, patent başvuruları, endüstriyel tasarım başvuruları, yüksek teknoloji ihracatı, AR-GE sektöründe bulunan araştırmacı sayısı ve AR-GE harcamalarıdır (Yeon vd. 2022). Nicel olarak verilerin analizi, ülkelerin kapasite olarak nerede durdukları ve yönelimleri hakkında fikir vermektedir. Bu çalışmada, patent başvuruları, endüstriyel tasarım başvuruları, AR-GE sektöründe bulunan araştırmacı sayısı ve AR-GE harcamaları değişkenlerinin 2000 ile 2020 yılları arasındaki değerleri kullanılmıştır. Yerleşikler tarafından yapılan toplam patent başvurularının sayısı, bu çalışmada, ülkelerin gerçekleştirdiği patent başvurularını belirtmek için kullanılmıştır. Bu veriler WIPO (Dünya Fikri Mülkiyet Örgütü) veri tabanından alınmıştır. Yerleşikler tarafından yapılan toplam endüstriyel tasarım başvurularının sayısı, endüstriyel tasarım başvuruları faktörünü ifade etmektedir. Bu veri, yerleşikler tarafından yapılan toplam patent başvurusu sayısı gibi, WIPO veri tabanından alınmıştır. AR-GE sektöründe bulunan araştırmacı sayısı, bu çalışmada, milyon kişi başına düşen araştırmacı sayısı olarak gösterilmiştir. AR-GE sektöründe bulunan araştırmacı sayısı (milyon kişi başına düşen) için UNESCO veri tabanından faydalanılmıştır. Çalışmada bulunan ülkelerin gerçekleştirdiği AR-GE harcamaları, milli gelir içindeki oranı olarak ifade edilmiştir. AR-GE harcamalarının milli gelir içindeki payı, UNESCO veri tabanından alınmıştır. Ülkelerin gerçekleştirdiği yüksek teknoloji ihracatı, kişi başına düşen yüksek teknoloji ihracatı olarak bu çalışmada kullanılmıştır. Bu veriler için, Dünya Bankası'nın veri tabanından yararlanılmıştır. Yüksek teknoloji ihracatının ise, Dünya Bankası veri tabanında 2000 ile 2006 yılları arasındaki değerleri bulunmadığı için; 2007 ile 2020 yılları arasındaki değerlerinden faydalanılmıştır. Değişkenlerin değerleri, bazı yıllarda bulunmamaktadır. Bu nedenle, ilk aşamada, değeri olmayan bu yıllar, R paket programında bulunan "imputeTS" atama yöntemi ile doldurulmuştur (Moritz ve Bartz-Beielstein, 2017). İkinci aşamada ise, tasarım kapasitesi açıklayan her bir değişken, minimum maksimum metoduna göre ölçeklendirilmiştir (Yeon vd., 2022; Miola ve Schiltz, 2019). Bu sayede, tasarım kapasitesini ifade eden her bir değişkenin, 0 ile 1 arasında değerler alması sağlanmıştır. Ölçeklendirme işlemi, aşağıda bulunan Denklem 1'e göre yapılmıştır.

$$X_{i,t}^{\text{Normal}} = (X_{i,t} - X^{\text{Min}})/(X^{\text{Max}} - X^{\text{Min}}) \quad (1)$$

$X_{i,t}$ : Tasarım kapasitesi gösteren her bir değişkenin  $i$  ülkesindeki  $t$  zamandaki değeri.

$X^{\text{Max}}$ : Tasarım kapasitesi gösteren her bir değişkenin en büyük değeri.

$X^{\text{Min}}$ : Tasarım kapasitesi gösteren her bir değişkenin en küçük değeri

Tasarım kapasitesi ifade eden değişkenlerin 0 ile 1 arasındaki değerleri bulduktan sonra; her bir değişkenin belirli bir yıl ve ülke için değeri ile bu değişkenin aynı yıl Almanya için olan değeri arasındaki fark hesaplanmıştır. Bu işlemi yapmanın temel nedeni, tasarım kapasitesi değişkenlerinin belirli bir yıldaki ve ülkedeki değerlerinin Almanya'nın aynı yılda sahip olduğu değerden ne ölçüde farklılaştığını bulmaktır.

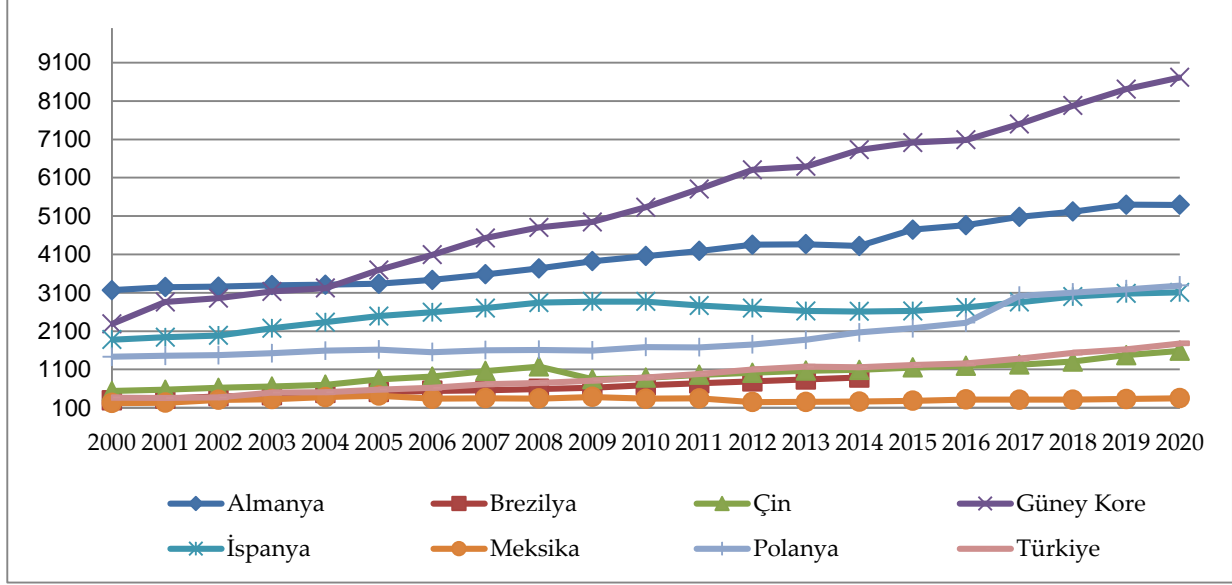
Karşılaştırma için temel ülke olarak Almanya'nın seçilmesinin nedeni, hem Endüstri 4.0 sürecini başlatan öncü ülke olması (Kagerman vd., 2014), hem de dünyada gelişmiş tasarım kapasitesine sahip ülkelerden biri olmasıdır. Bununla birlikte ilgili örneklem, teknoloji kapasitesi yazının en yaygın olarak ele aldığı ülkeler ve de teknoloji kapasitesi alanında belli kısıtları olan Türkiye ile benzer gelir düzeyine sahip ülkeler arasından seçilmiştir. Böylelikle Endüstri 4.0'a geçiş noktasında Almanya bir çıpa olarak değerlendirilken, Endüstri 4.0'a geçişte teknoloji kapasitesi açısından daha avantajlı olan, diğer yandan belirgin bir şekilde kısıtları olan ülkeler arasında bir karşılaştırma yapılması öngörülmüştür. G.Kore ve Çin

teknoloji kapasitesi yazının en yaygın olarak incelediği ülkeler arasında yer almaktadır. Bu ülkeler teknoloji alanında elde ettikleri ilerlemeler ile “orta gelir tuzağını” aşabilen ülkeler arasında yer almaktadır (Lee vd., 2019). Lee vd., (2019)'un teknoloji kapasitesi ölçütünü türetmesinde G.Kore deneyimi önemli bir yere sahiptir. Polonya ise benzer şekilde ileri düzey teknoloji alanında önemli ilerlemeler elde eden başlıca Avrupa ülkelerinden biridir (Pruchnik, 2014). Diğer yandan gelişmişlik düzeyi ile teknoloji alanında yapabilirlikler arasında bağlantıyı irdeleyen teknoloji kapasitesi yaklaşımları ülkelerin teknoloji alanında hangi kısıtlarla yüzleştiğini ortaya koymaktadır. Bu kapsamda belli bir gelir düzeyini yakalayan ancak teknoloji alanında ileri düzey teknolojiye geçiş aşamasını tamamlayamayan ülkeler dikkate alınmaktadır. Meksika, Brezilya, İspanya bu tartışmalara dahil edilen ülkeler arasında yer almaktadır. Böylelikle Türkiye'nin verili durumu, orta gelir tuzağından çıkan ya da bu eşik değerler arasında kalan başlıca ülkeler ile karşılaştırılmaktadır (Han ve Wei, 2017). Bu ülkeler açısından gerek daha ileri düzey teknolojiye geçiş, gerekse Endüstri 4.0 sürecinin dayandığı teknolojilerinin alınması, önemli bir hedef olarak tanımlanmaktadır.

