Marmara Üniversitesi Öneri Dergisi • Cilt 21, Sayı 65, Ocak 2026, ISSN 2147-5377, ss. 231-272
DOI: 10.14783/maruoneri.1784635

ARAŞTIRMA MAKALESİ / RESEARCH ARTICLE

SANAYİ 4.0: ÇEŞİTLİ ÜLKE ÖRNEKLERİ ÜZERİNDEN ULUSAL POLİTİKALARIN VE STRATEJİLERİN İNCELENMESİ*

INDUSTRY 4.0: AN EXAMINATION OF NATIONAL POLICIES AND STRATEGIES THROUGH VARIOUS COUNTRY CASES

Munise Tuba AKTAŞ**
Burak Tuğberk TOSUNOĞLU***
Talha KUTAY****

Öz

Günümüzde teknolojik gelişmeler etki ve boyutlarıyla yeni bir sanayi devrimine zemin hazırlamış ve Sanayi 4.0 devrimine yönelik ülkelerin uyum ve dönüşüm ihtiyacı baş göstermiştir. Bu kapsamda Sanayi 4.0'a yönelik çeşitli politika ve stratejilerin ortaya konmasında ulusal çabaların ön plana çıktığı görülmektedir. Bu devrim, gelişmiş ve yeni sanayileşen ülkelerde dahil olmak üzere çeşitli zorlukları beraberinde getirmektedir. Dolayısıyla Sanayi 4.0'ın ulusal açıdan incelenmesi oldukça önemlidir. Bu çerçevede Sanayi 4.0'a yönelik çeşitli ülkelerin uyguladığı politika ve stratejilerin incelenmesi çalışmanın temel amacıdır. Bu amacı gerçekleştirmek için nicel yöntem kullanılmıştır. Nicel yöntem kapsamında saçılım grafikleri ve trend analizi tercih edilmiştir. Nicel analiz ise nitel verilerle desteklenmiştir. Çalışmada, nitel veriler arasında ülkelerin strateji belgeleri (ör. Made in China 2025, Türkiye Sanayi Stratejisi, Industrie 4.0), kalkınma planları, kamu politikası raporları ve akademik çalışmalar yer almaktadır. Nicel analiz için ise Geleceğe Hazırlık Ekonomik Endeks (FREI) skorları ile teknoloji skoru verileri kullanılmıştır. Bu veriler üzerinden ülke gruplarına göre sınıflandırma yapılmış ve FREI ile teknoloji skoru arasındaki ilişki grafiklerle desteklenerek yorumlanmıştır. Sanayi 4.0 devrimine yönelik çeşitli ülkelerdeki uygulamaların ortaya koyulmasıyla sürecin daha iyi anlaşılacağı ve değerlendirilebileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sanayi 4.0, Teknoloji, Strateji, Gelişme, Dijitalleşme

* Bu çalışma, Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından SBA-2023-60 numaralı proje kapsamında desteklenmiş olup, söz konusu proje kapsamında elde edilen bulgular temel alınarak geliştirilmiştir.

** Anadolu Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat, mtturker@anadolu.edu.tr, 0000-0003-1541-4639

*** Anadolu Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat, ttosunoglu@anadolu.edu.tr, 0000-0001-9377-5136

**** Anadolu Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İktisat, talhakutayfb@gmail.com, 0000-0003-4005-3222

How to cite this article/Atıf i çin: Tosunoğlu, B. T., Aktaş, M. T., & Kutay, T. (2026). Sanayi 4.0: Çeşitli ülke örnekleri üzerinden ulusal politikaların ve stratejilerin incelenmesi. Öneri Dergisi, 21(65). DOI: 10.14783/maruoneri.1784635

Makale Gönderim Tarihi: 15.09.2025 **Yayına Kabul Tarihi:** 14.01.2026

Bu eser Creative Commons Atıf-Gayri Ticari 4.0 Uluslararası Lisansı ile lisanslanmıştır.

Abstract

Today, technological developments—through their scope and impact—have laid the groundwork for a new industrial revolution, giving rise to the need for countries to adapt to and transform toward Industry 4.0. In this context, it is observed that national efforts have come to the fore in the formulation of various policies and strategies for Industry 4.0. This revolution brings with it a range of challenges, not only for developed countries but also for newly industrializing economies. Therefore, examining Industry 4.0 from a national perspective is of great importance. Within this framework, the main objective of the study is to analyze the policies and strategies implemented by various countries with regard to Industry 4.0. To achieve this objective, a quantitative method is employed. Within the scope of the quantitative method, scatter plots and trend analysis were employed, and the quantitative analysis is supported by qualitative data. The qualitative data used in the study include countries' strategic documents (e.g., Made in China 2025, Turkey's Industrial Strategy, Industrie 4.0), development plans, public policy reports, and academic studies. For the quantitative analysis, scores from the Future Readiness Economic Index (FREI) and technology score data are utilized. Based on these data, countries are classified into groups, and the relationship between FREI and technology scores is interpreted with the support of graphical representations. By presenting the practices adopted by various countries in relation to the Industry 4.0 revolution, it is expected that the process can be better understood and evaluated.

Keywords: Industry 4.0, Technology, Strategy, Development, Digitalization

1. Giriş

17. yüzyılın sonunda buhar makinesinin icadıyla büyük imalathanelerin ortaya çıkmasına yol açan "Sanayi Devrimi", terim olarak ilk defa 19. yüzyılda Fransız bilim adamı Jerome Blanqui tarafından kullanılmıştır. 19. yüzyılın ilk yarısında modern kumaş imalathanelerinin ortaya çıkmasıyla Birinci Sanayi Devrimi sona ermiştir. 19. ve 20. yüzyılların başında içten yanmalı motorların gelişmesi, elektrifikasyonun yaygınlaşması ve toplu montaj hatlarının kullanılmaya başlanmasıyla İkinci Sanayi Devrimi ortaya çıkmıştır. Bunu izleyen Üçüncü Sanayi Devrimi, bilgisayarın icadıyla birlikte üretim süreçlerinin otomatikleşmesini sağlamıştır. 1990'lı yıllarda küresel internet ağının ortaya çıkmasıyla insanlığın yeni bir bilgi çağına girdiği ifade edilmiş ve bu süreçte Sanayi 4.0 ülkelerin gündemine girmeye başlamıştır (Kochetkov vd., 2017).

Sanayi 4.0 kavramı, endüstrinin evriminde yeni bir aşamayı temsil etmektedir. Bu aşama, dijital teknolojilerin üretim süreçlerine entegrasyonuyla biçimlenmiştir. Hannover Fuarı'nda bir grup bilim insanı ve sanayi uzmanı tarafından ortaya atılan Sanayi 4.0 (Industrie 4.0) kavramı, 2010 yılı başlarında Almanya'da sanayi sektörünü ileriye taşımak amacıyla başlatılan "Yüksek Teknoloji Stratejisi 2020 Eylem Planı" kapsamında ilk kez kullanılmıştır (Kagermann vd., 2013; Suswanto vd., 2019; Alias vd., 2018; Romero Gázquez vd., 2021; Wang vd., 2016). Özellikle, Almanya Federal Hükümeti tarafından desteklenen ve başta Profesör Dr. Henning Kagermann olmak üzere bir grup uzmanın öncülüğünde geliştirilen bu kavram, Alman hükümetinin sanayi politikalarının bir parçası olarak tanıtılmıştır. Kavram, Almanya'nın üretim sektöründe dijitalleşme sürecini hızlandırmayı ve bu sayede küresel rekabet gücünü artırmayı amaçlayan bir stratejinin temelini oluşturmaktadır. Dünya Ekonomik Forumu 2016 yılında Sanayi

4.0'ı "teknolojilerin birleşimi (a fusion of technologies)" olarak tanımlayarak fiziksel, dijital ve biyolojik alanların sınırlarının belirsizleştiğini vurgulamıştır (Yang vd., 2019). Yüksel (2020)'e göre Sanayi 4.0, nesnelerin interneti ve hizmetlerin internetinin üretim sürecine entegrasyonu ile başlatılan Sanayi 4.0'ı ifade etmektedir. Tortorella & Fettermann (2017)'a göre Sanayi 4.0, Bilgi ve İletişim Teknolojilerini (BİT) entegre ederek son derece özelleştirilmiş ürünlerin seri üretimini mümkün kılan otonom ve dinamik bir üretimi hedeflemektedir. Frank vd. (2019) göre ise Sanayi 4.0, nesnelerin interneti ile gelişen farklı teknolojilere yakınsamanın endüstriyel faaliyetler için değer yaratabilecek siber-fiziksel ve akıllı sistemlerle sonuçlandığı yeni bir endüstriyel senaryo olarak kabul edilmektedir. Sanayi 4.0'ın ana ilkesi çeşitli imalat makinelerini, tesisleri, birimleri ve şirketleri ve ayrıca tedarikçiler, müşteriler, lojistik ve enerji tedarikçileri gibi endüstriyle ilişkili şirketleri birbirine bağlamak için BİT'in kullanılmasıdır. BİT'in kullanılması üretim süreçlerinin otomatikleştirilmesine, optimize edilmesine ve otonomlaştırılmasına yol açmaktadır (Mohamed vd., 2019). Sanayi 4.0 siber-fiziksel sistemler, nesnelerin interneti ve birbirine bağlı sistemler arasında gerçek zamanlı veri alışverişine yaptığı vurgudan dolayı önceki sanayi devrimlerinden ayrılmaktadır (Lasi vd., 2014). Bu devrim, makinelerin, ürünlerin ve sistemlerin özerk bir şekilde iletişim kurduğu akıllı fabrikalar yaratmayı hedeflemektedir. Bundan ötürü üretim süreçlerinde verimlilik, uzmanlaşma ve esneklik artışı sağlanmaktadır (Hermann vd., 2016). Almanya süreç içinde sadece üretim ve teknolojinin yeterli olmadığını görerek, insan-toplum iş birliği modellerini de içine alan dijitalleşme yaklaşımını 2030 hedefleri doğrultusunda devam ettirmektedir. Diğer ülkelerdeki politika yapıcılar da Sanayi 4.0'ı kendi sanayilerine entegre edebilmek için çeşitli hedefler ve politika önerileri ortaya koymuş, Sanayi 4.0'ı anımsatan çeşitli kavramlar türetmişlerdir (Wang vd., 2016; Yıldırım, 2019; Siau vd., 2019; Rodrigues vd., 2021).

Bu çalışma, Sanayi 4.0'a yönelik ulusal politika ve stratejileri bütüncül olarak incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışmanın kapsamında, Geleceğe Hazırlık Ekonomi Endeksi (Future Readiness Economic Index, FREI) ve teknoloji skorları kullanılarak ülkeler için Sanayi 4.0'a hazırlık düzeyleri nicel olarak analiz edilmekte; elde edilen bulgular, Türkiye, İngiltere, Güney Kore, Amerika Birleşik Devletleri (ABD), Çin, Fransa, Japonya, Singapur, Tayvan, Malezya, Endonezya, Rusya ve Brezilya özelinde yürütülen karşılaştırmalı politika analiziyle derinleştirilmektedir. Yöntemsel olarak çalışma, ileri düzey ekonometrik modellere dayanmaktan ziyade saçılım grafikleri ve grup bazlı trend doğrusu analizi gibi betimleyici ve karşılaştırmalı nicel teknikleri merkeze almaktadır. Ayrıca bu nicel çerçeve, ülkelerin Sanayi 4.0 vizyonlarını, hedeflerini ve uygulama araçlarını ele alan nitel analizle desteklenmektedir. Literatüre katkı bakımından çalışma, akademik yazında sınırlı biçimde kullanılan ve daha önce Sanayi 4.0 stratejileriyle sistematik olarak ilişkilendirilmemiş olan FREI'yi analitik bir araç olarak kullanması ve bu endeksi ulusal politika belgeleriyle birlikte değerlendirmesi yönüyle özgün nitelik taşımakta ve literatürdeki boşluğu doldurmaktadır. Nitel kısımda ülke seçimi, farklı gelişmişlik düzeylerine sahip ülkeleri kapsayacak şekilde ve politika belgeleri ve kurumsallaşma ölçütleri doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Sanayi 4.0'a yönelik politika geliştiren her ülkeyi ve incelenen ülkelerin Sanayi 4.0'a yönelik uyguladıkları her politikayı çalışma kapsamında incelemek mümkün olmamıştır. Bu nedenle Sanayi 4.0 bağlamında ağırlıklı olarak ön plana çıkan ülkeler incelenmiştir. Çalışmanın en önemli kısıtının bu olduğu söylenebilir.

2. Literatür Taraması

Sanayi 4.0'ın ekonomik, teknolojik ve kurumsal dönüşüm üzerindeki etkileri son yıllarda yoğun akademik ilgi görmektedir. Ülkelerin dijitalleşme kapasitesini değerlendiren birçok çalışma gelişmişlik düzeylerini, politika tercihlerini ve sektörel dönüşüm süreçlerini ele almaktadır. Konuyla ilgili nicel çalışmalarda ağırlıklı olarak Sanayi 4.0'la dolaylı ve doğrudan ilişkili olan Dijital Ekonomi ve Toplum Endeksi (Digital Economy and Society Index, DESI), Avustralya Dijital Kapsayıcılık Endeksi (Australian Digital Inclusion Index, ADII), Ağ Hazırlık Endeksi (Network Readiness Index, NRI), Küresel İnovasyon Endeksi (The Global Innovation, GII), BİT Gelişmişlik Endeksi (ICT Development Index, IDI) ve Türkiye Dijital Toplum Endeksi (TDTE) gibi göstergelerden yararlanılmaktadır. Bahsedilen endekslere ilişkin literatür özetleri Tablo 1'de gösterilmektedir.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde mevcut endekslerin panel veri, kümelenme ve temel bileşenler gibi çeşitli ekonometrik yöntemlerle incelendiği görülmektedir. Çalışmalarda daha yaygın olarak DESI kullanılmaktadır. Avustralya ve Türkiye özelinde de görüldüğü üzere ülkelere özgü endekslerde geliştirilmeye başlanmıştır.

Çalışma kapsamında ele alınan FREI ile ilgili daha önce akademik bir çalışma yapılmamıştır. Endeks Google'ın Dijital Sprinter (Digital Sprinters) çerçevesi üzerine inşa edilmiş ve ülkelerin geleceğe hazırlık durumlarını ve dijital dönüşümü temel bir unsur olarak içeren daha sürdürülebilir ve kapsayıcı büyümeyi teşvik etme çabalarını değerlendirmelerine yardımcı olmak amacıyla geliştirilmiştir. Böylece ülkeler, kendilerini belirli ölçütler veya hedefler karşısında konumlandırmak ve bu hedeflere yönelik ilerlemelerini değerlendirmek için bu aracı kullanabilecektir (Descartes Institute for the Future, 2023).

Mevcut literatürde FREI'i Sanayi 4.0 stratejileri ile ilişkilendirerek ülkeler arası yapısal karşılaştırma yapan bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışma, literatürdeki söz konusu boşluğu doldurarak FREI skorunu teknoloji skoru ile birlikte kullanmakta; ülkeleri gelişmişlik kategorilerine göre karşılaştırmaktadır. Ayrıca nicel bulgular, ülkelerin resmi Sanayi 4.0 strateji belgeleriyle ilişkilendirilerek değerlendirilmektedir.