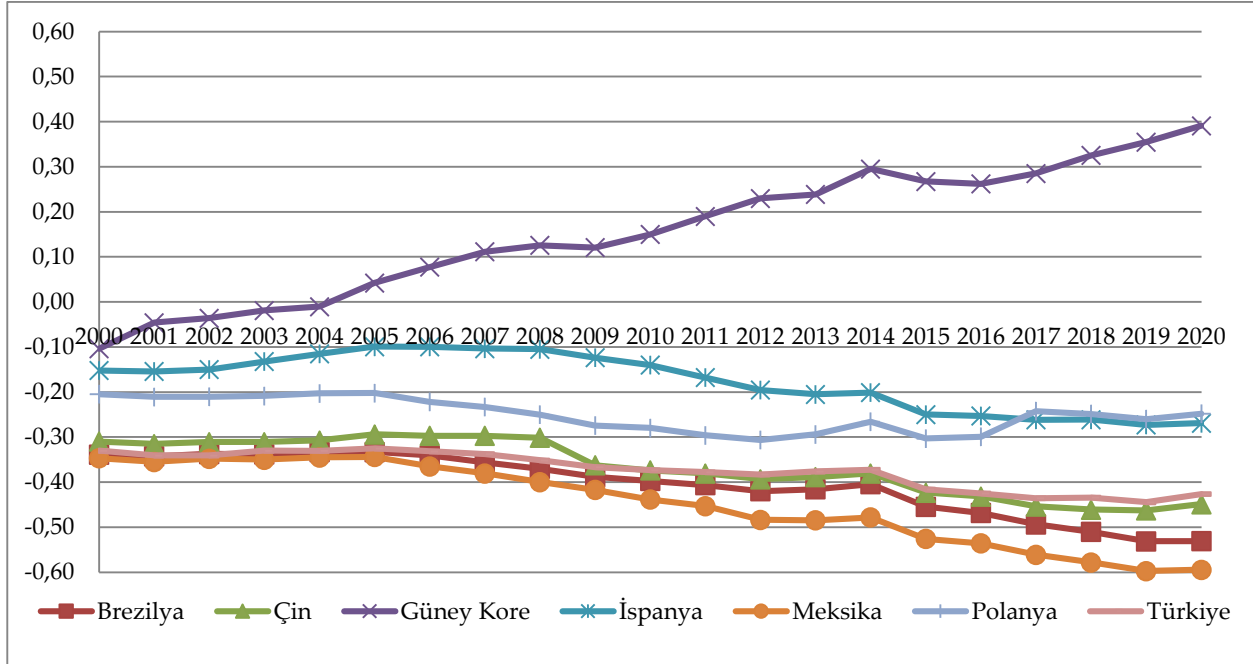
## 5.2 Türkiye'de Teknoloji Kapasitesinin Sınırları ve Temel Bulgular

Ülkelerin sahip olduğu tasarım kapasitesini açıklayan ilk değişken, AR-GE sektöründe bulunan araştırmacı sayısıdır. Deneme yanılma sonucunda ortaya çıkan yaparak öğrenme, ülkelerin tasarım kapasitesinin gelişmesinde oldukça önemli rol oynamaktadır. AR-GE sektöründe bulunan araştırmacı sayısı, ülkelerin yaparak öğrenme yeteneğine sahip insan kaynağının başlıca göstergesidir. Bu nedenle, AR-GE sektöründe bulunan araştırmacı sayısı, bu çalışmada, ülkelerin yaparak öğrenme kapasitesini temsil eden değişken olarak kullanılmıştır. (Yeon et al., 2022). Aşağıda bulunan Şekil 1, AR-GE sektöründe milyon kişi başına düşen araştırmacı sayısını, sekiz ülke için göstermektedir. Almanya, incelenen dönemde, AR-GE sektöründe milyon kişi başına düşen araştırmacı sayısını, 3167'den 5393'e çıkarmıştır. Fakat bu dönemde en hızlı artış gösteren ülke Güney Kore'dir. Güney Kore'de 2000 yılında, 2287 olan milyon kişi başına düşen araştırmacı sayısı, 2020 yılında yaklaşık 4 kat artış göstererek, 8713'e çıkmıştır. Benzer bir gelişim eğilimini, araştırmada bulunan diğer ülkeler sergileyememiştir. Meksika, Polonya, Brezilya, Çin ve Türkiye, hem Almanya'nın, hem de Güney Kore'nin oldukça gerisinde kalmışlardır. Türkiye'de 2000 yılında 365 olan milyon kişi başına olan araştırmacı sayısı, 2020 yılında 1775 çıkmıştır. Bu artış eğilimi, sadece Güney Kore ve Almanya'yı değil; Polonya gibi Doğu Avrupa ülkelerini de yakalamaktan uzaktır. Şekil 2, Almanya dışında kalan ülkelerin, ölçeklendirme yapıldıktan sonra Almanya ile farkını göstermektedir. Bu dönemde, Almanya ile arasında bulunan farkı kapatın ve onu geçen tek ülke Güney Kore'dir. Diğer ülkeler ile Almanya arasındaki fark ise açılmıştır. Türkiye'nin Almanya ile olan farkı, 2020 yılında, 2000 yılına göre daha fazladır. Bu durum, Türkiye'nin milyon kişi başına olan araştırmacı sayısında Almanya'yı yakalama çabalarının yetersizliğine işaret etmektedir.

Şekil 1: AR-GE Sektöründe Milyon Kişi Başına Düşen Araştırmacı Sayısı (UNESCO, 2022).



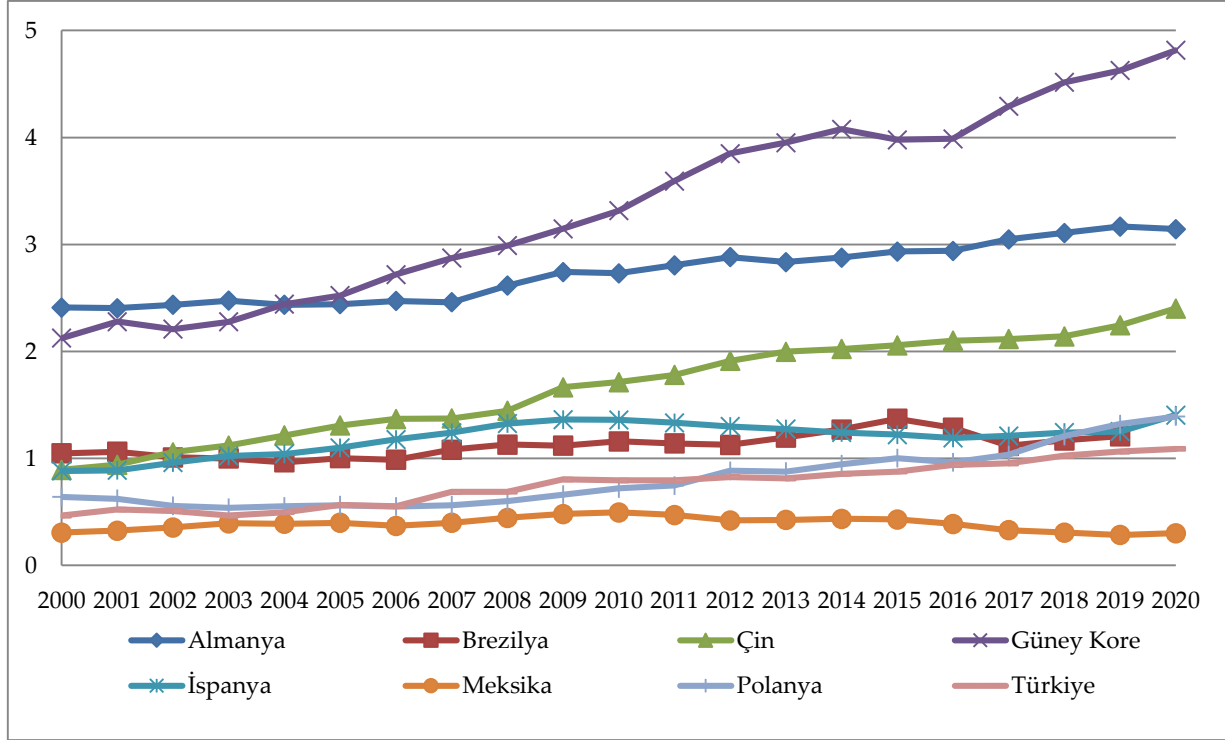
Şekil 2: AR-GE Sektöründe Milyon Kişi Başına Düşen Araştırmacı Sayısı (Ölçeklendirme Sonrasında Almanya ile Fark).