Tablo 1. Literatür Özetleri

Yazar(lar)	Başlık	Açıklama
Öztürk ve Alaşahan (2019)	Türkiye Endüstri 4.0 Uygulamalarının Değerlendirilmesi: Panel Veri Analizi	Çalışmalarında GII'de yer alan dokuz ülke ve Türkiye ekonomisinden oluşan örneklem için Pedromi eşbütünleşme testi ve Granger nedensellik analizini kullanarak Sanayi 4.0'ın ülkeler arası karşılaştırmasını yapmışlardır.
Stavytskyy vd. (2019)	AB'de Dijital Ekonomi ve Toplum Endeksinin Analizi (The Analysis of the Digital Economy and Society Index in the EU)	Çalışmalarında DESI'yi analiz etmişlerdir. 2013-2018 dönemine ait 28 Avrupa Birliği ülkesinin verilerine dayanarak panel regresyon yöntemini kullanmışlardır. Satın alma paritesine göre tüketim endeksindeki artışın ve aktif nüfus içindeki işsizlik oranının DESI'nin yapısal bileşenler üzerindeki etkisini incelemişlerdir.

Banhidi vd. (2020)	Genel Dijital Ekonomi ve Toplum Endeksinin Ortaya Koydukları: AB-28 DESI Üzerine İstatistiksel Bir Analiz (What The Overall Digital Economy and Society Index Reveals: A Statistical Analysis DESI EU28)	Çalışmalarında dijital dönüşümle ilgili kamu politikası stratejilerinin etkinliğinin artırılabilmesi için dijitalleşmenin ölçülmesinin kritik önemde olduğunu vurgulamışlardır. Buradan yola çıkarak DESI'nin beş temel boyutunu çok değişkenli istatistik tekniklerini kullanarak incelemişlerdir.
Sevgi (2021)	Dijital Ekonomi ve Toplum Endeksinin (DESI) Kümeleme Analizi Yoluyla İncelenmesi (Analysis of the Digital Economy and Society Index (DESI) Through a Cluster Analysis)	Çalışmasında ilk olarak AB ülkelerinin DESI 2020 verilerine göre nasıl kümelendiğini belirlemeyi ve AB ülkelerinin DESI kümelenmesi ile refah rejimi sınıflandırması arasında bir ilişki olup olmadığını tespit etmeyi amaçlamıştır. Yöntem olarak kümelenme analizini kullanmıştır.
Marshall vd. (2020)	Avustralyalı Çiftçiler Dijital Ekonomide Geride Kalıyor: Avustralya Dijital Kapsayıcılık Endeksi'nden Bulgular (Australian Farmers Left Behind in the Digital Economy – Insights from the Australian Digital Inclusion Index)	Çalışmasında ADII'ye odaklanmışlardır. Avustralya çiftçilerin özelinde dijital kapsayıcılığı benimseme düzeylerini ve nitelikleri belirlemişlerdir. Kırsal bölgelerde yaşayan Avustralyalıların (coğrafi konuma göre) ve çiftçilerin (mesleğe göre) dijital kapsayıcılık puanlarını elde ederek karşılaştırmışlardır.
Liu (2022)	Dijital Ekonomi ve Toplum Endeksi Perspektifinden Avrupa Ülkelerinde Dijital Politika (Digital Policy in European Countries From the Perspective of the Digital Economy and Society Index)	Çalışmasında çeşitli AB ülkelerinin dijital politika performansını belirlemek amacıyla 2017 yılına ait DESI göstergelerini kullanmıştır. Ülkeleri benzer değişkenlerle olan korelasyonlarına göre görselleştirmek ve sınıflandırmak için co-plot yöntemini uygulamıştır.
Huarng ve Yu (2022)	Küresel İnovasyon Endeksinin Yapısal Nitel İlişkilendirme Yoluyla Analizi (Analysis of Global Innovation Index by Structural Association)	Çalışmalarında GII'nin tüm ilişkilerini kapsamlı bir şekilde analiz etmeyi amaçlamışlardır. Yöntem olarak hem bulanık küme nitel karşılaştırmalı analizi hem de yapısal nitel ilişkisel analizi kullanmışlardır. Önemsiz ilişkileri ayıklamak için sistematik bir yaklaşım önermişlerdir. GII 2020 verilerini kullanmışlardır. Pozitif GII ve Negatif GII için ikişer ilişki elde etmişlerdir.
Bruno vd. (2023)	Bölgesel Düzeyde Dijital Bölünmenin Ölçümüne Yönelik Azaltılmış Bir Bileşik Gösterge: Dijital Ekonomi ve Toplum Endeksi (DESI) Uygulaması (A Reduced Composite Indicator for Digital Divide Measurement at the Regional Level: An Application to the Digital Economy and Society Index (DESI))	Çalışmalarında en yaygın endeks olan DESI'ye odaklanmışlardır. DESI içinde yer alan fazla göstergeleri belirlemek ve gösterge sayısı azaltılmış bir endeks elde etmek amacıyla korelasyon ve temel bileşenler analizini kullanmışlardır. AB'ye üye 29 ülkeye ait 2020 yılı verisiyle gerçekleştirilen analiz, azaltılmış göstergelerden oluşan DESI'nin orijinal DESI'ye göre benzer sonuçlar ürettiğini göstermiştir.

Skare vd. (2023)	Dijital Dönüşüm ve Avrupa'daki Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeler (KOBİ'ler): Dijital Ekonomi ve Toplum Endeksi (DESI) Verileri Kullanılarak Karşılaştırmalı Bir Çalışma (Digital Transformation and European Small and Medium Enterprises (SMEs): A Comparative Study Using Digital Economy and Society Index Data)	Çalışmalarında dijital dönüşümün Küçük ve Orta Ölçekli İşletmelerin (KOBİ) iş yapısını nasıl etkilediğine odaklanmışlardır. Bu kapsamda dijital dönüşümü temsilen DESI göstergelerini, KOBİ sorunlarını temsilen ise Avrupa işletmelerinin finansmana erişimiyle ilgili bir anketten elde edilen verileri kullanmışlardır.
Oturakci (2023)	Küresel İnovasyon Endeksinin Kapsamlı Analizi: İstatistiksel ve Stratejik Bir Yaklaşım (Comprehensive Analysis of the Global Innovation Index: Statistical and Strategic Approach)	Çalışmasında GII'ye odaklanmıştır. İnovasyon Girdi Alt Endeksi ile İnovasyon Çıktı Alt Endeksi arasındaki ilişkiyi kanonik korelasyon analiziyle incelemiştir. 2013-2020 yıllarına ait yıllık raporları esas almış ve tüm ülkeleri kapsayan bir veri seti oluşturmuştur.
Nugraha ve Putriani (2023)	Fintech Kredilendirmesi ve Bilgi ve İletişim Teknolojileri (BİT) Gelişmişlik Endeksi Yoksulluğu Etkiliyor mu? Endonezya'dan Kanıtlar (Does Fintech Lending and ICT Development Index Affect Proverty? Evidence From Indonesia)	Çalışmalarında FinTech kredilendirmesi ve IDI'nin Endonezya'daki yoksulluk üzerindeki etkilerini incelemeyi amaçlamışlardır. Nicel yöntem kullanmışlar ve panel veri regresyon yapmışlardır.
Köksal ve Barış (2023)	Türkiye Dijital Toplum Endeksi (Türkiye Digital Society Index)	Çalışmalarında TÜİK'in Hanehalkı Bilişim Teknolojileri Kullanım Araştırması verilerini kullanarak TDTE adıyla bir endeks tasarlamışlardır.
Özkan ve Atan (2023)	Dijital Ekonomi ve Toplum İndeksinin Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleriyle İncelenmesi.	Çalışmalarında DESI'yi incelemişlerdir. Endeks bileşenlerine ait 2021 verilerine göre AB üye ülkelerinin dijital ekonomi kapasitelerinin çok ölçütlü kriterler arası korelasyona dayalı kriter ağırlıklandırma ve birleşik uzlaşık çözüm yöntemleriyle yeniden değerlendirmesini yapmışlardır.
Banhidi ve Dobos (2024)	Dijital Gelişmenin Ölçülmesi: Veri Zarflama Analizi (VZA) ve Ağ Hazırlık Endeksi (NRI) Kullanılarak Bir Sıralama (Measuring Digital Development: Ranking Using Data Envelopment Analysis (DEA) and Network Readiness Index (NRI))	Çalışmalarında NRI puanlama modelinde kullanılan eşit ağırlıklandırma şemasına alternatif oluşturabilecek uygulanabilir bir çerçeve sunmayı amaçlamıştır. Bu amaç doğrultusunda girdi ihtiyaç duymayan veri zarflama analizi ve ortak ağırlık analizi yöntemlerini kullanmışlardır. Ortak ağırlıklar belirlendikten sonra elde edilen sonuçlara dayanarak NRI veri setindeki ülkelerin dijital gelişmişlik düzeylerini karşılaştırmışlardır. Özellikle Orta ve Doğu Avrupa ülkeleri ile eski Sovyetler Birliği ülkelerine odaklanmışlardır.

Nasir ve Zhang (2024)	Küresel İnovasyon Endeksinin Yenilikçi Faktörlerinin Değerlendirilmesi: Panel Veri Yaklaşımı (Evaluating Innovative Factors of the Global Innovation Index: A Panel Data Approach)	Çalışmalarında inovasyon girdileri, çıktıları ve verimlilik arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Ayrıca küresel inovasyon mekanizmaları arasındaki bağlantıları ortaya koymayı amaçlamışlardır. 105 ülkeye ait panel verileri kullanmışlardır. Veriler GII, Dünya Fikri Mülkiyet Örgütü (World Intellectual Property Organization, WIPO) ve Dünya Kalkınma Göstergeleri (World Development Indicators, WDI) kaynaklarından elde edilmiştir. Bu doğrultuda uzun dönem tahminlerini elde etmek için sağlam regresyonlu panel düzeltmeli standart hatalar ve panel kantil regresyon tekniklerini uygulamışlardır. Sonuçların karşılaştırılması için ise iki aşamalı en küçük kareler ve genişletilmiş ortalama grup tahmincisi olmak üzere iki ek yöntemde analize dahil edilmiştir.
Başol ve Yalçın (2024)	Dijital Ekonomi ve Toplum Endeksinin Yaşam Kalitesi Endeksi Üzerindeki Etkisinin Değerlendirilmesi.	Çalışmalarında 2022 yılı verileri için 27 AB ülkesinde DESI'nin Yaşam Kalitesi Endeksi üzerindeki etkisine odaklanmışlardır. Analiz yöntemi olarak yapısal eşitlik modellemesini kullanmışlardır.

Kaynak: Tablo, yazarlar tarafından oluşturulmuştur.

3. Yöntem

Bu çalışma, Sanayi 4.0'a yönelik ulusal politika ve stratejileri incelemek amacıyla betimleyici ve karşılaştırmalı bir yöntemsel yaklaşım benimsemektedir. Araştırmada nicel yöntem merkezi bir konumda yer almakla birlikte, kullanılan nicel tekniklerin kapsamı ileri düzey ekonometrik analizlerden ziyade tanımlayıcı ve karşılaştırmaya dayalı istatistiksel araçlardır.

Nicel analizde temel olarak FREI ve teknoloji skorları kullanılmıştır. Bu göstergeler, ülkelerin dijital dönüşüm kapasitesini ve Sanayi 4.0'a hazırlık düzeyini ölçen bağımsız ancak birbirini tamamlayan iki temel değişkendir. Analizin amacı, bu iki değişken arasındaki eş yönlülüğü, gelişmişlik düzeylerine göre farklılaşmayı ve ülke kümelerinin yapısal konumlarını ortaya koymaktır. Bu çerçevede uygulanan teknikler şunlardır:

1. Saçılım Grafikleri: İki değişken arasındaki ilişkinin görsel olarak değerlendirilmesi amacıyla kullanılmıştır. Bu teknik, korelasyonun yönü ve ilişkisel örüntü hakkında sezgisel bilgi sunmaktadır.
2. Trend Doğrusu Analizi: Kümelenmiş ülke grupları (gelişmiş, yeni sanayileşen, gelişmekte olan) için ayrı ayrı eğilim doğruları çizilerek, ilişkinin hangi kategoride daha güçlü veya zayıf göründüğü yorumlanmıştır. Bu yöntem, dinamik bir zaman serisi analizi değil, yapısal bir eğilim değerlendirmesi sunmaktadır.

Bu bağlamda bahsi geçen teknikler çalışmaya iki temel katkı sağlamıştır:

1. Ülke gruplarının Sanayi 4.0 bağlamında yapısal konumlarının nicel olarak karşılaştırılabilir hale gelmesi,
2. Nitel politika analizine zemin oluşturan analitik bir sınıflandırmanın elde edilmesi.

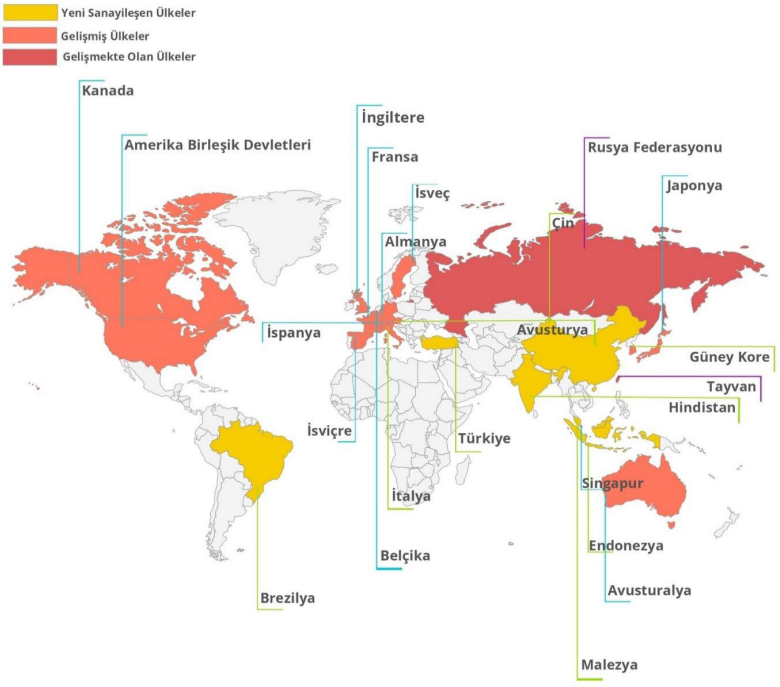
Çalışmanın nitel boyutunda ise ülkelerin Sanayi 4.0 strateji belgeleri (ör. Industrie 4.0, Made in China 2025, Türkiye Sanayi Stratejisi), kalkınma planları, kamu politika raporları ve akademik yayınlar sistematik olarak incelenmiştir. Bu belgeler aracılığıyla ülkelerin Sanayi 4.0 vizyonu,

hedefleri ve uygulama araçları analiz edilmiştir. Böylece nicel analiz, nitel bulgularla desteklenmiş ve ulusal politikaların temel eğilimlerini daha bütüncül şekilde değerlendirmek mümkün olmuştur.