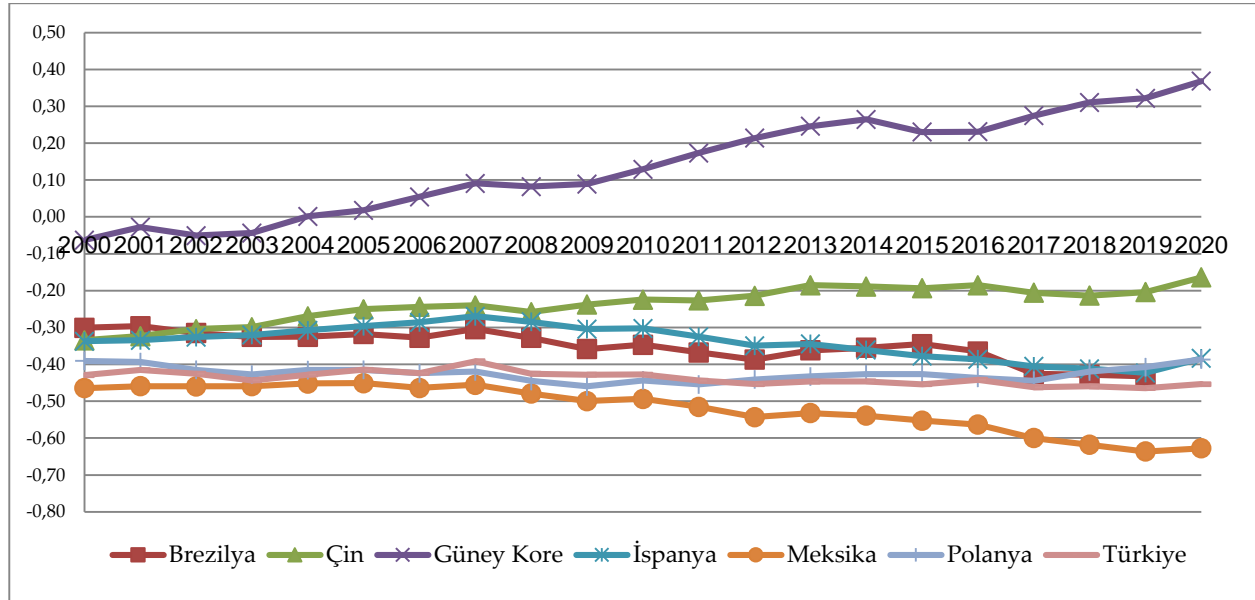
Tasarım kapasitesini gösteren ikinci değişken olan AR-GE harcamaları, inovasyon ile ilgili faaliyetleri desteklemek ve teşvik etmek için ülkelerin sahip olduğu yatırım kapasitesini temsil etmektedir (Yeon vd., 2022). Aşağıda bulunan Şekil 3, AR-GE harcamalarının milli gelire oranının 2000 ile 2020 yılları arasındaki gelişimini göstermektedir. Almanya'da 2000 yılında %2,4 olan AR-GE harcamalarının milli gelire oranı, 2020 yılında %3,1'e çıkmıştır. Güney Kore, bu dönemde, Almanya'yı yakalayıp geçebilen tek ülkedir. Güney Kore'de 2000 yılında %2,1 olan AR-GE harcamalarının milli gelire oranı, 2020 yılında %4,8'e yükselmiştir. Araştırmada bulunan diğer ülkeler ise, ilgili dönemde, Almanya ve Güney Kore'nin oldukça gerisinde kalmışlardır. Çin, AR-GE harcamalarında, 2000 ile 2020 yılları arasındaki dönemde, hızlı artış eğilimi göstermesine rağmen; Almanya ve Güney Kore'yi yakalayamamıştır. Türkiye'de AR-GE harcamalarının milli gelire oranı, bu dönemde artmıştır. Fakat, bu oran, 2020 yılında %1 seviyesinin ancak üzerine çıkabilmiştir. Şekil 4, araştırmada bulunan ülkelerin, ölçeklendirme yapıldıktan sonra Almanya ile

aralarında bulunan açığı göstermektedir. İncelenen dönemde Almanya ile arasındaki farkı kapatan ve onu geçebilen tek ülke Güney Kore'dir. Diğer ülkeler ise Almanya ile olan farklarını kapatamamışlardır. Çin, Almanya ile olan açığını bir ölçüde kapatmasına rağmen; Almanya'yı yakalayamamıştır. Meksika ile Almanya arasında olan fark, incelenen dönemde artmıştır. Türkiye ve Brezilya'nın Almanya ile olan farkı ise, hemen hemen değişmeden kalmıştır. Bu nedenle, Türkiye'nin 2000 ile 2020 arasındaki dönemde, AR-GE harcamaları alanında, iyi bir performans sergileyemediği iddia edilebilmektedir.

Şekil 3: AR-GE Harcamalarının Milli Gelire Oranı (World Bank, 2022).



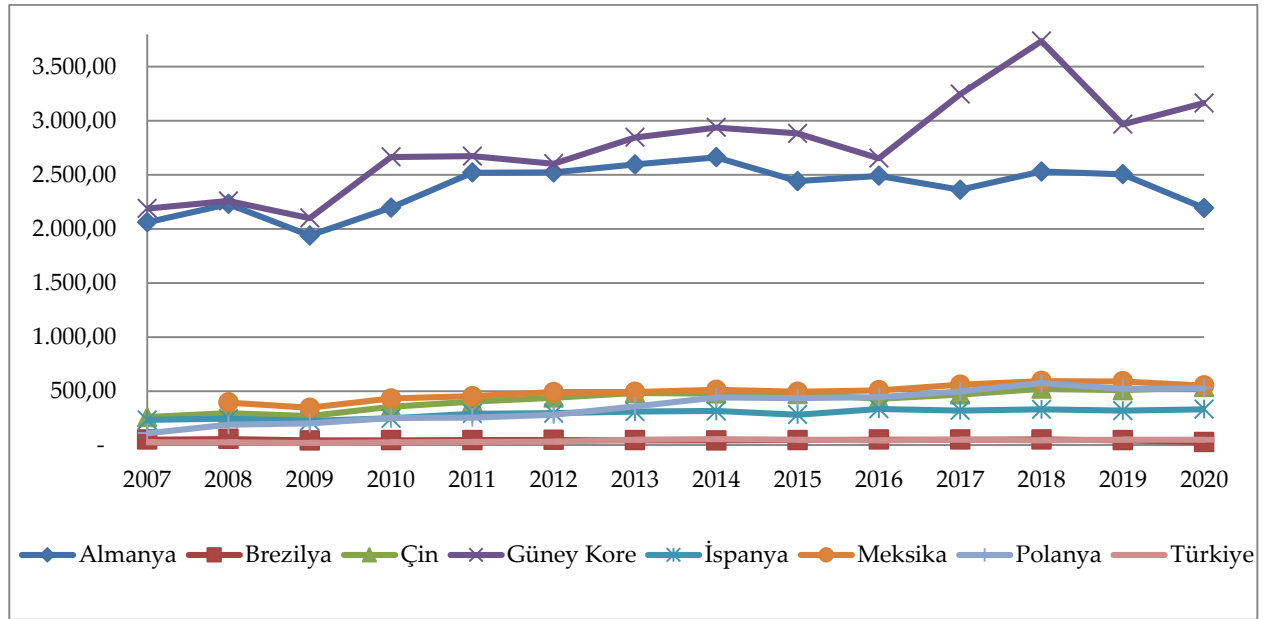
Şekil 4: AR-GE Harcamalarının Milli Gelire Oranı (Ölçeklendirme Sonrasında Almanya ile Fark).