Ülke seçimi, IMF (2024) ve mevcut literatürde yer alan sınıflandırmalar (Bozyk, 2006; Savelyev vd., 2021; Karaduman, 2022) dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Gelişmiş, yeni sanayileşen ve gelişmekte olan ülkeleri temsil eden örnekleme, Sanayi 4.0 stratejilerinin küresel ölçekte nasıl şekillendiğini değerlendirme imkânı sağlamaktadır. Ülkelerin seçiminde, strateji belgelerine erişilebilirlik ve dijitalleşme temelli ulusal planlarının son on yıl içinde yürürlüğe girmiş olması temel kıstas olarak belirlenmiştir.

4. Sanayi 4.0 Dönüşümünde Ülkelerin Durumu

Hükümetler, Sanayi 4.0'ı kendi sanayilerine entegre edebilmek için çeşitli hedef ve politika önerileri ortaya koymaktadırlar. Sanayi 4.0'a adapte olma sürecinde öne çıkan bazı ülkeler Şekil 1'de sunulmaktadır. Gelişmiş, gelişmekte olan ve yeni sanayileşen ülkeler Sanayi 4.0'a adaptasyonu daha kolay sağlayabilmektedir. Siau vd. (2019) de ifade ettiği üzere gelişmiş ülkeler Sanayi 4.0'a en fazla hazırlıklı olan ülkelerdir. Bilgi ekonomisi, inovasyon ve akıllı üretim konularında rekabet avantajları bulunmaktadır. Bu avantajlar, yakın gelecekte yeni pazarlar ve iş fırsatlarına dönüşebilecektir. Yeni sanayileşen ülkelerin gelişmiş ülkeleri yakalayabilme fırsatı bulunmaktadır. Özellikle Sanayi 4.0 teknolojilerinin benimsenmesi bu fırsatı güçlendirebilecektir.



Şekil 1. Sanayi 4.0'a adapte sürecinde öne çıkan ülkeler

Kaynak: Şekil, yazarlar tarafından hazırlanmıştır.

4.1. Ülkelerin Gelecekteki Dönüşümlere Yönelik Hazırlık Kapasitelerinde Teknolojinin Önemi: Trend Analizi ve Saçılım Grafiği

Ülkelerin gelecekteki ekonomik değişimlere ve teknolojik dönüşümlere uyum sağlama kapasitesini ölçmek için FREI oluşturulmuştur (Descartes Institute for the Future, 2023). Bu endeks ülkelerin gelecekte yaşanabilecek dönüşümlere hazırlık kapasitelerini ölçmelerine, uzun vadeli sürdürülebilirliklerini artırmak için hedefe yönelik stratejiler geliştirmelerine ve kaynak tahsisini etkili bir şekilde gerçekleştirmelerine olanak sağlamaktadır. Endeks; fiziksel sermaye, beşerî sermaye, teknoloji ve rekabetçilik olmak üzere dört kategori üzerinden hesaplanmaktadır. Her kategori kendi içinde alt başlıklara ayrılmaktadır. Teknoloji kategorisi altında özellikle Sanayi 4.0 teknolojileri önemli bir yer tutmakta ve hesaplamaya değişken olarak dahil edilmektedir. Teknoloji kategorisinin alt başlıkları Tablo 2'de gösterilmektedir.

Tablo 2. Teknoloji Kategorisinin Alt Başlıkları

1. Dijital Kullanım	2. Dijital İçerik Oluşturma	3. Sanayi 4.0
1.1. İnternet kullanıcıları	2.1. GitHub taahhütleri	3.1. Bulut Bilişim
1.2. Aktif mobil genişbant abonelikleri	2.2. Wikipedia düzenlemeleri	3.2. Yapay zekâ yazılım geliştirme
1.3. İnternet kullanımında cinsiyet eşitliği	2.3. İnternet alan adı kayıtları	3.3. Yapay zekâ araştırmaları
1.4. Web sitesine sahip firmalar	2.4. Mobil uygulama geliştirme	3.4. Bilgi ve İletişim Teknolojileri patent başvuruları
1.5. İnternetten alışveriş		3.5. Nesnelerin interneti
1.6. Devletin çevrim içi hizmetleri		
1.7. E-katılım		

Kaynak: Tablo, Lanvin (2023, s. 9) temel alınarak yazarlar tarafından oluşturulmuştur.

FREI ve teknoloji skorları Tablo 2'de gösterilmektedir. Bu skorlar arasındaki ilişkinin ortaya koyulması ülkelerin gelecekte yaşanabilecek dönüşümlere hazırlık kapasitelerinde teknolojinin önemini açığa çıkarabilecektir. Skorlar arasındaki ilişki analiz edilmeden önce ülkeler, yazarlar tarafından gelişmişlik seviyelerine göre gruplandırılmıştır. IMF (2024), ülkeleri, gelişmiş piyasalar (advanced markets), gelişmekte olan piyasalar (emerging markets) ve düşük gelirli ülkeler (low-income countries) olmak üzere üç kategoriye ayırmaktadır. Son 30-40 yıl içinde sosyo-ekonomik durumlarında niteliksel bir gelişme yaşanan bazı gelişmekte olan ülkelerin yeni sanayileşen ülkeler olarak ifade edilmesi nedeniyle bu ayrım çalışma kapsamında dikkate alınmıştır (Savelyev vd., 2021; Bozyk, 2006; Guillen, 2001; Karaduman, 2022; Adebayo vd., 2022). Dolayısıyla Tablo 3'de görüldüğü üzere ülkeler gelişmiş, yeni sanayileşen, gelişmekte olan ve az gelişmiş olmak üzere dört kategori altında ele alınmıştır.

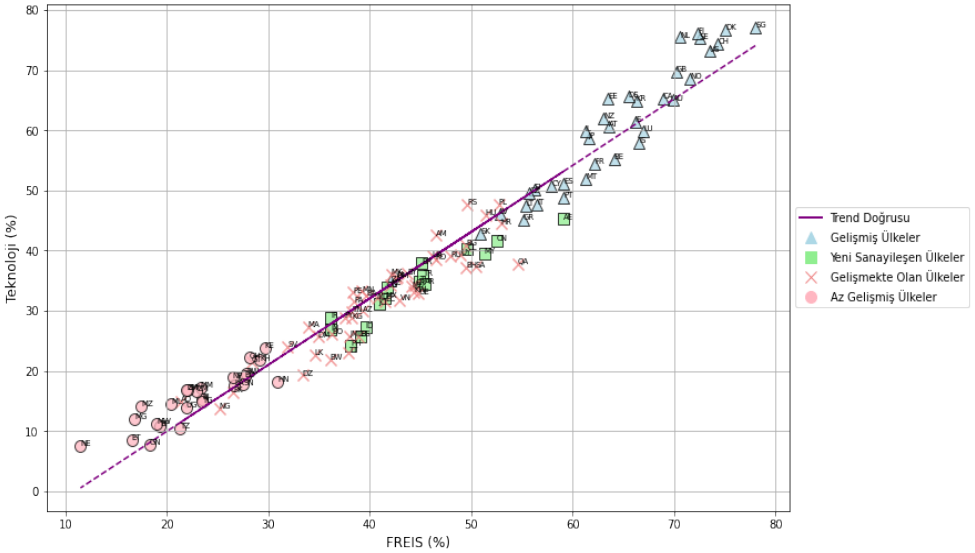
Tablo 3. Ülke Kategorilerine Göre FREI ve Teknoloji Skorları

Gelişmiş Ülkeler			**Yeni Sanayileşen Ülkeler**			**Gelişmekte Olan Ülkeler**			**Az Gelişmiş Ülkeler**		
Ülkeler	FREI Skoru (%)	Teknoloji Skoru (%)	Ülkeler	FREI Skoru (%)	Teknoloji Skoru (%)	Ülkeler	FREI Skoru (%)	Teknoloji Skoru (%)	Ülkeler	FREI Skoru (%)	Teknoloji Skoru (%)
Singapur (SG)	78.01	77.15	Güney Afrika (ZA)	42.06	35.00	BAE (AE)	59.04	45.23	Moldova (MD)	40.68	32.10
Danimarka (DK)	75.08	76.75	Meksika (MX)	41.54	32.13	Katar (QA)	54.58	37.84	Honduras (HN)	30.89	18.20
İsviçre (CH)	74.33	74.47	Brezilya (BR)	45.11	37.88	Hırvatistan (HR)	52.94	44.46	Kenya (KE)	29.67	23.85
ABD (US)	73.50	73.12	Çin (CN)	52.50	41.65	Polonya (PL)	52.74	47.70	Kamboçya (KH)	29.15	21.80
İsveç (SE)	72.51	75.29	Endonezya (ID)	39.60	27.26	Macaristan (HU)	51.39	45.90	Gana (GH)	28.15	22.20
Finlandiya (FI)	72.33	76.11	Filipinler (PH)	38.15	24.25	Suudi Arabistan (SA)	50.44	37.34	Ruanda (RW)	27.83	19.62
Norveç (NO)	71.55	68.53	Hindistan (IN)	36.14	26.86	Sırbistan (RS)	49.59	47.72	Bangladeş (BD)	27.71	19.09
Hollanda (NL)	70.58	75.45	Malezya (MY)	51.29	39.56	Bahreyn (BH)	49.50	37.21	Senegal (SN)	27.53	17.75
İngiltere (GB)	70.23	69.76	Tayland (TH)	44.89	34.91	Bulgaristan (BG)	49.47	40.92	Laos (LA)	26.68	17.70
Avustralya (AU)	69.94	65.01	Türkiye (TR)	45.18	35.92	Uruguay (UY)	48.94	39.31	Nepal (NP)	26.50	18.92
Kanada (CA)	68.93	65.32	Arjantin (AR)	45.42	34.45	Rusya (RU)	47.96	39.06	Benin (BJ)	23.51	15.27
Gelişmiş Ülkeler			**Yeni Sanayileşen Ülkeler**			**Gelişmekte Olan Ülkeler**			**Az Gelişmiş Ülkeler**		
Ülkeler	FREI Skoru (%)	Teknoloji Skoru (%)	Ülkeler	FREI Skoru (%)	Teknoloji Skoru (%)	Ülkeler	FREI Skoru (%)	Teknoloji Skoru (%)	Ülkeler	FREI Skoru (%)	Teknoloji Skoru (%)
Lüksemburg (LU)	67.01	59.86	İran (IR)	36.19	28.90	Ermenistan (AM)	46.50	42.53	Togo (TG)	23.49	14.87
İzlanda (IS)	66.57	57.99	Şili (CL)	49.60	40.20	Romanya (RO)	46.49	38.53	Myanmar (MM)	23.33	17.21
Güney Kore (KR)	66.27	64.90	Ürdün (JO)	40.90	31.09	Ukrayna (UA)	46.18	39.04	Zambia (ZM)	22.94	16.62
İrlanda (IE)	66.17	61.46	Mısır (EG)	39.05	25.80	Gürcistan (GE)	44.81	32.88	Zimbabve (ZW)	22.06	16.92
Almanya (DE)	65.52	65.58	Kolombiya (CO)	41.73	33.95	Kosta Rika (CR)	44.49	34.29	Kamerun (CM)	21.99	16.95
Belçika (BE)	64.08	55.26				Kuveyt (KW)	44.39	33.20	Uganda (UG)	21.91	13.91
Avusturya (AT)	63.59	60.59				Mauritius (MU)	44.12	34.03	Tanzanya (TZ)	21.28	10.43
Estonya (EE)	63.49	65.24				Belarus (BY)	43.73	36.14	Mali (ML)	20.40	14.62

Yeni Zelanda (NZ)	63.05	61.98		Vietnam (VN)	42.97	31.84	Burkina Faso (BF)	19.37	10.91
Fransa (FR)	62.18	54.47		Arnavutluk (AL)	42.65	35.66	Malavi (MW)	19.02	11.26
Japonya (JP)	61.56	58.66		Umman (OM)	42.61	35.51	Gine (GN)	18.31	7.78
Malta (MT)	61.32	51.91		Kuzey Makedonya (MK)	42.11	36.09	Mozambik (MZ)	17.46	14.22
İsrail (IL)	61.26	59.94		Kazakistan (KZ)	42.06	34.33	Madagaskar (MG)	16.82	12.08
İspanya (ES)	59.13	51.12		Ekvator (EC)	41.51	31.54	Etiyopya (ET)	16.54	8.51
Portekiz (PT)	59.10	48.78		Bosna Hersek (BA)	39.67	32.62	Nijer (NE)	11.49	7.52
Kıbrıs (CY)	57.93	50.74		Azerbaycan (AZ)	39.36	29.94			
İtalya (IT)	56.47	47.64		Moğolistan (MN)	39.23	33.27			
Slovenya (SI)	56.22	50.26		Lübnan (LB)	38.83	25.79			
Çek Cumhuriyeti (CZ)	55.75	49.57		Panama (PA)	38.43	31.48			
Litvanya (LT)	55.41	47.49		Peru (PE)	38.37	33.06			
Yunanistan (GR)	55.11	45.17		Tunus (TN)	38.27	29.92			
Letonya (LV)	52.81	46.18		Kırgızistan (KG)	38.23	28.78			
Slovakya (SK)	50.91	42.84		Jamaika (JM)	38.05	25.76			
				Trinidad ve Tobago (TT)	37.93	23.07			
Gelişmiş Ülkeler			**Yeni Sanayileşen Ülkeler**				**Gelişmekte Olan Ülkeler**		
Ülkeler	**FREI Skoru (%)**	**Teknoloji Skoru (%)**	**Ülkeler**	**FREI Skoru (%)**	**Teknoloji Skoru (%)**	**Ülkeler**	**FREI Skoru (%)**	**Teknoloji Skoru (%)**	
						Paraguay (PY)	37.55	28.84	
						Bolivya (BO)	36.27	26.14	
						Botsvana (BW)	36.12	21.96	
						Dominik Cumhuriyeti (DM)	34.90	25.68	
						Sri Lanka (LK)	34.59	22.73	
						Fas (MA)	33.94	27.37	
						Cezayir (DZ)	33.38	19.31	
						El Salvador (SV)	31.89	23.98	
						Guatemala (GT)	28.34	21.54	
						Pakistan (PK)	26.54	16.45	
						Nijerya (NG)	25.20	13.83	
						Angola (AO)	21.38	14.98	

Kaynak: Tablo, Lanvin (2023, ss. 12-15) temel alınarak yazarlar tarafından oluşturulmuştur.

İlişkinin ortaya koyulabilmesi için saçılım grafiği oluşturulmuştur. Saçılım grafiği Şekil 2'de gösterilmektedir.



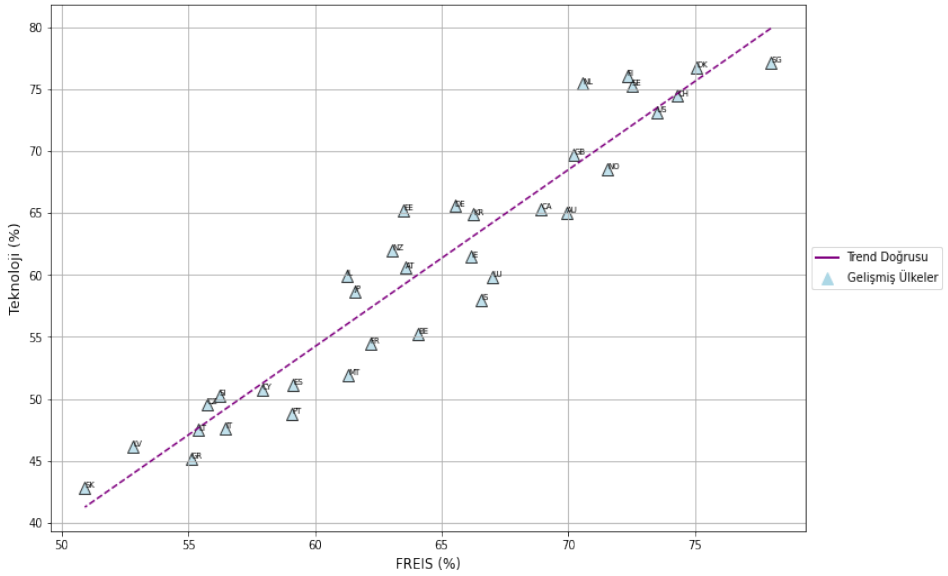
Şekil 2. Ülke kategorilerine göre FREI ile teknoloji skoru arasındaki ilişki

X ekseninde ülkelerin FREI skoru, y ekseninde ise mevcut teknoloji seviyeleri gösterilmektedir. Yüksek bir FREI skoru bir ülkenin teknolojiye adaptasyonunun ve dijital dönüşüme hazırlığının iyi olduğu anlamına gelmektedir. y ekseni üzerinde yukarı doğru çıkıldıkça ülkelerin teknolojik altyapı ve kapasitesi artmaktadır. Trend doğrusu, FREI skoru ile teknoloji skoru arasındaki genel eğilimi göstermektedir. İki ölçü arasında pozitif korelasyon bulunmakta ve FREI skoru arttıkça teknoloji düzeyi de artma eğiliminde olmaktadır. Ülke grupları bazında bakıldığında ise ülkelerin genel olarak içine dahil oldukları kategorideki diğer ülkelerle aynı eğilimi gösterdikleri ve şekilden de görülebileceği üzere gruplaşmanın olduğu görülmektedir. Gelişmiş ülkeler hem teknolojik gelişmişlikte hem de geleceğe hazırlıkta en öndedirler. Sanayi 4.0'a geçişe en hazır olan ülkeler bu grupta yer almaktadır. Singapur (SG) ve Danimarka (DK) örnek olarak verilebilmektedir. Yeni sanayileşen ülkeler orta seviyede teknolojiye sahiptirler. Geleceğe hazırlık açısından gelişmiş ülkeler kadar iyi olmasalar da bu grupta bulunan bazı ülkeler, Sanayi 4.0'a adapte olma yolunda önemli adımlar atmaktadırlar. Gelişmekte olan ve az gelişmiş ülkeler ise genellikle FREI ve teknoloji açısından daha düşük skorlara sahiptirler. Sanayi 4.0'a uyum sağlayabilmeleri için daha fazla gelişmeye ihtiyaç duymaktadırlar.

Grafikte bazı ülkelerin FREI değerlerinin yüksek olmasına rağmen teknoloji düzeyleri beklenen düzeyin altındadır. Bu sapmalar her ülke kategorisinde farklı nedenlerden kaynaklanmaktadır. Bu ülkelere Nijerya (NG), Meksika (MX), Türkiye (TR), Lüksemburg (LU), Arjantin (AR), Endonezya (IO) ve Güney Afrika (ZA) örnek olarak verilebilmektedir. Sapmanın nedenlerinin her ülkeye göre

farklılık göstermesine karşın genel nedenleri teknolojik altyapı eksiklikleri, eğitim ve inovasyon yetersizlikleri, sosyal ve politik faktörler, kültürel ve yapısal engeller olarak ifade edilebilmektedir.

Teknoloji skoru ve FREI skoru arasındaki ilişkinin ülke grupları özelinde incelenmesi konunun daha iyi anlaşılmasına imkân sağlayabilmektedir. Şekil 3'de gelişmiş ülkelerin FREI skorları ve teknoloji skorları arasındaki ilişki saçılım grafiğiyle gösterilmektedir.

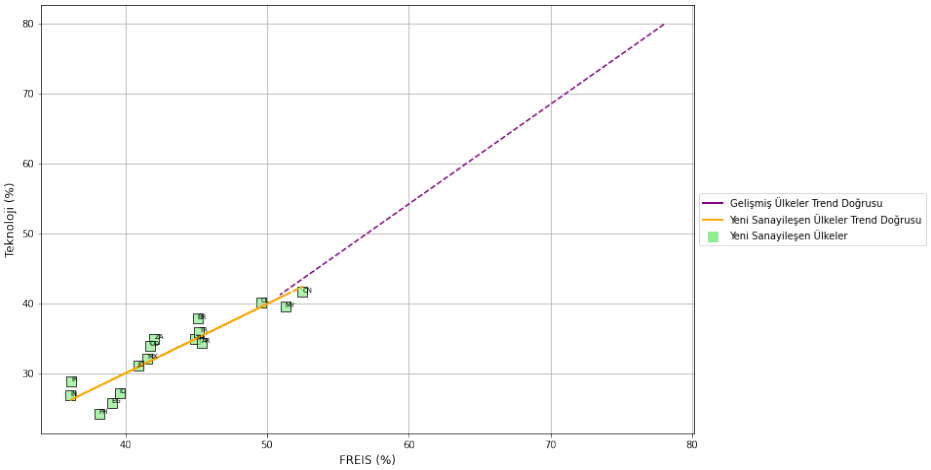


Şekil 3. Gelişmiş ülkelerin FREI ile teknoloji skoru arasındaki ilişki

Kesikli mor çizgi FREI ve teknoloji skoru arasındaki korelasyonu vurgulamaktadır. Gelişmiş ülkelerin genel olarak trend doğrusuna yakın bir şekilde sıralandıkları görülmektedir. Ancak trend doğrusundan bazı sapmalar söz konusudur. Bu sapmalar, ülkenin teknolojik altyapısı ile geleceğe hazırlık kabiliyeti arasındaki farkları ya da belirli avantaj ve dezavantajları işaret etmektedir. Grafik incelendiğinde 70 ve üzeri FREI puanına sahip ülkelerin genellikle yüksek teknoloji skoruna sahip oldukları görülmektedir. Bu ilişki, gelişmiş ülkelerin Sanayi 4.0'a ve yeni teknolojilere hazır oldukları anlamına gelmektedir.

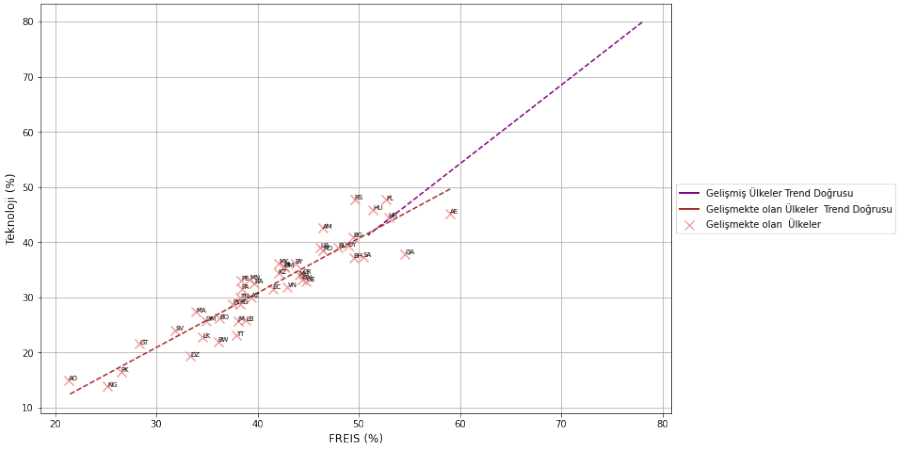
Gelişmiş ülkelerin trend doğrusu diğer ülkeler için ulaşılması amaçlanan bir hedef olarak görülebilmektedir. Bundan ötürü diğer kategorilere ait grafiklerde o kategorilerin trend doğrusuna ek olarak gelişmiş ülkelerin trend doğrusu da eklenmiştir. Şekil 4'te yeni sanayileşen ülkelerin konumları ve trend doğruları gösterilmektedir. Trend doğrularının eğimlerine bakıldığında gelişmiş ülkelere ait trend doğrusunun eğiminin daha dik, yeni sanayileşen ülkelere ait söz konusu doğrunun eğiminin ise daha yatay ve düşük olduğu görülmektedir. Gelişmiş ülkelerdeki doğruya ait eğimin dik olması FREI skorundaki artışın teknoloji üzerinde daha büyük bir artışa yol açacağını ifade etmektedir. Yeni sanayileşen ülkelerde ise bu durumun tam tersi geçerli olmakta ve teknoloji skorundaki artış daha

kısıtlı kalmaktadır. Bunun nedeni yeni sanayileşen ülkelerin teknolojiyi gelişmiş ülkelere nazaran daha yavaş bir şekilde benimsemeleridir.



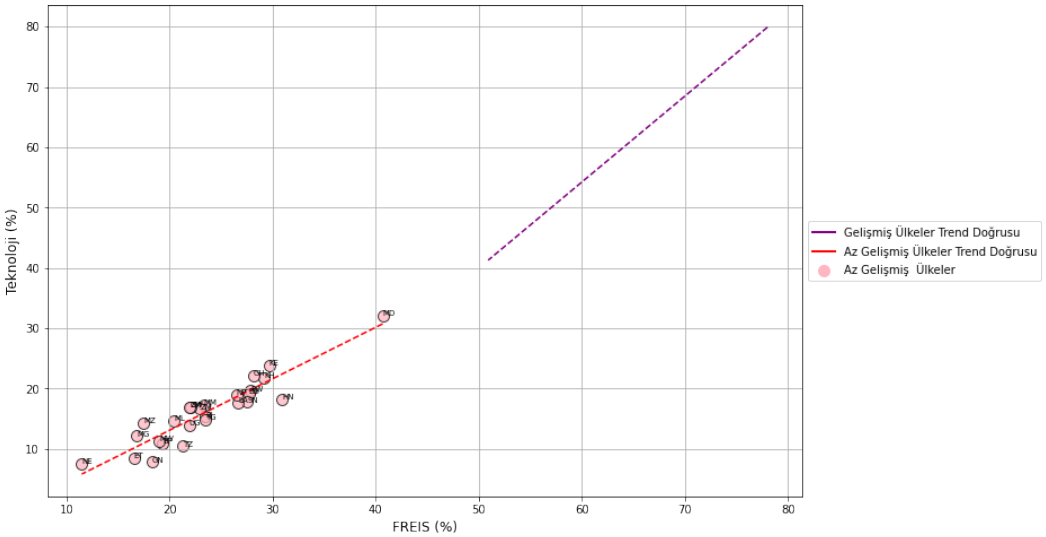
Şekil 4. Yeni sanayileşen ülkelerin FREI ile teknoloji skoru arasındaki ilişki

Şekil 5'te gelişmekte olan ülkelerin konumları ve ülke kategorilerine ait trend doğrularını gösterilmektedir. Grafikten de anlaşılacağı üzere, birçok gelişmekte olan ülkenin FREI skorları %30-%50, teknoloji skorları ise %20-%40 aralığında yoğunlaşmaktadır. Bu ülkelerde trend doğrusunun gelişmiş ülkelere nazaran daha dik olması, FREI skorunun yükselmesinin, teknoloji skoru üzerindeki etkisinin daha yavaş olduğuna işaret etmektedir. Gelişmekte olan ülkeler FREI skoru açısından daha geniş bir aralığa yayılmış durumdadır. Bazı ülkeler %20-%30 aralığındayken bazı ülkelerin %50 seviyelerine yaklaştığı görülmektedir. Ülkeler genel olarak düşük FREI skoru ve düşük teknoloji kullanımıyla karakterize edilmektedir. Şekil 4 ile Şekil 5 karşılaştırıldığında yeni sanayileşen ülkelerle gelişmekte olan ülkeler arasında belirgin bir farkın olduğu görülmektedir.



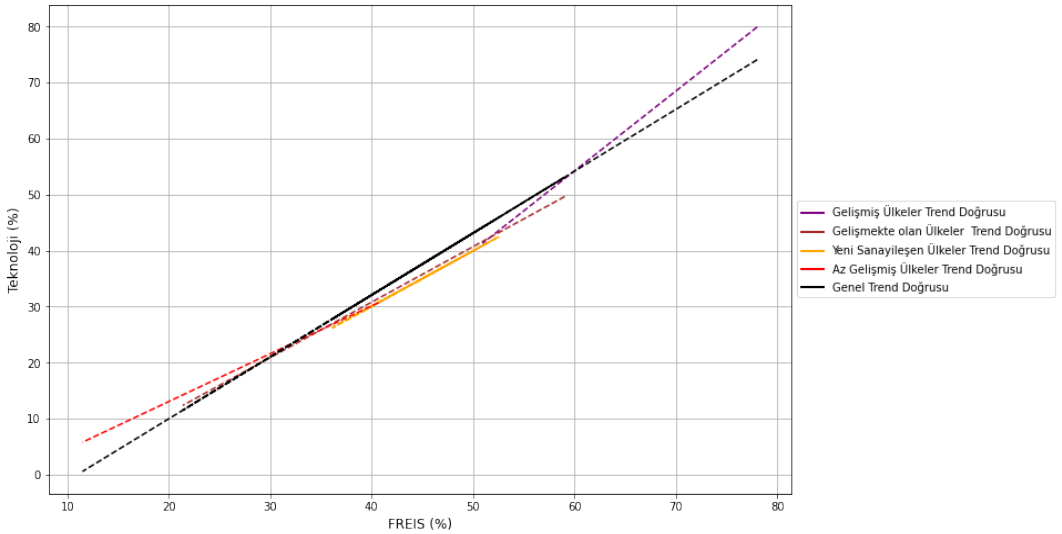
Şekil 5. Gelişmekte olan ülkelerin FREI ile teknoloji skoru arasındaki ilişki

Şekil 6'te az gelişmiş ülkelerin konumu ve trend doğruları gösterilmektedir. Az gelişmiş ülkeler grafiğin sol alt kısmında düşük FREI skoru ve düşük teknoloji düzeyinde kümelenmiş durumdadır. FREI skoru arttıkça teknoloji skorunun hafif bir artış gösterdiği ancak bunun sınırlı olduğu görülmektedir. Bu ülkelerde teknolojiyi benimseme ve geleceğe hazırlık kapasiteleri oldukça düşüktür. Dijitalleşme ve inovasyon süreçlerinde geri kalmış durumdadırlar.