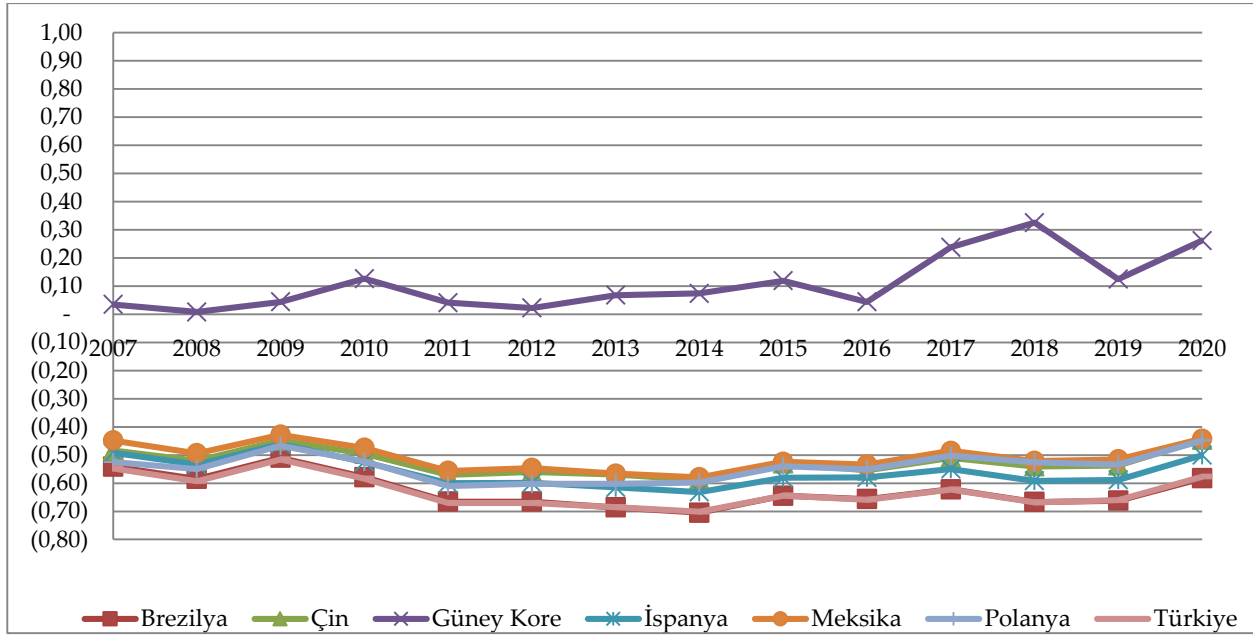


Ülkelerin sahip olduğu tasarım kapasitesini gösteren üçüncü değişken, kişi başına düşen yüksek teknoloji ihracatıdır. Kişi başına düşen yüksek teknoloji ihracatı, ülkelerin geliştirdikleri veya ortaya çıkardıkları teknolojilerin dünya pazarlarındaki ağırlığını ifade etmektedir (Yeon vd., 2022). Güney Kore, çalışmada bulunan ülkeler içinde, 2007 ile 2020 yılları arasındaki dönemde, kişi başına düşen yüksek teknoloji

ihracatında en iyi performansı sergileyen ülkedir. Bu durum, aşağıda bulunan Şekil 5'te de görülmektedir. Güney Kore'de 2007 yılında 2188 dolar olan kişi başına düşen yüksek teknoloji ihracatı, 2020 yılında 3.163 dolara çıkmıştır. Güney Kore, bu dönemde, Almanya'yı yakalayıp geçmeyi başarmıştır. Almanya ise, 2000 yılında 2060 dolar olan kişi başına düşen yüksek teknoloji ihracatını, 2020 yılında, 2.192 dolar çıkarmıştır. Meksika, Brezilya, İspanya, Türkiye, Polonya ve Çin'de kişi başına düşen yüksek teknoloji ihracatı, bu dönemde, Almanya ve Güney Kore'nin çok gerisinde kalmıştır. Türkiye'de kişi başına düşen yüksek teknoloji ihracatı, 2007 yılı ile 2020 yılı arası dönemde artış gösterse de; Almanya ve Güney Kore'yi yakalayacak düzeye ulaşamamıştır. 2020 yılında Almanya'da kişi başına düşen yüksek teknoloji ihracatı, Türkiye'nin yaklaşık 45 katıdır. Şekil 6, ölçeklendirme yapıldıktan sonra, Almanya ile diğer ülkeler arasında bulunan açığı göstermektedir. Güney Kore dışındaki hiçbir ülke, Şekil 6'da görüldüğü gibi, incelenen dönemde Almanya ile arasında bulunan farkı kapatamamıştır. Güney Kore ise, ilgili dönemde, Almanya ile arasındaki açığı kapatmakla kalmamış, Almanya'yı geçmiştir. Türkiye'nin bu dönemde Almanya ile olan farkı hemen hemen değişmeden kalmıştır. Bu durum, Türkiye'nin yüksek teknoloji ihracatı alanında Almanya gibi gelişmiş ülkeleri yakalamaktan uzak olduğunu göstermektedir.

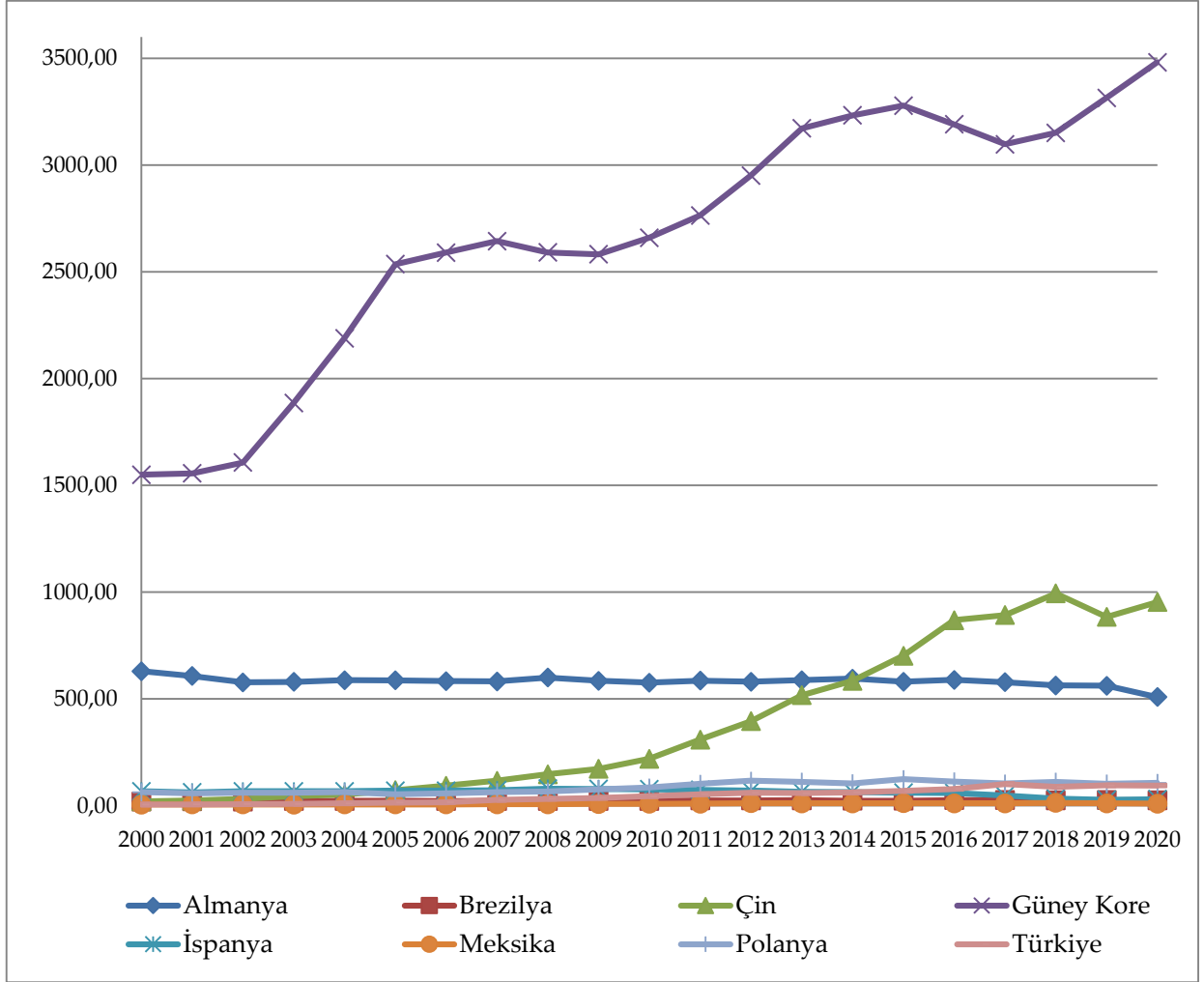
Şekil 5: Kişi Başına Düşen Yüksek Teknoloji İhracatı (Cari USD) (World Bank, 2022).