Şekil 6. Az Gelişmiş ülkelerin FREI ile teknoloji skoru arasındaki ilişki

Son olarak Şekil 7'de ülke kategorilerinin trend doğruları gösterilmektedir. Bütün trend doğrularında teknoloji ve FREI skoru arasında doğrusal bir ilişkinin olduğu görülmektedir. Skorlar arasındaki ilişkinin derecesi ülke kategorilerinin trend doğrularına bağlı olarak değişmektedir. Gelişmiş ülkelerin eğiminin daha dik olması FREI skorunun yükselmesiyle birlikte teknoloji kullanımının hızlı artış göstereceğini ortaya koymaktadır. Yeni sanayileşen ülkelerin trend doğrusu gelişmekte olan ülkelerden daha yüksek eğime sahiptir. Bu da bu ülkelerin, sanayi altyapılarını geliştirdikçe teknoloji entegrasyonunda ilerleme kaydettiklerini göstermektedir. Bu ülkeler gelişmiş ülkelere kıyasla teknoloji skoru açısından daha düşük seviyelerde olsalar da FREI skoru ile paralel şekilde hızlı bir artış trendi içindedirler. Gelişmekte olan ülkelerin trend doğrusu az gelişmiş ülkelerden daha yüksek ancak yeni sanayileşen ülkelerden daha düşük bir eğime sahiptir. Bu durum gelişmekte olan ülkelerde FREI skorunun artışı ile teknoloji entegrasyonunun daha sınırlı olduğunu göstermektedir. Daha önce de aktarıldığı gibi az gelişmiş ülkeler grafiğin sol alt kısmında düşük FREI skoru ve teknoloji skoruyla temsil edilmektedir. FREI skorunun artmasıyla birlikte teknolojinin gelişiminde bir artış olsa da bu artış sınırlı kalmaktadır.



iii. **Şekil 7.** Ülke kategorilerinin trend doğruları

4.2. Sanayi 4.0'a Yönelik Uygulanan Politikalar: Ülke Örnekleri

Bu bölümde Türkiye, İngiltere, Güney Kore, ABD, Çin, Fransa, Japonya, Singapur, Tayvan, Malezya, Endonezya, Rusya ve Brezilya tarafından Sanayi 4.0'a yönelik uygulanan politikalar değerlendirilecektir. Ülkeler seçilirken Sanayi 4.0 sürecini farklı kalkınma ve sanayileşme evrelerinde deneyimleyen örneklerin olmasına dikkat edilmiştir. Bu şekilde Sanayi 4.0'a yönelik yaklaşımların yalnızca gelişmiş ülkelerle sınırlı olmadığı, yeni sanayileşen ve gelişmekte olan ülkelerde de farklı politika çerçeveleri ve öncelikler doğrultusunda şekillendiği ortaya koyulabilecektir. Ülke seçimi üç temel ölçüt çerçevesinde gerçekleştirilmiştir:

i. **Sanayi 4.0 ve dijitalleşme politikalarının varlığı ve kurumsallaşma düzeyi:** Seçilen ülkelerin tamamı, Sanayi 4.0, ileri imalat, dijital sanayi veya benzeri başlıklar altında ulusal düzeyde politika belgeleri, strateji dokümanları veya yol haritaları geliştirmiştir. Bu durum, çalışmanın nicel bölümünde gözlenen eğilimlerin, politika ve strateji düzeyindeki karşılıklarının nitel olarak analiz edilebilmesine imkân tanımaktadır.

ii. **Gelişmişlik düzeyleri ve üretim yapıları bakımından çeşitlilik:** Çalışma kapsamında, gelişmiş, yeni sanayileşen ve gelişmekte olan ülkeler birlikte ele alınmıştır. Bu heterojen yapı, Sanayi 4.0'ın yüksek katma değerli üretim, verimlilik artışı, küresel değer zincirlerine entegrasyon ve yapısal dönüşüm gibi farklı hedefler doğrultusunda nasıl konumlandırıldığını karşılaştırmalı olarak incelemeye olanak sağlamaktadır.

iii. **Karşılaştırmalı politika analizi için farklılaşan kurumsal çerçevelerin farklılığı:** Seçilen ülkeler, Sanayi 4.0 politikalarının devlet yönlendirmesi, piyasa temelli yaklaşımlar ve hibrit modeller gibi farklı kurumsal çerçeveler altında uygulandığı örnekleri temsil etmektedir. Bu sayede, Sanayi 4.0'a atfedilen rolün ülkeler arasında nasıl farklılaştığı betimsel olarak ortaya konulabilmektedir.

Bu bağlamda ülke seçimi, tekil performans değerlendirmesinden ziyade, Sanayi 4.0'ın farklı kalkınma düzeylerinde nasıl uygulandığını ve oluşturulan politikaları analiz etmeyi amaçlayan karşılaştırmalı bir yaklaşıma dayanmaktadır.

Ele alınacak ülkelerin Sanayi 4.0'la ilişkili olarak uyguladıkları politikaların özet tablosu üç başlık altında Tablo 4'te gösterilmektedir. Türkiye'de 2016 yılında yenilenen Türkiye Sanayi Stratejisi belgesiyle dijital dönüşüm sürecine yönelik politikalar geliştirilmiş, dijitalleşme, akıllı üretim sistemleri ve robotik gibi Sanayi 4.0 bileşenlerine yatırım yapılmıştır. İngiltere hükümeti 2017 yılında tarafından Sanayi Stratejisi raporu yayımlanmıştır. Rapor ülkenin dijitalleşme ve otomasyon süreçlerine uyum sağlamasını hedefleyen önemli belge olarak öne çıkmaktadır (HM Government, 2017). Güney Kore 2014 yılında İmalatta Yenilikçilik 3.0 adıyla bir strateji başlatmıştır (Kim, 2015; Liao vd., 2017; Kuo vd., 2019). Bu strateji, dijital teknolojilerin üretim süreçlerine entegrasyonunu hedeflemektedir (Kim, 2015). ABD'de Sanayi 4.0 genellikle İleri Üretim olarak anılmakta ve bu bağlamda birçok federal inisiyatif hayata geçirilmektedir (PCAST, 2011). Çin, Sanayi 4.0'a yönelik çalışmalarını büyük ölçüde 2015 yılında başlattığı Made in China 2025 stratejisi ve İnternet + planı çerçevesinde şekillendirmektedir (Li, 2018; Liao vd., 2017). Fransa, 2013 yılında Yeni Endüstriyel Fransa programını başlatmıştır. Programın temel amacı, Fransa'yı küresel rekabette ön plana çıkarmaktır (Kornyshova & Barrios, 2022). 2015 yılında Japonya tarafından 5. Bilim ve Teknoloji Temel Planı kabul edilmiştir (Liao vd., 2017). Ardından ise Gelecek Vizyonu 2030 Planı oluşturulmuştur (Yang vd., 2019). 2017 yılında ise Gelecek Yatırım Stratejisi yayımlanmıştır (Riminucci, 2018). 2015 yılında Singapur'da bulunan Bilim, Teknoloji ve Araştırma Ajansı (A*STAR), Ticaret ve Sanayi Bakanlığı (MTI), Ekonomik Kalkınma Kurulu (EDB) ve SPRING Singapore ile yaptığı iş birliği sonucunda Araştırma, İnovasyon ve Girişim Planı kapsamında, Geleceğin Üretimi (FoM) insiyatifini başlatmıştır (Surianarayanan & Menkhoff, 2020). Tayvan, 2015 yılında Üretkenlik 4.0 strateji planını tanıtmıştır. Planın temel amacı Tayvan'ın mevcut teknoloji avantajını pekiştirerek küresel üretim tedarik zincirindeki konumunu sağlamlaştırmaktır (Chen, 2019). Malezya hükümeti Sanayi 4.0'a adaptasyon için Malezya Ulusal Endüstri 4.0 Politikasını (Industry 4RWD) başlatmıştır (Ling vd., 2020). Endonezya 2018 yılında Endonezya 4.0'ı İnşa Etmek stratejisini oluşturmuştur (Hardyanthi vd., 2019; Rezqianita & Ardi, 2020). Rusya Federasyonu 2018 yılında İletişim ve Kitle İletişim Bakanlığı'nın himayesinde Dijital Gelişim, İletişim ve Kitle İletişim Bakanlığını kurarak Dijital Ekonomi adlı ulusal bir programı başlatmıştır (Drogovoz vd., 2022). Brezilya, Sanayi 4.0'a yönelik ilk somut strateji ve politikaları 2017 yılında başlatmıştır. 2018 yılında Ulusal Dijital Dönüşüm Sistemini kurmuş ve bu kapsamda 2018 yılında E-Dijital adı verilen dijital dönüşüm stratejisinin uygulanması için yönetişim yapısı oluşturmuştur (Oliveira vd., 2022).

Tablo 4. Sanayi 4.0'ın Ulusal (Makro) Ölçekte Yansımaları

Ülkeler	Hükümet Strateji ve Politika Belgeleri	Hükümet Tarafından Sanayi 4.0'a Yönelik Uygulanan Teşvik, Hibe ve Programlar	Sanayi 4.0'a Yönelik Politika Uygulayan Özel Kurum, Kuruluş ve Şirketler
Türkiye	25. Öncelikli Dönüşüm Programı	Hükümet tarafından çeşitli hibe ve teşvikler verilmektedir.	Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği
	64. Hükümet Programı ve Eylem Planı		
	Türkiye Sanayi Stratejisi		
	2023 Sanayi ve Teknoloji Stratejisi		Türkiye Sanayi ve İş Adamları Derneği
	Onuncu, Onbirinci ve Onikinci Kalkınma Planları		
İngiltere	Sanayi Stratejisi Raporu	Made Smarter Girişimi	Digital Catapult İnovasyon Merkezi
			High Value Manufacturing Catapult İnovasyon Merkezi
Güney Kore	İmalatta Yenilikçilik 3.0	Amiral Gemisi Proje Destek Programı	-
		Hükümet, özel sektör ve üniversiteler arasında iş birliği modelleri	
Amerika Birleşik Devletleri	İleri Üretim Stratejisi bağlamında birçok federal insiyatif	Advanced Manufacturing Partnership (hükümet, akademi ve sanayi iş birliği programı)	America Makes
			Digital Manufacturing and Design Innovation Institute
Çin	Made in China 2025 Stratejisi	Yerel yönetimler ve üniversitelerin iş birliğiyle dijital becerilerin geliştirilmesine yönelik eğitim programları	Alibaba
	İnternet + Planı		Huawei
Fransa	Yeni Endüstriyel Fransa Programı	-	Fransa Endüstri 4.0 Platformu (Akademik kuruluşlarla kurulan ortaklığa dayanmaktadır)
	Geleceğin Endüstrisi Girişimi		
	Geleceğin Endüstrisi İttifakı		
Japonya	Gelecek Vizyonu 2030 Planı	-	Sanayi, hükümet ve üniversiteler arasında iş birliği imkanları
	5. Bilim ve Teknoloji Temel Planı		
Singapur	Geleceğin Üretimi İnisiyatifi	Akıllı Sanayi Hazırlık Endeksi (SIRI)	Singapur İmalat Teknolojisi Enstitüsü
		Ulusal Robotik Programı	
Tayvan	Üretkenlik 4.0 Planı	-	GIANT
Malezya	Malezya Ulusal Endüstri 4.0 Politikası	Teknik ve Mesleki Eğitim Programı	Malezya Kalkınma Bankası
	Ekonomik Dönüşüm Programı	Otomasyon Sermaye İzni	
	2050 Ulusal Dönüşüm Yol Haritası	Dijital Dönüşüm Hızlandırma Programı	
	Ulusal Nesnelerin İnterneti Strateji Yol Haritası	Endüstri Dijitalleşme Dönüşüm Fonu	
		Yurtiçi Yatırım Stratejik Fonu	
Endonezya	Endonezya 4.0'ı İnşa Etmek Stratejisi	Süper İndirim Vergisi (Super Deduction Tax)	-
		Endonezya Sanayi 4.0 Hazırlık Endeksi	

Rusya Federasyonu	Dijital Ekonomi Programı	-	Dijital Ekonomi Kurumu
Brezilya	Ulusal Dijital Dönüşüm Sistemi	-	Dijital Dönüşüm Gözlemevi
	Nesnelerin İnterneti Planı		Rekabetçi Brezilya Hareketi
	2016-2022 Dönemi Ulusal Bilim, Teknoloji ve Yenilik Stratejisi		
	ProFuturo		Telekomünikasyon Araştırma ve Geliştirme Merkezi
	Endüstri 4.0'a Doğru Programı		

Kaynak: Tablo yazarlar tarafından oluşturulmuştur.

4.2.1. Türkiye

Türkiye, Sanayi 4.0'a yönelik çalışmalarını son yıllarda hızlandırmıştır. Bu alanda çeşitli stratejik adımlar atmaktadır. 2016 yılında Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından yapılan açıklamada, 25 Öncelikli Dönüşüm Programı, 64. Hükümet Programı ve Eylem Planıyla ülkeye nitelik sıçraması yaşatmayı amaçladıklarını belirtmiştir. (TOBB, 2016). 2016 yılında "Türkiye Sanayi Stratejisi" belgesinin yenilenmesi ile birlikte, dijital dönüşüm sürecine yönelik politikalar geliştirilmeye başlanmıştır. Bu süreçte, küresel rekabet gücünü artırmak ve sanayi altyapısını modernize etmek amacıyla dijitalleşme, akıllı üretim sistemleri, robotik ve otomasyon gibi Sanayi 4.0 bileşenlerine yatırım yapılmıştır (TÜSİAD, 2017). Türkiye Sanayi Stratejisi belgesinin uzun dönemli vizyonu "orta ve yüksek teknolojili ürünlerde, Afro-Avrasya'nın tasarım ve üretim üssü olmak şeklinde belirlenmiş ve biyoteknoloji, girişimcilik, kamu-üniversite-sanayi iş birliği stratejilerinin de aralarında bulunduğu 13 farklı strateji belgesi ve eylem planı uygulamaya konulmuştur (TOBB, 2016). Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği (TOBB) ve Türkiye Sanayi ve İş Adamları Derneği (TÜSİAD) gibi kurumlar, Sanayi 4.0'ın potansiyelini artırmak amacıyla çeşitli farkındalık ve eğitim programları düzenlemiştir. Bu girişimler hem büyük ölçekli işletmelerin hem de KOBİ'lerin dijital dönüşüm sürecine entegrasyonunu teşvik etmeyi amaçlamıştır (TÜBİTAK, 2018).

Sanayi 4.0'a yönelik çalışmaların bir diğer önemli bileşeni, devlet tarafından desteklenen teşvik ve hibe programlarıdır. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı ile TÜBİTAK, bu bağlamda çeşitli ARGE projelerine destek sağlamakta ve özellikle dijital fabrikalar, ileri üretim teknolojileri ve siber-fiziksel sistemler üzerine odaklanan projeleri finanse etmektedir (Kılıç & Kılınç, 2018). Ayrıca, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından başlatılan Milli Teknoloji Hamlesi programı, yerli ve milli üretim kapasitesini artırmayı ve Türkiye'nin dijitalleşme sürecine hız kazandırmayı hedeflemektedir (Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2020). Bu program kapsamında, Türkiye'nin stratejik sektörlerdeki teknolojik bağımsızlığını artırmak ve küresel rekabette avantaj sağlamak amacıyla çeşitli girişimler başlatılmıştır.