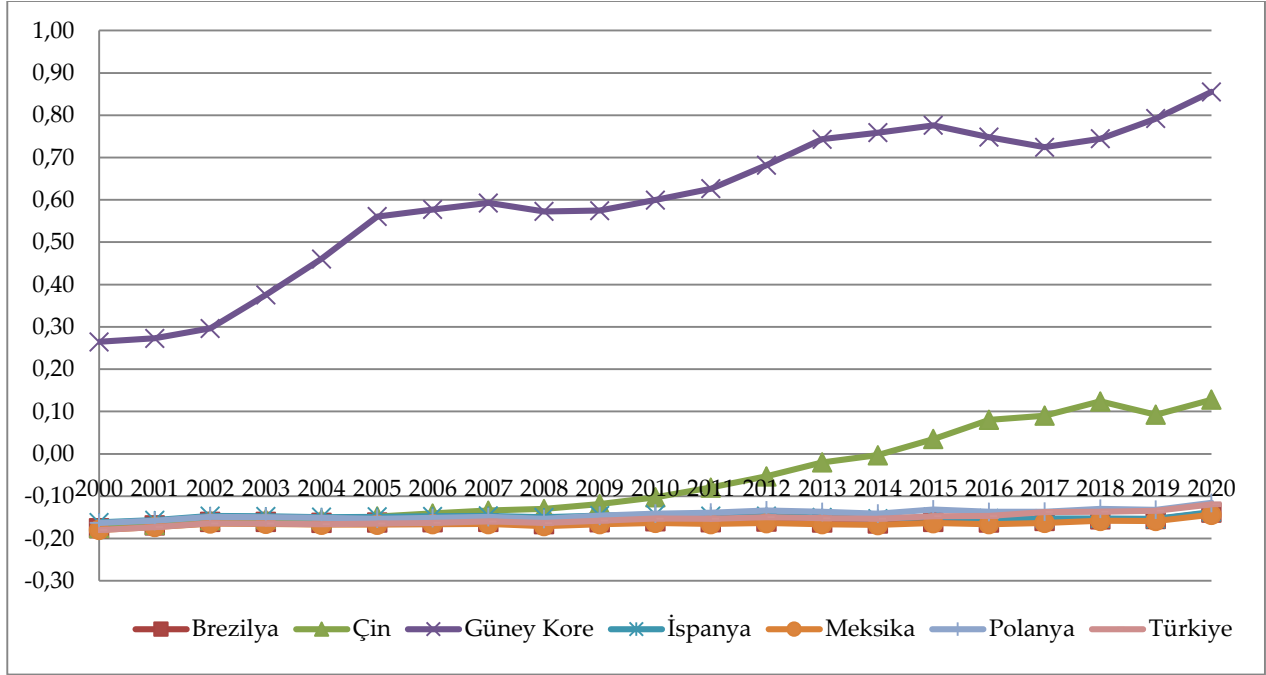
**Şekil 6:** Kişi Başına Düşen Yüksek Teknoloji İhracatı (Ölçeklendirme Sonrasında Almanya ile Fark).

Ülkelerin sahip olduğu tasarım kapasitesini gösteren dördüncü değişken, patent başvuruları, ülkelerin yeni özellikleri ve fonksiyonları olan teknolojileri geliştirme kapasitesini temsil etmektedir (Yeon vd., 2022). Aşağıda bulunan Şekil 7, çalışmada bulunan ülkelerde yerleşikler tarafından yapılan milyon kişi başına düşen patent başvurularını, 2000 ile 2020 yılları arasındaki dönem için göstermektedir. Güney Kore, bu dönemde, en iyi performansı sergileyen ülkedir. Güney Kore, 2000 yılında 1549 olan yerleşikler tarafından yapılan milyon kişi başına düşen patent başvuru sayısını, 2020 yılında 3481'e çıkarmıştır. Almanya, bu dönemde Güney Kore'nin oldukça gerisinde kalmıştır. Almanya'da 2020 yılında yerleşikler tarafından yapılan milyon kişi başına düşen patent başvuru sayısı 508'dir. Bu rakam, Almanya'nın 2000 yılında gerçekleştirdiği yerleşikler tarafından yapılan milyon kişi başına düşen patent başvuru sayısı olan 629'un dahi gerisindedir. Çin, bu dönemde, hızlı bir artış yakalayarak, 2015 yılında Almanya'yı geride bırakmıştır. Polonya ve Türkiye, 2000 ile 2020 yılları arasındaki dönemde, yerleşikler tarafından yapılan milyon kişi başına düşen patent başvurularını arttırmalarına rağmen; Almanya'yı hatta Çin'i yakalamaktan çok uzaktırlar. Şekil 8, ölçeklendirme yapıldıktan sonra, Almanya ile diğer ülkeler arasında bulunan açığı ifade etmektedir. Güney Kore, dönem boyunca, Almanya ile arasında bulunan farkı arttırmıştır. Çin, Güney Kore dışında, incelenen dönemde, Almanya'yı yakalayıp geçmeyi başaran tek ülkedir. Diğer ülkeler ise, Almanya ile aralarında bulunan açığı kapatamamışlardır. Türkiye, 2000 yılı ile 2020 yılı arasındaki dönemde Almanya ile arasında bulunan açığı azaltsa da; Almanya ile arasındaki farkı kapatamamıştır. Bu durum, Türkiye'nin patent başvuruları alanında yeterli performansı gösteremediğine işaret etmektedir.

Şekil 7: Yerleşikler Tarafından Yapılan Milyon Kişi Başına Düşen Toplam Patent Başvurusu (WİPO, 2022).



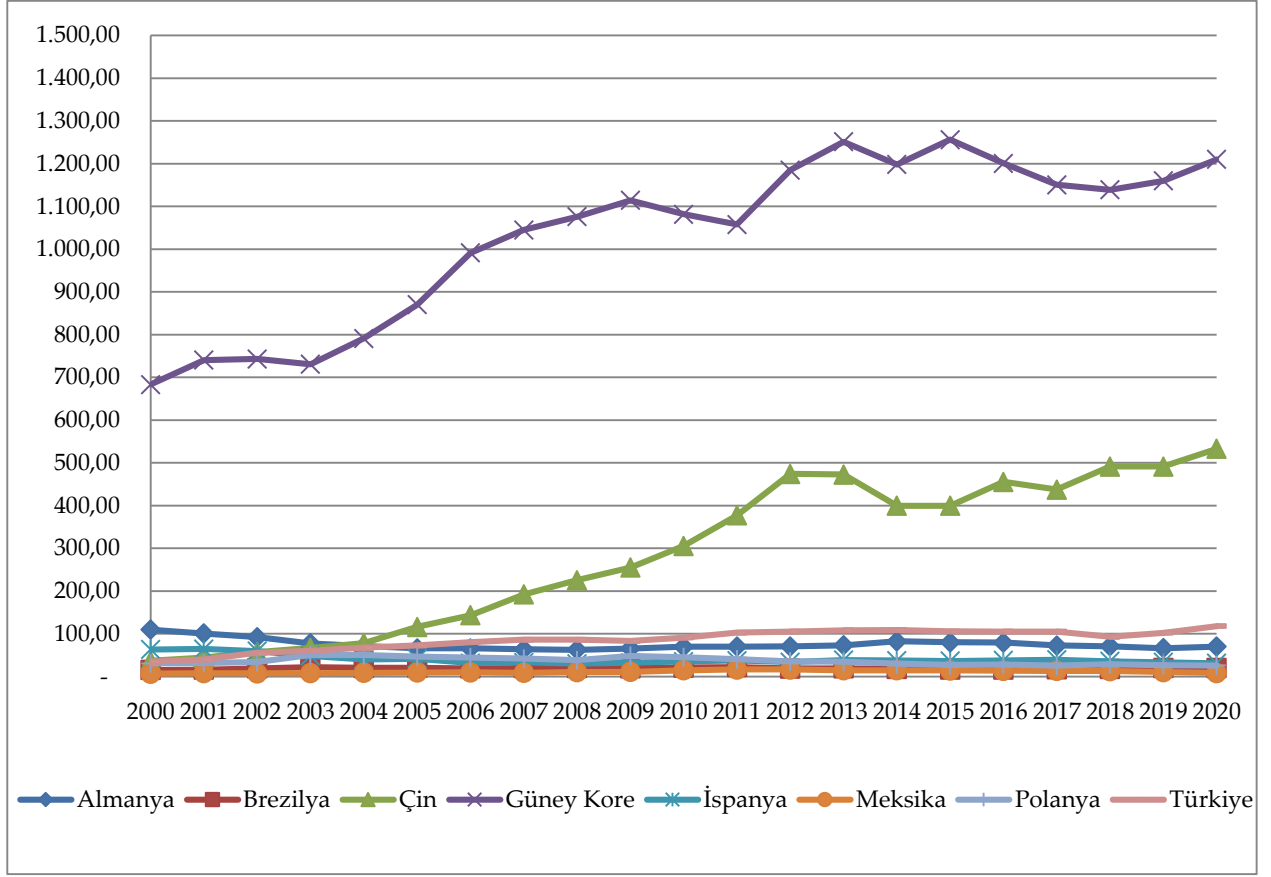
**Şekil 8:** Yerleşikler Tarafından Yapılan Milyon Kişi Başına Düşen Toplam Patent Başvurusu (Ölçeklendirme Sonrasında Almanya ile Fark).



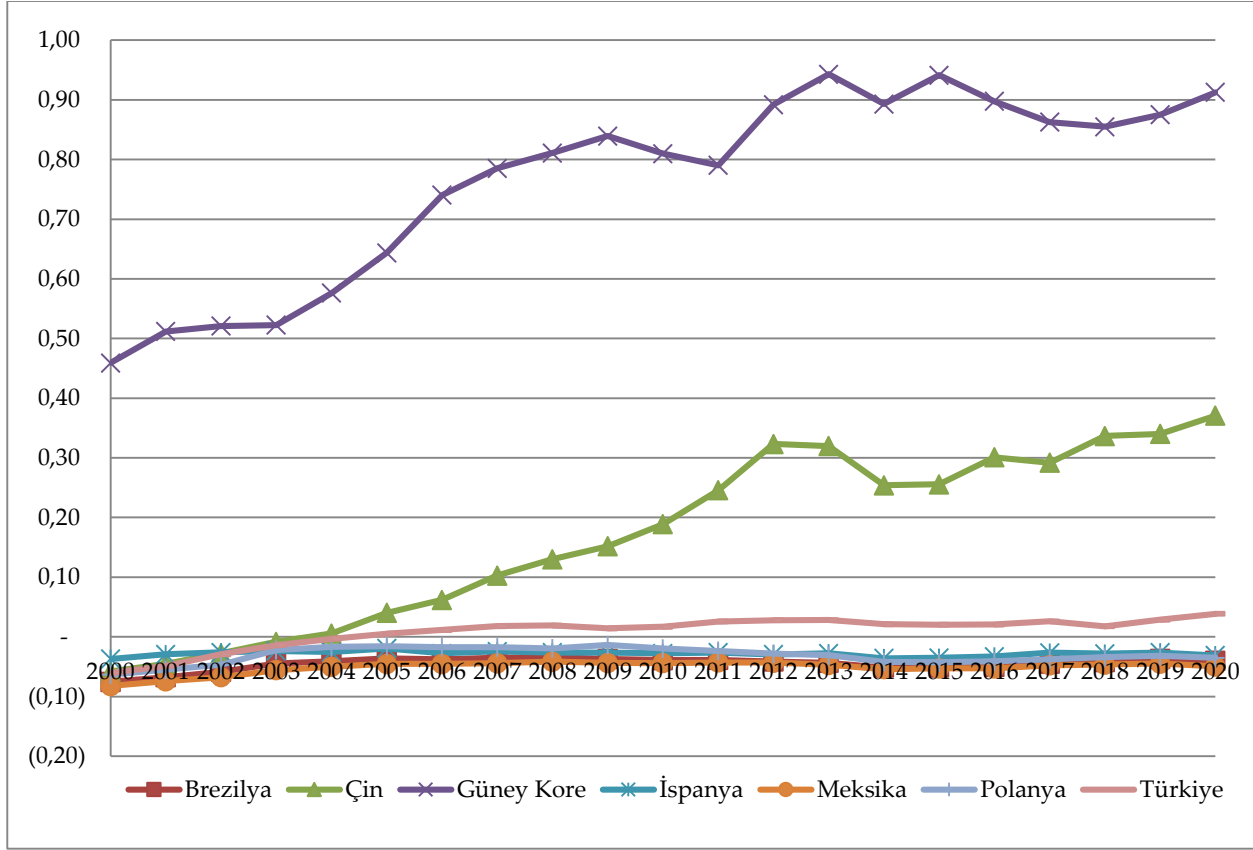
Aşağıda bulunan Şekil 9, 2000 ile 2020 yılları arasında incelenen sekiz ülkede yerleşikler tarafından yapılan milyon kişi başına düşen toplam endüstriyel tasarım başvurularını göstermektedir. Güney Kore, incelenen dönem boyunca en iyi performansı sergileyen ülkedir. Güney Kore, 2000 yılında 683 olan milyon kişi başına düşen toplam endüstriyel tasarım başvuru sayısını 2020 yılında 1210'a çıkarmıştır. Almanya, diğer tasarım kapasitesi değişkenlerinin aksine, endüstriyel tasarım başvuruları alanında iyi bir performans göstermemiştir. Almanya'nın 2000 yılında 109 olan milyon kişi başına düşen toplam endüstriyel tasarım başvuru sayısı, 2020 yılında 70'e düşmüştür. Çin, Almanya'nın düşüş yaşadığı bu dönemde, en hızlı artış gösteren ülkedir. Çin'de 2000 yılında 36 olan milyon kişi başına düşen toplam endüstriyel tasarım başvuru sayısı, 2020 yılında 533'e çıkmıştır. Türkiye, 2000 yılı ile 2020 arasındaki dönemde, görece iyi bir performans sergilemiştir. Türkiye'de 2000 yılında 34 olan milyon kişi başına düşen toplam endüstriyel tasarım başvuru sayısı, 2020 yılında 118'e yükselmiştir. Çalışmada bulunan diğer ülkeler ise, bu dönemde, milyon kişi başına düşen toplam endüstriyel tasarım başvuruları alanında ciddi bir başarı yakalayamamışlardır. Şekil 10, çalışmada bulunan ülkelerin 2000 ile 2020 arasındaki dönemde Almanya ile arasındaki farkı göstermektedir. Güney Kore, Şekil 10'da görüldüğü gibi, incelenen bütün dönem boyunca Almanya'dan çok iyi bir performans sergilemiştir. Çin ve Türkiye, 2000 ile 2020 arasında dönemde, Almanya'yı ilk önce yakalamışlar, daha sonra geçmişlerdir. Brezilya, Polonya, Meksika ve İspanya ise, 2000 ile 2020 arasındaki dönemde, Almanya ile aralarındaki farkı kapatamamışlardır. Bu nedenle, Türkiye'nin 2000 yılı ile 2020 yılı arasındaki dönemde, endüstriyel tasarım başvuruları alanında iyi performans gösterdiği iddia edilebilmektedir.



Şekil 9: Yerleşikler Tarafından Yapılan Milyon Kişi Başına Düşen Toplam Endüstriyel Tasarım Başvurusu (WIPO, 2022).



**Şekil 10:** Yerleşikler Tarafından Yapılan Milyon Kişi Başına Düşen Toplam Endüstriyel Tasarım Başvurusu (Ölçeklendirme Sonrasında Almanya ile Fark).