2019 yılında ortaya koyulan 2023 Sanayi ve Teknoloji Stratejisinde bu yeni dönemin paradigma değişimlerinin sürdürülebilir ekonomik kalkınma ve toplumsal refah artışı için bir fırsat olarak

değerlendirilmesi gerektiği ifade edilmiştir. Bu belgede son 17 yılda sergilenen başarılı büyümeyi ivmelendirmek, sanayi ve teknoloji devriminin öncü ülkeleri arasında yer almak için bu alanlarda üstün ve özgün bir atılımın gerçekleştirilmesi gerektiği belirtilmiştir. Bunun sanayi ve teknoloji alanlarını bütüncül bir yaklaşımla ele alan, kapsamlı bir gelişimi hedefleyen, ülke dinamiklerine göre özgün olarak tasarlanmış, geniş katılımı sağlayan ve toplumu harekete geçirebilen bir programın yürütülebilmesiyle mümkün olabileceği vurgulanmıştır (Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2019). Onuncu, Onbirinci ve Onikinci Beş Yıllık Kalkınma Planlarında da dijitalleşme, BİT ve Sanayi 4.0 konularına özellikle değinildiği ve politika önerilerinin ortaya koyulduğu görülmektedir (Kalkınma Bakanlığı, 2013; Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2019; Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2023).

4.2.2. İngiltere

İngiltere, Sanayi 4.0'ın sunduğu fırsatları değerlendirmek ve küresel rekabetteki yerini korumak amacıyla çeşitli stratejik girişimler ve politikalar geliştirmiştir. 2017 yılında İngiliz hükümeti tarafından yayınlanan Sanayi Stratejisi raporu, ülkenin dijitalleşme ve otomasyon süreçlerine uyum sağlamasını hedefleyen önemli bir belge olarak öne çıkmaktadır (HM Government, 2017). Bu strateji, Sanayi 4.0'ın gerektirdiği altyapı, beceri geliştirme, araştırma ve inovasyon yatırımlarını teşvik etmekte ve özellikle ileri üretim teknolojileri ile dijitalleşme konularına odaklanmaktadır. İngiltere, ayrıca Made Smarter girişimi ile sanayi kuruluşlarının dijital teknolojilere geçişini desteklemekte ve bu geçişin daha verimli, sürdürülebilir ve esnek üretim süreçlerine katkıda bulunmasını sağlamaktadır (Made Smarter Review, 2017). Bu girişimlerin yanı sıra, İngiltere'de Sanayi 4.0'ın iş gücü üzerindeki etkilerini yönetmek amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Özellikle, dijitalleşmenin iş gücü piyasasında yaratacağı dönüşümler ve bu dönüşümlere adaptasyon sürecinde ihtiyaç duyulan yeni beceriler üzerine odaklanılmaktadır. Digital Catapult ve High Value Manufacturing Catapult gibi inovasyon merkezleri, sanayi kuruluşlarına dijitalleşme sürecinde rehberlik etmekte ve iş gücünün bu dönüşüme uyum sağlaması için gerekli eğitimleri sunmaktadır (Catapult Network, 2020). Bu çalışmalar, İngiltere'nin Sanayi 4.0'a yönelik stratejik yaklaşımlarını hem ekonomik büyüme hem de sosyal uyum açısından desteklemekte ve ülkenin dijitalleşme sürecinde liderlik rolünü sürdürmesine katkıda bulunmaktadır.

Yapılan bir çalışmada, İngiltere'deki firmaların Sanayi 4.0 devriminin gelecekte doğuracağı rekabet ortamı için yeterli düzeyde pozisyon almadıkları, bu nedenle sürekli ve istikrarlı büyüme arzusunda olan firmaların hükümet tarafından radikal bir şekilde desteklenmesi gerektiği belirtilmiştir (Bağcı, 2018, s. 133). Ayrıca adaptasyon sürecinin hemen olmasının mümkün olmadığı ve bu nedenle çalışmalara hemen başlanmasının önemli olduğu ifade edilerek, iş gücü niteliği ve yeteneklerinin rekabet gücünü yakalamada kritik faktör olduğu vurgulanmıştır (Bağcı, 2018).

4.2.3. Güney Kore

Güney Kore, Sanayi 4.0'ın sunduğu dijital dönüşüm fırsatlarını değerlendirerek küresel rekabetteki konumunu güçlendirmek amacıyla çeşitli stratejik planlar ve politikalar geliştirmiştir. 2014

yılında Güney Kore hükümeti, İmalatta Yenilikçilik 3.0 adıyla bir strateji başlatmıştır (Kim, 2015; Liao vd., 2017; Kuo vd., 2019). Bu strateji, dijital teknolojilerin üretim süreçlerine entegrasyonunu hedeflemektedir. (Kim, 2015). Ayrıca ileri üretim teknolojilerine odaklanarak, akıllı fabrikaların kurulmasını ve üretim süreçlerinin dijitalleşmesini desteklemektedir. Ayrıca hükümet, Sanayi 4.0'a yönelik araştırma ve geliştirme faaliyetlerini teşvik etmek amacıyla önemli finansal yatırımlar yapmıştır. Bu yatırımlar, özellikle nesnelerin interneti, büyük veri, yapay zekâ ve bulut bilişim gibi alanlarda yoğunlaşmıştır (Park & Park, 2016).

Güney Kore'nin Sanayi 4.0'a yönelik çabaları sadece üretim süreçlerini dijitalleştirmekle sınırlı kalmamıştır. Aynı zamanda iş gücünün bu dijital dönüşüme uyum sağlaması için çeşitli eğitim programları ve destek mekanizmaları geliştirilmiştir. Özellikle, iş gücünün dijital becerilerinin geliştirilmesi amacıyla hükümet, üniversiteler ve özel sektör arasında iş birliği modelleri oluşturulmuştur (Kim & Lee, 2018). Bu kapsamda, Güney Kore'de akıllı fabrikalar için gerekli insan kaynağını yetiştirmek üzere çeşitli eğitim programları ve dijital okuryazarlık projeleri hayata geçirilmiştir. Güney Kore'nin Sanayi 4.0'a yönelik stratejik yaklaşımı, teknolojik yeniliklerin hızlı bir şekilde benimsenmesini sağlarken, aynı zamanda bu dönüşümün sosyal ve ekonomik etkilerini yönetmeyi hedeflemiştir.

Sanayi 4.0'a adapte sürecinde yeşil teknoloji, ileri teknolojiye yakınsama ve katma değerli hizmetlerle ilgili olarak 17 sektöre odaklanan Güney Kore'nin, ulaşmak istediği hedefler şu şekilde sıralanabilmektedir (Bağcı, 2018; Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2019):

1. Akıllı teknolojiler ve yenilikçilik ile ana endüstrileri güçlendirmek ve yeni endüstriler oluşturmak,
2. Kronik sosyal problemleri çözerek insanların yaşam kalitesini artırmak,
3. İş gücünü istihdam piyasasındaki değişikliklere hazır hale getirmek,
4. Güvenli, birinci sınıf ve akıllı veriyi, altyapıyı ve teknolojisini herkesin erişimine sunmak.

Yeşil teknoloji ile akıllı ızgaralar, bulut bilişim, ileri materyaller, alternatif enerji kaynakları gibi mekatronik ve temel bilimler alanlarında endüstri ve bilgi tabanlı teknolojilere; ileri teknolojiye yakınsama başlığı altında otomobiller, gemi yapımı, yarı iletkenler, çelik, makine, tekstil / malzeme üretiminde yüksek teknoloji ürünler ve yöntemlerine odaklanırken; katma değerli hizmetler başlığı altında ise, bölgesel kümelenme ağları, bölgesel kurumlar ve kamu ve özel sektör finansman hizmetlerinin oluşturulması üzerinde durulmaktadır (Bağcı, 2018, s. 135).

Hükümet teknolojik gelişimde zorluk yaşan şirketlere destek sağlamaktadır. Örneğin KOBİ'leri desteklemeyi amaçlayan Amiral Gemisi Proje Destek Programını (Flagship Project Support Program, FPSP) başlatmıştır. Yang vd. (2019) aktardığı üzere FPSP, yüksek teknolojili endüstrilerde büyük şirketlerin bulunması durumunda hükümetin teknolojiye yatkın KOBİ'lere nasıl yardımcı olabileceğine dair önemli bir örnektir. KOBİ'ler büyük şirketlerin kurduğu iş ekosistemlerine girmekte zorlanmakta ve kendi başlarına yeni bir iş modeli oluşturma riskini göze almamaktadırlar. FSPS, şirketlerin yeni iş modelleri oluşturmasına yardımcı olmaktadır (Yang vd., 2019).

4.2.4. Amerika Birleşik Devletleri (ABD)

ABD, Sanayi 4.0'la ilişkili olarak küresel rekabette lider konumunu korumak amacıyla çeşitli stratejik girişimler ve politikalar geliştirmiştir. ABD'de Sanayi 4.0, genellikle İleri Üretim olarak anılmakta ve bu bağlamda birçok federal inisiyatif hayata geçirilmektedir. Özellikle 2011 yılında başlatılan Advanced Manufacturing Partnership (AMP), hükümet, sanayi ve akademi arasında iş birliğini teşvik ederek, üretim sektörünün dijital dönüşümünü hızlandırmayı amaçlamaktadır (PCAST, 2011). Bu girişim, büyük veri, yapay zekâ, robotik ve siber-fiziksel sistemler gibi ileri teknolojilerin üretim süreçlerine entegrasyonunu teşvik etmekte ve üretim sektörünün yenilikçi kapasitesini artırmayı hedeflemektedir (NSTC, 2018). Ayrıca, Manufacturing USA adı altında oluşturulan ulusal inovasyon enstitüleri ağı, Sanayi 4.0 teknolojilerinin araştırılması, geliştirilmesi ve uygulanmasına yönelik önemli bir rol oynamaktadır (Manufacturing USA, 2019).

ABD'nin Sanayi 4.0'a yönelik stratejik yaklaşımları, sadece teknolojik inovasyona değil, aynı zamanda iş gücünün gelişimine odaklanmaktadır. Dijital üretim süreçlerinin gerektirdiği yeni beceriler ve iş gücü dönüşümüne yanıt olarak, çeşitli eğitim ve yeniden eğitim programları başlatılmıştır. Özellikle, America Makes ve Digital Manufacturing and Design Innovation Institute (DMDII) gibi merkezler, dijital üretim için gerekli insan kaynağını yetiştirmek amacıyla eğitim programları ve sertifika programları sunmaktadır (America Makes, t.y.). Bu programlar, iş gücünün Sanayi 4.0'a uyum sağlamasını kolaylaştırmakta ve ABD'nin küresel rekabetteki lider konumunu sürdürmesine katkıda bulunmaktadır. ABD'nin Sanayi 4.0'a yönelik bütüncül yaklaşımı, teknoloji geliştirme, uygulama ve insan kaynağı yetiştirme ekseninde dengeli bir stratejidir.

İleri üretim tekniklerinde küresel liderliğini güvence altına almak için kamu-özel sektör-üniversite-STK iş birliği ile 14 ileri üretim teknolojisi enstitüsü kuran ABD, üretimi yeniden ülkesine çekerek istihdamı ve rekabet gücünü artırmayı amaçlamaktadır (Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2019). Ayrıca uluslararası standartlarda değer zincirlerinin geliştirilmesini içeren çevreye duyarlı ve üretimde sürdürülebilirlik üzerine çalışmalar yapan ABD'nin yaptığı hazırlıklar şu şekilde sıralanabilmektedir (Bağcı, 2018, s. 136):

1. Pazar odaklı stratejik ürün planlaması yapılmaktadır.
2. Simülasyon ve modelleme, robotik ve insan-makine ara yüzü dahil olmak üzere dijital üretim ve gelişmiş otomasyon üzerinde çalışılmaktadır.
3. Özel üretim için esnek üretim ağları ve sistemleri kurulmaktadır.
4. Küresel üretim sistemlerinde üretim, know-how ve ürünlerinin korunmasına yönelik yasal düzenlemeler için çalışılmaktadır.
5. Gömülü sistemlere, kesintisiz dijital ağlara, üretimin merkezi olmayan kontrolüne, ürünlerin sanal planlamasına ve üretim ve siber fiziksel sistemlere odaklanılmaktadır.

6. Sürdürülebilir üretim ve yeşil teknolojilerin üretimi için gerekli altyapının oluşturulması amaçlanmaktadır.
7. Tasarım, malzeme süreci ve üretim sistemleri için simülasyon ve modelleme araçları geliştirilmektedir.
8. Üretim süreçlerinde nanoteknolojinin uygulanması için çalışmalar yapılmaktadır.
9. Biyo-imalat alanında çalışmalar yürütülmektedir
10. Akıllı üretim sistemleri ve stratejik standart geliştirme dahil olmak üzere gelişmiş robot ve siber fiziksel üretim sistemleri geliştirilmektedir.
11. Farklı niteliklere sahip olan yeni nesil malzemeler üretilmektedir.

4.2.5. Çin

Mobilite, sağlık, uzay, robotik, yapay zekâ ve yarı iletken teknolojilerine odaklandığını açıklayan Çin, 2025 yılına kadar dünyanın üretim üssünden inovasyon ve yüksek teknoloji üssüne dönüşmeyi hedeflemektedir (Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2019). Çin, Sanayi 4.0'a yönelik çalışmalarını büyük ölçüde Made in China 2025 stratejisi ve İnternet + planı çerçevesinde şekillendirmektedir (Li, 2018; Liao vd., 2017). 2015 yılında başlatılan bu strateji, Çin'in küresel üretim sektöründe liderlik konumunu güçlendirmek amacıyla yüksek teknolojiye dayalı, inovasyon odaklı bir üretim ekosistemi oluşturmayı hedeflemektedir (Li, 2018). Made in China 2025, özellikle akıllı üretim, robotik, büyük veri, yapay zekâ ve nesnelerin interneti gibi ileri teknolojilerin üretim süreçlerine entegrasyonunu teşvik etmektedir (Xu vd., 2017). Bu strateji, Çin'in düşük maliyetli üretimden katma değeri yüksek ve teknoloji yoğun üretime geçişini hızlandırmayı amaçlarken, aynı zamanda üretim süreçlerinde daha fazla verimlilik, kalite ve esneklik sağlamayı hedeflemektedir. Ayrıca, Çin hükümeti bu strateji kapsamında ulusal inovasyon merkezleri, araştırma enstitüleri ve teknoloji geliştirme bölgeleri kurarak, Sanayi 4.0'ın yaygınlaşmasını desteklemektedir. Ayrıca Çin, Sanayi 4.0'a entegre sürecinde yeni nesil bilgi teknolojileri, ileri teknoloji ve malzeme, alternatif enerji kaynakları, enerji tasarrufu ve biyo-teknoloji ürünleri üretimine yönelik yedi stratejik bilgi teknolojisinin geliştirilmesine ve ileri üretim teknolojileri bağlamında ise mikro ve nano ölçekte üretim için tasarım, gelişmiş malzemeler için üretim ve test teknolojileri, çevre dostu üretim, dijital ve akıllı tasarım ve imalat, gelişmiş otomasyon / akıllı servis nöbetleri ve servis ömrü tahmin teknolojileri üzerine odaklanmaktadır. Bunların yanı sıra, sürdürülebilir enerji ve kaynak sistemi ve yeni malzemeler ile yeşil üretim sistemi dahil sekiz sosyo-ekonomik sistemin geliştirilmesi ve imalat ile ilgili konular dahil olmak üzere, 22 stratejik teknoloji alanında gelişme sağlamak için çalışmalar yapmaktadır (Bağcı, 2018, s.135).