## 6. Sonuç

Türkiye'nin, Endüstri 4.0'a geçiş sürecinde önemli engeller ile yüzleştiği saptaması birçok çalışmanın temel konusunu oluşturmuştur. Yatırım ve finansman sorunları, ulusal yenilik sisteminin zayıflıkları, nitelikli iş gücünün eksikliği, eğitim sisteminin kapasite yetersizliği, firmaların sahip olduğu teknoloji kapasitesinin yeterli düzeyde gelişmemesi ile Endüstri 4.0 teknolojilerinin yabancı firmalardan tedarik edilmesi karşısındaki sıkıntılar, Türkiye'nin Endüstri 4.0 geçiş sürecini zorlaştıran önemli engeller arasında yer almaktadır. Türkiye'nin karşılaştığı bu sorunlar yakından incelendiğinde, Türkiye'nin Endüstri 4.0 sürecinde karşılaştığı temel problemin Türkiye'nin teknoloji kapasitesinin yetersizliği ile bağlantılı olarak açıklanabileceği yaklaşımlarının geçerliliğini güçlendirmektedir. Teknoloji kapasitesi yaklaşımlarının temel alınması aynı zamanda Endüstri 4.0 gündeminden bağımsız olarak, gelişmekte olan ülkelerin teknoloji alanında karşılaştığı açmazların tanımlanması ve üretim süreci ile bağlantıların kurulması açısından benimsenen temel çerçeve olmuştur. Buradan yola çıkarak, bu çalışma, Türkiye'nin sahip olduğu teknoloji kapasitesini, Almanya, Brezilya, Çin, Güney Kore, İspanya, Meksika ve Polonya ile karşılaştırarak ortaya koymuştur. Teknoloji alanında yapabilirliklerin temel ölçütlerinin değerlendirildiği bu çalışmada, Türkiye açısından üretim ile teknoloji kapasitesi arasındaki bağlantıların ne şekilde kurulduğunu somutlamaktadır. Türkiye'nin tasarım kapasitesi, endüstriyel tasarım başvuruları dışındaki alanlarda başta Almanya olmak üzere Çin ve Güney Kore'nin gerisinde bulunmaktadır. Temel bulgular, aynı zamanda Türkiye'nin ileri düzey teknoloji üretme kapasitesine erişme olanaklarının sınırlarını ortaya koymaktadır. Bu nedenle Türkiye'nin, Endüstri 4.0 sürecinin dayandığı yüksek düzey teknolojileri geliştirmek ve kendi ihtiyaçlarına göre yeniden tasarlamak için gerekli olan kapasiteye sahip olmadığı iddia edilebilmektedir. Türkiye, uygulama kapasitesinden tasarım kapasitesine geçiş aşamasını tamamlayamayan ülke özelliklerini göstermektedir. Bu olgu aynı zamanda teknoloji alanındaki yapabilirlikleri sınırlandırmakta, orta düzey teknoloji tuzağı ile yüzleşmesini beraberinde getirmektedir. Özellikle AR-GE sektöründeki araştırmacı sayısı, yüksek düzey teknoloji ihracatı ile patent başvurusu sayısına ilişkin verilerin düzeyi, tasarım kapasitesinin zayıflıklarını belirlemektedir. İlgili veriler bilim

alanında uzmanlaşma süreci ile üretim yapısındaki uzmanlaşma dinamiklerinin Endüstri 4.0 sürecini yakalamanın uzağında olduğu görüşünü güçlendirmektedir. Bunun ötesinde ilgili veriler bilim, teknoloji ve eğitim politikalarının çıktılarını somutlarken, üretim ve teknoloji kapasitesi arasındaki bağlantıların biçimini ve sonuç olarak zayıflıklarını ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada diğer çalışmalara ek olarak, tasarım kapasitesine yönelik nicel ölçütlere odaklanılması, bilim teknoloji politikaları ile üretim alanı arasındaki bağlantıların kurulması gerekliliği görüşünü güçlendirmiştir. Böylelikle orta düzey teknoloji tuzağından çıkışa ve Endüstri 4.0 sürecinin dayandığı yüksek düzey teknolojilerin geliştirilmesine yönelik politikaların uygulanıp uygulanmayacağı sorusunun yanıtlanması daha olanaklı hale gelebilmektedir.

İlgili verilerin diğer ülkeleri "yakalayabilmesi" üretim alanına yönelik yatırımların kapsamı ile sanayi-ticaret-teknoloji ve bilim politikaları arasındaki eş güdümün önemini ortaya koymaktadır. Tasarım kapasitesi ve daha genel olarak ulusal yenilik sisteminin yapabilirlerinin genişletilmesi ve güçlendirilmesi, kendiliğinden ortaya çıkan süreçler olarak değerlendirmek mümkün olamamaktadır. Bilimsel ve teknolojik bilginin üretim süreci ile eğitim politikaları arasındaki bağlantılar, diğer yandan üretim sürecinin yapısı çok boyutlu stratejilerin gerekliliğini gündeme getirmektedir.

Türkiye özelinde teknoloji alanındaki yapabilirliklerin uygulama aşamasından tasarım aşamasına geçiş sürecini tamamlayabilmesine yönelik hedeflerin net bir şekilde tanımlanması, çıktıların güçlendirilmesi açısından önemli bir aşama olarak değerlendirilebilir.

Bu bağlamda sanayi ticaret politikalarına eşlik edecek olan bilim ve teknoloji politikalarının tasarlanması öncelikler arasında yer almaktadır. Devlet-firma ve iş gücü arzı arasındaki bağlantılar, üniversite-sanayi işbirliklerinin hangi hedefler üzerine kurulacağı somutlanması söz konusu politikaların eş güdüm ve koordinasyonun başarısına bağlı olarak şekillenecektir. Türkiye ekonomisi açısından büyümenin itici gücünün teknolojinin içselleştirilmesine yönelik stratejilerden oluşması, üretim-teknoloji arasındaki bağlantıların tasarım kapasitesi özelliklerine bağlı olarak tanımlanması temel politika önermeleri arasında yer almaktadır.

#### **Finansman/ Grant Support**

Yazar(lar) bu çalışma için finansal destek almadığını beyan etmiştir.

The author(s) declared that this study has received no financial support.

#### **Çıkar Çatışması/ Conflict of Interest**

Yazar(lar) çıkar çatışması bildirmemiştir.

The authors have no conflict of interest to declare.

#### **Yazarların Katkıları/Authors Contributions**

Çalışmanın Tasarlanması: Yazar-1 (%50), Yazar-2 (%50)

Conceiving the Study: Author-1 (%50), Author-2 (%50)

Veri Toplanması: Yazar-1 (%50), Yazar-2 (%50)

Data Collection: Author-1 (%50), Author-2 (%50)

Veri Analizi: Yazar-1 (%50), Yazar-2 (%50)

Data Analysis: A Author-1 (%50), Author-2 (%50)

Makalenin Yazımı: Yazar-1 (%50), Yazar-2 (%50)

Writing Up: Author-1 (%50), Author-2 (%50)

Makale Gönderimi ve Revizyonu: Yazar-1 (%50), Yazar-2 (%50)

Submission and Revision: Author-1 (%50), Author-2 (%50)

#### **Açık Erişim Lisansı/ Open Access License**

This work is licensed under Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY NC).

Bu makale, Creative Commons Atıf-GayriTicari 4.0 Uluslararası Lisansı (CC BY NC) ile lisanslanmıştır.

## Kaynaklar

- Aydoğan, S., Erdil, E., ve Pamukçu, T. (2017). Türkiye Bilim, Teknoloji ve Yenilik Politikasının 1980 Sonrası Tarihi ve Gelişimi., *Bilim, Teknoloji ve Yenilik: Kavramlar, Kuramlar ve Politika*, (Editorler: Engin, N., Aslanoğlu, E., Erdoğan O., Karahasan, B., ve Tata, K.), Ankara, İmge Kitabevi Yayınları, s.381-421.
- Atik, H., ve Ünlü, F. (2019). The Measurement of Industry 4.0 Performance Through Industry 4.0 Index: An Empirical Investigation for Turkey and European Countries., *Procedia Computer Science*, 158, s.852-860.
- Atiyas, İ., and Bakis, O. (2015). Structural Change and Industrial Policy in Turkey., *Emerging Markets Finance and Trade*, 51(6), s.1209-1229.
- Bakır, E., Özçelik, E., Özmen ve E., Taşiran, C., (2017). Türkiye'de Erken Sanayisizleşme, *Geçmişten Geleceğe Türkiye Ekonomisi*, (Editorler: Koyuncu, M., Mıhçı, H. ve Yeldan, E.), İstanbul, İletişim Yayınları, s.157-191.
- Bartodziej, C. J. (2017). *The concept industry 4.0*, Wiesbaden, Springer Gabler.
- Bell, M., and Pavitt, K. (1992). Accumulating Technological Capability in Developing Countries., *The World Bank Economic Review*, 6(suppl\_1), s.257-281.
- Culot, G., Nassimbeni, G., Orzes, G., and Sartor, M. (2020). Behind the Definition of Industry 4.0: Analysis and Open Questions, *International Journal of Production Economics*, 226, 107617. s.1-15
- Çalış Duman, M., ve Akdemir, B. (2021). İşletmelerin Endüstri 4.0 Teknolojileri Kullanım Düzeyinin Belirlenmesine Yönelik Bir Ölçek Geliştirme Çalışması., *Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 12(3), s.923-940.
- Erdil, E. and Ertekin, Ş. (2018). Industry 4.0 And Turkish National Innovation System: Challenges And Prospects, *Teknopol Working Paper Series*, STPS-WP-18/01, Science and Technology Policies Research Center
- Ganzarain, J., and Errasti, N. (2016). Three Stage Maturity Model in SME's Toward Industry 4.0., *Journal of Industrial Engineering and Management (JIEM)*, 9(5), s.1119-1128.
- Gergin, Z., Üney-Yüksektepe, F., Güneş Gençyılmaz, M., Tülin Aktin, A., Gülen, K. G., İlhan, D. A., ... and Çavdarlı, A. İ. (2019). Industry 4.0 Scorecard of Turkish SMEs., *Proceedings of the International Symposium for Production Research 2018*. (Editors: Durakbasa, N., Gencyilmaz, M.), Springer, Cham, s.426-437
- Gökbulut, A., Ülgen, M., Vural, E., ve Ataoğlu, E. (2017). *Türkiye'nin Sanayide Dijital Dönüşüm Yetkinliği*, TÜSİAD, Yayın No: TÜSİAD-T/2017, 12 - 589.
- Han, X., and Wei, S. J. (2017). Re-examining the Middle-Income Trap Hypothesis (MITH): What to Reject and What to Revive?. *Journal of International Money and Finance*, 73, s.41-61.
- Hermann, M., Pentek, T., and Otto, B. (2015). Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios, *Working Paper No. 01 / 2015*, Technische Universität Dortmund Fakultät Maschinenbau
- Kagermann, H., Helbig, J., Hellinger, A., and Wahlster, W. (2013). Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the future of German Manufacturing Industry, *Final Report of the Industrie 4.0 Working Group*, Forschungsunion.
- Kim, L. (1999). Building Technological Capability for Industrialization: Analytical Frameworks and Korea's Experience., *Industrial and Corporate Change*, 8(1), s.111-136.
- Koca, K. C. (2018). Sanayi 4.0: Türkiye Açısından Fırsatlar ve Tehditler. *Sosyoekonomi*, 26(36), s.245-252.
- Kuo, C. C., Shyu, J. Z., and Ding, K. (2019). Industrial revitalization via industry 4.0—A comparative policy analysis among China, Germany and the USA., *Global Transitions*, 1, s.3-14.