Çin'in Sanayi 4.0'a yönelik çabaları, sadece teknolojik dönüşümle sınırlı kalmayıp, aynı zamanda iş gücünün bu dönüşüme uyum sağlaması için gerekli olan çeşitli eğitim ve yeniden eğitim programlarını da kapsamaktadır. Özellikle, yerel yönetimlerin ve üniversitelerin iş birliğiyle dijital becerilerin geliştirilmesine yönelik eğitim programları hayata geçirilmektedir (Zhou vd., 2015). Bu

programlar, Çin'in üretim sektöründeki iş gücünü dijital çağın gereksinimlerine hazırlamayı hedeflemekte ve ülkenin Sanayi 4.0 dönüşümünü desteklemektedir. Bunun yanı sıra, özel sektör de Sanayi 4.0'a uyum sağlamak için önemli yatırımlar yapmaktadır. Alibaba ve Huawei gibi büyük teknoloji şirketleri, akıllı fabrikaların ve dijital üretim platformlarının geliştirilmesinde öncü rol oynamaktadır (Chen vd., 2019).

4.2.6. Fransa

İşletmelerin dijital dönüşüme adaptasyonlarını tamamlamalarını kolaylaştırmak Fransa'nın temel hedefi olmuştur. Bu hedefi gerçekleştirmek için çeşitli plan ve programlar ortaya koyulmuştur. Hükümet 2013 yılında Yeni Endüstriyel Fransa programını başlatmıştır. Programın temel amacı Fransa'yı küresel rekabette ön plana çıkarmak olarak ifade edilebilmektedir. Aynı zamanda Fransız sanayisinin modernleşmesine katkı sağlamak amaçlanmıştır (Kornyshova & Barrios, 2022). Bu program kapsamında Fransa'nın sanayi politikasında 34 sektöre dayanan öncelikler belirlenmiştir (Liao vd., 2017). Programın üzerine inşa edildiği beş temel şu şekilde ifade edilebilmektedir (Rojko, 2017):

1. Eklemeli imalat diğer adıyla 3D üretim, sanal fabrika, nesnelerin interneti ve artırılmış gerçeklik dahil olmak üzere en son teknolojiler,
2. Başta küçük ve orta ölçekli olmak üzere Fransız şirketlerinin yeni teknolojilere uyum sağlamasına destek olmak,
3. Kapsamlı çalışan eğitimi,
4. Endüstriyel standartlar etrafında uluslararası iş birliğini güçlendirme,
5. Geleceğin Fransız sanayisinin teşviki

Hükümet, 2015 yılında Geleceğin Endüstrisi girişimini başlatmıştır. Girişim, şirketlerin modernleşmesine ve Sanayi 4.0 devrimine ayak uydurmalarına yardımcı olmayı hedeflemektedir. Bu girişimi geliştirmek için aynı yıl Geleceğin Endüstrisi İttifakı kurulmuştur. Bu ittifak, Fransız sanayisinin dijitalleşme dahil olmak üzere modernizasyon ve dönüşüm projelerini organize ve koordine etmek amacını gütmektedir (Kornyshova & Barrios, 2022). 2017 yılında başlatılan La French Lab, Fransız endüstrileri arasında dijital uygulamaları paylaşmayı ve ihracatı teşvik etmeyi amaçlamaktadır. Bu girişim, yeni bir Made in France olarak kabul edilmektedir. Başka bir program olan PFI4 – Fransa Endüstri 4.0 Platformu 2019 yılında başlatılmıştır. Bu program ile Sanayi 4.0'ın şirketlerde yaygınlaştırılması amaçlanmaktadır. Program kapsamında hem kavramsal hem de pratik açıdan güçlü Sanayi 4.0 eğitim modülleri geliştirilmiştir. Program, Dauphine Université Paris veya Centrale Supélec gibi akademik kuruluşlarla kurulan ortaklıklara ve Sanayi 4.0'ın uygulanmasında deneyime sahip eğitmenler ağına dayanmaktadır (Kornyshova & Barrios, 2022).

2019 yılında GFI Informatique (Inetum), 100'den fazla çalışanı olan 200 Fransız orta ölçekli imalat işletmesi ile bir araştırma yürütmüştür. Çalışma sonuçları Sanayi 4.0 hakkındaki izlenimleri, bu teknolojilere olan ilgiyi, risk değerlendirmelerini ve Fransız şirketlerinin Sanayi 4.0 olgunluk derecesini

ortaya koymuştur. Bulgular incelendiğinde Sanayi 4.0'ın genel olarak olumlu bir etki yarattığı görülmektedir. Sanayi 4.0 dönüşümünü tamamlayan veya devam eden 39 şirketin %10'u tamamen başarılı olmuş, %76'sı daha çok başarı elde etmiş ve %6'sı ise başarısız olmuştur. Şirketlerin geneli Sanayi 4.0'a olumlu baksa da şirketlerin sadece %37'si Sanayi 4.0 dönüşümüne tam anlamıyla katılmıştır. %63'ü ise önlerindeki 12 ay içinde herhangi bir Sanayi 4.0 projesi başlatmayı düşünmediklerini ifade etmişlerdir (Kornyshova & Barrios, 2022).

4.2.7. Japonya

Sanayi 4.0 teknolojilerine adapte konusunda diğer ülkelere nazaran daha ön planda olan Japonya, Sanayi 4.0 teknolojilerinin sadece sanayiye değil, aynı zamanda topluma da entegre edileceği yeni bir toplum modeli üzerine yoğunlaşmaktadır. Bu toplum modeli Toplum 5.0 olarak adlandırılmaktadır. Bu modelin temel amacı, insanı teknolojik değişikliklerin merkezine yerleştirerek yaşanan değişikliklerin insanlık yararına olmasını sağlamaktır. Japonya'nın büyüme planı sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmayı ve süper zeki bir toplum oluşturmayı içermektedir. Toplum 5.0, geleneksel yapay zekâ teorilerinin siber-fiziksel-sosyal sistemlere genişletildiği paralel zekâ dönemi olarak tanımlanmaktadır. Paralel zekâ, toplumsal ve mühendislik açısından karmaşık sorunlarla etkili bir şekilde başa çıkmayı mümkün kılmakta ve belirsiz, çeşitli ve karmaşık meseleleri anlamak için çözümler bulmayı hedeflemektedir. Toplum 5.0, dijital dönüşümü, farklı bireylerin yaratıcılığıyla birleştirerek sürdürülebilir kalkınma yolunda sorun çözme ve değer yaratma yoluyla ilerletmektedir (Pereira vd., 2020).

2015 yılında 5. Bilim ve Teknoloji Temel Planı (5.th Science and Technology Basic Plan) hükümet tarafından kabul edilmiştir. (Liao vd., 2017). Ayrıca mobilite, tedarik zinciri, sağlık hizmetleri ve yaşam teknolojileri için özel teknolojik stratejileri içeren Gelecek Vizyonu 2030 Planı oluşturmuştur. Bu vizyon yeni ekonomik ve sosyal sistemlerin kurulması, daha gelişmiş kurallar, inovasyon ekosistemleri, ekonomik canlanma sistemleri, insan kaynaklarının geliştirilmesi ve kullanımı sistemleri, sosyal güvenlik sistemleri, bölgesel KOBİ sistemleri ve yurtdışı iş alanları için yedi strateji içermektedir (Yang vd., 2019).

2017 yılında hükümet tarafından yayımlanan Gelecek Yatırım Stratejisi (FIS), Sanayi 4.0 etrafında şekillenen ve konuyla ilgili hazırlanan en güncel ve kapsamlı belgelerden biridir. Bu belgede Japonya'yı etkileyen uzun vadeli ekonomik durgunluk ülkenin ana sorunlarından biri olarak tanımlanmıştır. Belgeye göre bu sorun "Toplum 5.0" olarak adlandırılan ve Sanayi 4.0'ın yeniliklerini yalnızca sanayiye değil, aynı zamanda topluma da entegre edecek yeni bir toplum modelinin tam anlamıyla gerçekleştirilmesiyle çözülebilecektir. Belgenin insan kaynaklarının geliştirilmesi ve en iyi şekilde kullanılmasına yönelik bölümünde çeşitli politikalar öngörülmektedir. Bu politikalar arasında bireylerin çalışma becerilerini geliştirmek amacıyla insan kaynakları yatırımlarını arttırmaya yönelik adımlar yer almaktadır. Örneğin, Sanayi 4.0'ın gereksinimlerine cevap verecek şekilde BİT becerileri standartlarının gözden geçirilmesi, sanayi, hükümet ve akademi iş birliği ile pratik becerilerin geliştirilmesi, üniversitelerin BİT becerilerinin gelişimi için desteklenmesi, yaşam boyu BİT becerileri

eğitiminin genişletilmesi, sanayiye öncülük edebilecek BİT uzmanlarının yetiştirilmesi ve programlama gibi BİT eğitimlerinin ilköğretim ve ortaöğretim düzeyinde uygulanması gibi girişimler bu politikalardan bazılarıdır (Riminucci, 2018).

4.2.8. Singapur

Yüksek katma değerli üretim merkezi olarak tanınan Singapur, havacılık, yarı iletkenler, kimyasallar ve biyomedikal bilimler gibi sektörlerde lider konumdadır. Dünyadaki tüm entegre devre çiplerinin %10'u Singapur'da üretilmekte, monte edilmekte veya test edilmektedir. Kendi hidrokarbon rezervlerine sahip olmamasına rağmen, entegre enerji ve kimya kompleksi olan Jurong Adası, dünyanın beşinci en büyük rafine petrol üretim merkezidir ve kimyasal madde ihracatında hacim açısından dünya çapında ilk onda yer almaktadır. Çin, ABD ve Almanya'dan sonra dünyanın en büyük dördüncü yüksek teknoloji ürün ihracatçısıdır. Singapur'un yetenekli iş gücü ve yenilikçilik alanındaki güçlü yönleri, ülkeyi şirketlerin Endüstri 4.0 stratejilerini tasarlayıp uygulamaları için en iyi yerlerden biri haline getirmektedir. Ayrıca Sanayi 4.0, Singapur'un küresel bir üretim merkezi olarak konumunu pekiştirmesi için önemli fırsatlar sunmaktadır (Singapore Economic Development Board, 2020). Boston Consulting Group'un (BCG) detaylı bir çalışması, Endüstri 4.0'ın Singapur için oyunun kurallarını değiştirebileceğini göstermiştir. Çalışmada Sanayi 4.0'ın, iş gücü verimliliğini yaklaşık %30 artırabileceği, 22.000 yeni iş yaratabileceği ve 2024 yılına kadar toplam üretimi 36 milyar $ artırabileceği ifade edilmektedir (The Business Times, 2017).

2017 yılında Accenture iş birliğiyle yapılan bir çalışmaya göre Singapur'daki enerji, kimya ve kamu hizmetleri sektörlerindeki üreticilerin %70'i, 2020 yılına kadar Sanayi 4.0 teknolojilerini kullanmayı planlamaktadır. Ayrıca Sanayi 4.0'ı hem verimliliği hem de üretkenliği arttırmak için bir kaldıraç olarak görmektedirler. Ancak Sanayi 4.0'a uygunluk ve benimseme hızı sektörlere ve şirket büyüklüklerine göre farklılık göstermektedir (Singapore Economic Development Board, 2020). Singapur İş Federasyonu'na göre KOBİ'lerin yaklaşık %60'ı Sanayi 4.0'a geçiş için önemli teknolojik değişiklikler yapmamıştır. Bunun nedenleri değişime karşı direnç, teknolojik bilgi ve kaynak eksikliği olarak ifade edilebilmektedir. Birçok firma Sanayi 2.0-3.0 seviyesinde faaliyet göstermektedir. Singapur Ekonomik Kalkınma Kurulu (EDB), firmaların ilerlemelerini ölçmelerine ve uygulamadaki boşlukları anlamalarına yardımcı olmak için 2017 yılında Akıllı Sanayi Hazırlık Endeksini (SIRI) geliştirmişlerdir (Surianarayanan & Menkhoff, 2020). Endeks, firma yetkililerine Sanayi 4.0 kavramını ve bir şirketin olgunluk seviyesini derinlemesine anlamalarını ve nasıl geliştirebileceklerini öğretmekte ve Sanayi 4.0'a hızlı adapte olmalarını sağlayabilecek ideal iş planını önermektedir. Aynı zamanda firmalar, endeksi Sanayi 4.0›a hazır olup olmadıklarını değerlendirmek için kullanabilmektedir (Medina, 2022). Singapurlu şirketler 2018 yılında, hidroponik çiftlikleri tamamen otomatik hale getirmek ve mahsul verimini en üst düzeye çıkarmak için hafif ayarlamalar yapabilen makineler geliştirmişlerdir (Tay vd., 2018).

2015 yılında Bilim, Teknoloji ve Araştırma Ajansı (A*STAR), Ticaret ve Sanayi Bakanlığı (MTI), Ekonomik Kalkınma Kurulu (EDB) ve SPRING Singapore ile yaptığı iş birliği sonucunda Araştırma,

İnovasyon ve Girişim Planı kapsamında Geleceğin Üretimi (FoM) İnisiyatifini başlatmıştır. İnisiyatifin amacı, Singapur'un üretim ve teknoloji inovasyonu alanındaki rekabetçiliğini sürdürebilmektir. Singapur, üretim sektöründe ileri ve çığır açan teknolojilerin geliştirilmesi, test edilmesi ve uygulanması için tercih edilen bir ülke olmayı hedeflemektedir (Surianarayanan & Menkhoff, 2020). Hükümet, 2016 yılında Araştırma, İnovasyon ve Girişim (Research, Innovation and Enterprise) Planı'na 19 milyon dolar ayırmıştır. Gelişmiş imalat ve mühendislik alanında sekiz temel endüstri belirlenmiştir (Liao vd., 2017).

Singapur'un üretim ekosistemini destekleyen faktörlerden biri, mühendislik ve ileri üretim alanlarındaki ARGE yatırımlarıdır. Örneğin, Ulusal Robotik Programı, mühendis ve bilim insanlarının araştırmalarını gerçeğe dönüştürmelerine yardımcı olmakta ve üretimde robotların kullanımını teşvik etmektedir (Medina, 2022).

Sanayi 4.0'la ilişkili olan teknolojiler Singapur'daki firmalar açısından muğlak kalmaktadır. Birçok firmanın ilgili teknolojilerin potansiyel etkilerini daha iyi anlamak ve kullanım durumlarını değerlendirmek için teknolojilerin nasıl kullanılacaklarının gösterilmesine ihtiyaç duyduğu görülmüştür. Bu eksikliği gidermek maksadıyla A*STAR, Singapur İmalat Teknolojisi Enstitüsüyle (SIMTech) birlikte 2017 yılında Model Factory@SIMTech'i başlatarak KOBİ'lerin gerçek bir üretim ortamında gelişmiş dijital teknolojilerini öğrenmelerini ve denemelerini sağlamak için model fabrikalar oluşturmuşlardır. Genel olarak, model fabrika, iş gücünü Sanayi 4.0 hakkında eğitmek, şirketleri dijital dönüşümü başlatmaya teşvik etmek ve şirketlerle kamu-özel araştırma ortaklığını teşvik ederek yeni fikirleri test etmek ve yeni ileri imalat teknolojilerini birlikte oluşturmak amacıyla bir platform görevi görmektedir (Tay vd.., 2021a). Üniversiteler ve araştırma merkezlerinde yer alan model fabrikalar, yeni üretim teknikleri, teknolojiler ve iş modellerinin test edilmesi için gerçek hayattaki üretim ortamlarının simüle edilmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca üniversiteler çok uluslu şirketlerle iş birliği içinde Sanayi 4.0'la ilişkili olarak siber güvenlik, hesaplamalı mühendislik, blokzincir, yapay zekâ ve akıllı endüstriyel kimyasal üretim gibi alanlarda öncü çözümler geliştirmek için kurumsal laboratuvarlar oluşturmuştur (Medina, 2022).