- Lall, S. (1992). Technological Capabilities and Industrialization., *World Development*, 20(2), s.165-186.
- Lee, J.-D., Baek, C., Malipho, S. and Yeon, J.-I. (2019). Middle Innovation Trap., *Foresight and STI Governance*, 13(1), s.6-18.
- Merdin, D., ve Ersöz, F. (2019). Evaluation of The Applicability of Industry 4.0 Processes in Businesses and Supply Chain Applications., *2019 3rd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT)* (1-10). October 2019. IEEE.
- Miola, A., and Schiltz, F. (2019). Measuring Sustainable Development Goals Performance: How to Monitor Policy Action in the 2030 Agenda Implementation?, *Ecological Economics*, 13(1), 164, 106373. s.1-10
- Moritz, S., and Bartz-Beielstein, T. (2017). ImputeTS: Time Series Missing Value Imputation R, *The R Journal*, 9(1): s.207-218.
- Morrison, A., Pietrobelli, C., and Rabelotti, R. (2008), Global Value Chains and Technological Capabilities: A Framework to Study Learning and Innovation in Developing Countries., *Oxford Development Studies*, 36(1), s.39-58.
- Pruchnik, K., (2014), Low Level of Innovativeness and the Middle Income Trap–Polish., *Journal of Entrepreneurship, Management and Innovation*, 10(2), s. 141-157.
- Pruchnik, K., and Zowczak, J. (2017). Middle-income trap: Review of the conceptual framework., *ADB Working Paper*, No. 760, Asian Development Bank Institute (ADB), Tokyo
- Reischauer, G. (2018). Industry 4.0 as Policy-driven Discourse to Institutionalize Innovation Systems in Manufacturing., *Technological Forecasting and Social Change*, 132, s. 26-33.
- Salkin, C., Oner, M., Ustundag, A., and Cevikcan, E. (2018). A Conceptual Framework for Industry 4.0., *Industry 4.0: Managing the Digital Transformation*, (Editors: Üstündağ, A., ve Cevikcan, E.), Cham, Springer., s.3-23.
- Sarı, T., Güleş, H. K., and Yiğitöl, B. (2020). Awareness and Readiness of Industry 4.0: The Case of Turkish Manufacturing Industry., *Advances in Production Engineering & Management*, 15(1), s.57-68.
- Schuh, G., Potente, T., Wesch-Potente, C., Weber, A. R., and Prote, J. P. (2014). Collaboration Mechanisms to increase Productivity in the Context of Industrie 4.0., *Procedia Cirp*, 19, s.51-56.
- Soydan, A., (2018). Türkiye Ekonomisinde Finasallaşma ve Sanayisizleşme Deneyimi, *Türkiye Ekonomisinde Kalkınma ve Dönüşüm*, (Editorler: Engin, N., Aslanoğlu, E., Erdoğan O., Karahasan, B., ve Tata, K.), Ankara, İmge Kitabevi Yayınları, s.381-421.
- Taymaz, E., İzmen, Ü., Gürel, Y., Kılıçaslan, Y., ve Uğur A., (2018). *Türkiye'nin Dijital Ekonomiye Dönüşümü Türkiye Birleşim Sektörü: Yeri, Önemi, Evrimi ve Yetenekleri*, İstanbul, Tübisad.
- Taymaz, E., ve Voyvoda, E. (2015). 2023'e Doğru Sanayi, Yapısal Dönüşüm ve Sanayi Politikaları., *İktisat İşletme ve Finans*, 30(350), s.25-62
- T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2020). On Birinci Kalkınma Planı 2019-2023.
- T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2020). Onuncu Kalkınma Planı 2014-2018.
- Temur, G. T., Bolat, H. B., and Gözlü, S. (2019). Evaluation of Industry 4.0 Readiness Level: Cases from Turkey., *Proceedings of the International Symposium for Production Research 2018*. (Editors: Durakbasa, N., Gencyilmaz, M.), Springer, Cham, s.412-425
- TÜSİAD ve BCG (2016). Industry 4.0 in Turkey as an Imperative for Global Competitiveness - An Emerging Market Perspective. <https://tusiad.org/en/reports/item/9011-industry-40-inturkey-as-an-imperative-for-global-competitiveness>, 2 Aralık 2022.

- Türkmen, S. Y. (2018). Industry 4.0 and Turkey: A financial Perspective., *Strategic Design and Innovative Thinking in Business Operations*, (Editors: Dinçer, H., Hacıoğlu, Ü., ve Yüksel, S.), Cham, Springer., s.273-291.
- UNESCO, (2022) <http://data.uis.unesco.org/#>, 18 Eylül 2022.
- Whitfield, L., Staritz, C., Melese, A. T., and Azizi, S. (2020), Technological Capabilities, Upgrading, and Value Capture in Global Value Chains: Local Apparel and Floriculture Firms in Sub-Saharan Africa., *Economic Geography*, 96(3), s.195-218.
- Wigley, A., Mihçı, S., ve Ataç, K. (2018). Türkiye İmalat Sanayii Sektörlerinin Küresel Değer Zincirleri İçerisindeki Konumu ve Rekabet Gücü 2000-2011, *Türkiye Ekonomisinde Kalkınma ve Dönüşüm*, (Editorler: Engin, N., Aslanoğlu, E., Erdoğan O., Karahasan, B., ve Tata, K.), Ankara, İmge Kitabevi Yayınları, s.217-249.
- WIPO, (2022) <https://www3.wipo.int/ipstats/IpsStatsResultvalue>, 18 Eylül 2022.
- World Bank (2020). World Bank Open Data, <https://data.worldbank.org/indicator/TX.VAL.TECH.MF.ZS?locations=TR>, 26 Kasım 2020
- World Bank (2022). <https://data.worldbank.org/indicator/TX.VAL.TECH.CD>, 18 Eylül 2022.
- Xu, L. D., Xu, E. L., and Li, L. (2018). Industry 4.0: State of the Art and Future Trends., *International Journal of Production Research*, 56(8), s.2941-2962.
- Yeon, J. I., Lee, J. D., and Baek, C. (2021). A Tale of Two Technological Capabilities: Economic Growth Revisited from a Technological Capability Transition Perspective., *The Journal of Technology Transfer*, 46, s.574-605.
- Yüksel, H. (2020). An Empirical Evaluation of Industry 4.0 Applications of Companies in Turkey: The Case of a Developing Country., *The Journal of Technology Transfer*, 46, s.574-605.
- Zhong, R. Y., Xu, X., Klotz, E., and Newman, S. T. (2017). Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review., *Engineering*, 3(5), s.616-630.
- Ziemann, V., and Guérard, B. (2017). Reaping the Benefits of Global Value Chains in Turkey., *OECD Economics Department Working Papers*, No. 1366. Paris