Singapur, 2022-2027 yılları arasında sürdürülebilir bir Singapur inşa etme çabalarını sürdürmek için araştırma ve geliştirme faaliyetlerine 17,6 milyar $ harcamayı planlamaktadır. Fonların beşte biri, yenilikçi platformların geliştirilmesi, girişimci yeteneklerin geliştirilmesi ve iş inovasyon kapasitelerinin desteklenmesi için ayrılmıştır. Kalan fonlar, gelecekteki ihtiyaçları ve yeni fırsatları destekleyen programlar ile yetenek geliştirme çalışmalarına yönlendirilecektir (Medina, 2022).

4.2.9. Tayvan

Tayvan hükümeti, 2015 yılında "Üretkenlik 4.0" strateji planını tanıtmıştır. Planın temel amacı Tayvan'ın mevcut teknoloji avantajını pekiştirerek küresel üretim tedarik zincirindeki konumunu sağlamlaştırmaktır (Chen, 2019). Plan kapsamında sanayi üretimi teşvik edilmekte ve Tayvan'ın

akıllı makine alanında küresel bir üretim merkezi yapılması hedeflenmektedir. Plan altı aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar şu şekilde sıralanabilmektedir (Hardyanthi vd., 2019):

1. Kritik lider sektörlerde akıllı tedarik zinciri ekosisteminin optimize edilmesi,
2. Yeni girişimlerin teşvik edilmesi,
3. Kritik bileşenler, sistemler veya hizmetler gibi rekabet gücüne sahip yerel yatırımların teşvik edilmesi,
4. Sanayi-akademi iş birliğinin ve disiplinlerarası öğrenme yeteneklerinin geliştirilmesi,
5. Sanayiyi geliştirmek ve girişimlerin çoğalmasını sağlamak için gerekli politika araçlarının sağlanması.

Planın hedefi üretim sektörlerine ek olarak hizmet ve tarım sektöründe de nesnelerin interneti, büyük veri ve akıllı robotlar gibi otomatik sistemler ile rekabet gücünün artırılmasıdır. Endüstriyel Teknoloji Araştırma Enstitüsüne (ITRI) bağlı Endüstriyel Ekonomi ve Bilgi Merkezi (IEIC) genel direktörü Stephen Su, Üretkenlik 4.0'ın kilit unsurlarının şirketler arası gerçek zamanlı bilgi çıkışı sağlayan esnek değer zincirleri ve modüler üretim birimlerinin merkeziyetçiliği olduğunu belirtmektedir (Hardyanthi vd., 2019).

Tayvan'ın bisiklet endüstrisi, ülkenin uluslararası alandaki en rekabetçi sektörlerinden birisidir. 2000'li yıllarda, bisiklet üretiminde lider üretici olan GIANT, rekabet gücünü artırmak için A-Team girişimini başlatmıştır. Son yıllarda, teknoloji kullanma kapasitesini geliştiren GIANT, sanal dikey entegrasyonu kademeli olarak benimsemiştir. Nesnelerin internetini üretilen ve satılan ürünlerin izlenebilirliği için kullanmıştır. 2014 yılından itibaren GIANT, bu teknolojiyi müşteri hizmetleri sistemine de uygulamıştır. Müşteriler mağazadan bisiklet satın aldıklarında, bisiklet numarasını mağazada QR kod aracılığıyla kaydedilebilmekte ve böylece merkez, kullanıcı bilgilerini anında elde edip satış yönetimini yapabilmektedir. 2018 yılında SAP S/4HANA Cloud'u imzalayarak, çok uluslu üretim ve operasyon bilgilerini entegre etmeyi, büyük veri analizleri ve tahmin geri bildirimlerini tek bir dijital platform üzerinden gerçekleştirmeyi, envanteri gerçek zamanlı olarak yönetmeyi, üretim verimliliğini artırmayı, daha etkili kararlar almayı ve küresel rekabet gücünü artırmayı hedeflemektedir (Li, 2019).

4.2.10. Malezya

Malezya, Sanayi 4.0 teknolojilerini nispeten yeni benimsemeye başlamıştır. Çok uluslu şirketler haricinde KOBİ'lerin geneli Sanayi 4.0'ın farkında değildir (Wong & Kee, 2022; Ling vd., 2020). Ling vd. (2020) ifade ettiği üzere, sanayi olgunluk seviyesi 2.0'dan 3.0'a yavaş şekilde ilerlemektedir. Çeşitli yazarlar tarafından teknolojik altyapının yetersiz olması, vasıflı iş gücü eksikliği, farkındalık eksikliği, maliyetin yüksek olması ve BİT'in kullanımında eksiklik Malezyalı firmaların Sanayi 4.0'a adaptasyon sürecinde karşılaştıkları zorluklar olarak ifade edilmektedir (Ling vd.., 2020; Tay vd.., 2021). Malezya'nın eski Başbakanı olan Tun Dr Mahatjir Mohamed 2019 yılında, Sanayi 4.0'ın

benimsenmemesi durumunda ülkenin geride kalma riski bulunduğunu belirtmiştir (Soomro vd., 2021). Bu açıdan Sanayi 4.0'a adaptasyon önem arz etmektedir.

Malezya, Sanayi 4.0'a adaptasyon sürecinde çeşitli politika ve stratejiler uygulamıştır. Hükümet, sektörlerin Sanayi 4.0'a entegrasyonunu sağlamak için Malezya Ulusal Endüstri 4.0 Politikasını (Industry4RWD) başlatmıştır. Industry4WRD sonucunda kişi başına üretkenliğin %30 artması, imalat sanayilerinin ulusal ekonomiye katkısının ise 254 milyar Malezya Ringitinden 392 milyar Malezya Ringitine yükselmesi beklenmektedir. Politika ayrıca yenilik kapasitesini arttırmayı ve son olarak ise vasıflı iş gücünü %18'den %35'e yükseltmeyi amaçlamaktadır (Ling vd., 2020). 2017 yılında Sanayi 4.0'ın benimsenmesini hızlandırmak için hükümet tarafından birkaç yeni teşvik paketi çıkarılmıştır. Örneğin Supermax Corporation Bhd. adlı eldiven üretim şirketi hükümetin teşvik programları aracılığıyla desteklenerek otomasyon ve Sanayi 4.0 kapsamında gelişmeye teşvik edilmiştir. Ayrıca eski Başbakan Datuk Seri Najib Razak döneminde sanayiye yönelik Teknik ve Mesleki Eğitim Programı başlatılmıştır. Program kapsamında iş gücünün kapasitesi arttırılarak Sanayi 4.0'ın gelişiminin desteklenmesi amaçlanmıştır. Hükümet bu program için 50 milyon Malezya Ringiti tahsis etmiştir (Tay vd., 2018). Ekonomik Dönüşüm Programı'nın (ETP) temel amacı 2020 yılı itibarıyla ülkeyi yüksek gelirli bir ekonomiye dönüştürmektir. ETP kapsamında otomasyonu artırmak amacıyla çeşitli projeler başlatılmıştır. Akıllı üretime odaklanılması gerektiği özellikle 11. Malezya Planında da vurgulanmıştır. Bu plan, özellikle BİT'in kullanımını desteklemekte ve verimliliği artırmak amacıyla Teknoloji Ticarileştirme Platformu'nun (TCP) uygulanmasını teşvik etmektedir. Ayrıca, 2015 Malezya Bütçesi kapsamında Otomasyon Sermaye İzni (ACA) uygulaması başlatılmıştır. Bu uygulama sayesinde firmaların üretim hacminde ortalama %20-30 artış elde edileceği tahmin edilmektedir. 2050 Ulusal Dönüşüm (TN50) yol haritası, Malezya hükümetinin 2050 yılına kadar ekonomik kalkınma, refah ve teknoloji alanlarında dünyanın en iyi 20 ülkesi arasında yer almayı hedefleyen bir diğer çabasıdır. Yol haritasında Malezya'nın diğer ülkelerle rekabet edebilmesi için otomasyonlaşması gerektiği vurgulanmıştır. Nesnelerin internetini teşvik etmek amacıyla hükümet tarafından Ulusal Nesnelerin İnterneti Strateji Yol Haritası oluşturulmuştur (Mohamad vd., 2018). Ayrıca Malezya Dijital Ekonomi Kurumu tarafından yürütülen Dijital Dönüşüm Hızlandırma Programı, Malezya Kalkınma Bankası tarafından sağlanan Endüstri Dijitalleşme Dönüşüm Fonu ve Malezya Yatırım Geliştirme Kurumu tarafından sunulan Yurtiçi Yatırım Stratejik Fonu Sanayi 4.0'a adaptasyon sürecinde uygulanan diğer politikalardır (Ling vd., 2020).

4.2.11. Endonezya

Sanayi 4.0'a adaptasyon Endonezya için önem arz etmektedir. Bunun için Sanayi Bakanlığı tarafından 2018 yılında "Endonezya 4.0'ı İnşa Etmek" stratejisi başlatılmıştır. Bu stratejiyle Endonezya sanayisinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Strateji kapsamında özellikle gıda ve içecek sanayi, tekstil ve giyim sanayi, otomotiv sanayi, kimya sanayi ve elektronik sanayi olmak üzere beş temel sektöre odaklanılmıştır (Hardyanthi vd., 2019; Rezqianita & Ardi, 2020). Ayrıca on ulusal öncelik belirlenmiştir. Belirlenen bazı ulusal öncelikler şu şekilde sıralanabilmektedir (Hardyanthi vd., 2019):

1. Malzeme akışının yeniden yapılandırılması,
2. Sanayi bölgesi tasarımı,
3. İnsan kaynaklarının kalitesinin artırılması,
4. Küçük ve ortak ölçekli işletmelerin güçlendirilmesi,
5. Teknolojik yatırımlara yönelik teşvikler verilmesi,
6. İnovasyon ekosisteminin oluşturulması,
7. Politika ve düzenlemelerin uyumlaştırılması

Aynı zamanda strateji sonucunda Endonezya'nın 2030 yılına kadar küresel ekonomide ilk ona girmesinin sağlanması hedeflenmektedir. Bu amacı gerçekleştirmek için ulaşılması istenen hedefler şu şekilde sıralanabilmektedir (Hardyanthi vd., 2019):

1. Verimlilik-maliyet oranının iki katına çıkarılması,
2. İhracat oranının GSYİH'nin %10'una çıkarılması,
3. GSYİH'nin %2'sinin teknoloji, araştırma ve geliştirmeye ayrılması.

Stratejiye ek olarak Sanayi Bakanlığı sanayinin Sanayi 4.0'a uygunluğunu ölçmek için Endonezya Sanayi 4.0 Hazırlık Endeksi'ni (INDI 4.0) yayımlanmıştır. Değerlendirme sonuçları, Endonezya imalat sanayisinin ortalama hazırlık endeksinin 2.14 seviyesinde olduğunu göstermektedir. Beş öncelikli sektör arasında, en yüksek değer tekstil endüstrisindedir (2.51). Sırasıyla gıda ve içecek (2.47), kimya (2.31), elektronik (1.84) ve otomotiv (1.72) takip etmektedir. Sonuçlar incelendiğinde Endonezya imalat sanayisinin hala orta hazırlık aşamasında olduğu söylenebilmektedir (Rezqianita & Ardi, 2020).

Sanayi 4.0'a yönelik literatür incelendiğinde uygulanan hükümet politikaları ve piyasa koşulları şirketlerin Sanayi 4.0'a adapte olmasını teşvik eden önemli faktörlerdir. Örneğin Endonezya vergi mükelleflerini yapay zekâ ve büyük veri teknolojilerini kullanmaları durumunda maliyetlerinin %300'üne kadar vergi indiriminden yararlanabilecekleri Süper İndirim Vergisi (Super Deduction Tax) uygulamasını hayata geçirmiştir (Rezqianita & Ardi, 2020). Firmaların Sanayi 4.0'a adaptasyonda yaşadıkları en önemli sorunlardan biri finansman yetersizliğidir. Gıda ve İçecek Üreticileri Derneği (GAPMI) Başkanı Adhi S. Lukman'a göre Sanayi 4.0'ı tamamıyla uygulayabilmek için üretim sektörlerinin yalnızca büyük fonlara değil, aynı zamanda yabancı yeteneklere ihtiyacı bulunmaktadır. Diğer bir sorun ise Sanayi 4.0'a uygun teknolojilerin eksikliğidir (Hardyanthi vd., 2019).

4.2.12. Rusya Federasyonu

Rus ekonomisinin rekabet gücünü artırmak için dijitalleşmenin artması oldukça önemlidir. 2018 yılında Cumhurbaşkanlığı kararnamesiyle İletişim ve Kitle İletişim Bakanlığı›nın himayesinde Dijital Gelişim, İletişim ve Kitle İletişim Bakanlığı kurulmuştur. Bu bakanlık Dijital Ekonomi adlı

ulusal programı denetlemektedir. Programın 2024 yılına kadar sürmesi beklenmektedir. Program 2017 yılında %1.7 olan GSYİH içindeki yerli dijital hizmet geliştirme harcamalarının payını 2024 yılında %5.1'e çıkarmayı hedeflemektedir. Programın toplam bütçesi 1634.9 milyar Ruble tutarındadır. Ayrıca, dijital ekonomi alanındaki projeleri desteklemek ve iş dünyası, araştırma kuruluşları ve kamu otoriteleri arasındaki iş birliğini koordine etmek amacıyla Dijital Ekonomi adıyla kâr amacı gütmeyen bir kuruluş kurulmuştur. Bu kuruluşun desteğiyle, uçtan uca dijital teknolojilerin geliştirilmesi için yol haritaları hazırlanmıştır (Drogovoz vd., 2022).

Rusya Federasyonu'nda endüstriyel internet pazarının gelişimi başlangıç düzeyindedir. Asaturova (2019), Rusya Federasyonu'nun devlet istatistiklerinin kapsamlı bir analizine dayanan matematiksel istatistik yöntemlerini kullanarak, Rusya'nın nesnelerin interneti pazarında endüstriyel segmentin payının ağırlıklı olduğu sonucuna varmıştır. 2015 yılında, bu segmentin payı %64 iken, sektörler arası segment %20, devlet ve tüketici segmenti ise yaklaşık %8 civarındadır. Bu oranlar Rusya'da endüstriyel internet teknolojilerinin gelişimi için iyi bir potansiyel olduğunu göstermektedir. Rusya'da endüstriyel nesnelerin internet pazarına yönelik yapılan bir trend analizi 17.9 milyon cihazın bu pazarda yer aldığını ve bunun 2015'e göre %42 arttığını göstermektedir. 2021 yılında toplam nesnelerin interneti cihaz sayısının 79.5 milyona, 2026'ya kadar ise 164.7 milyona çıkacağı tahmin edilmektedir. Rus işletmelerinin Sanayi 4.0 projelerini uygulama düzeyine ilişkin yapılan bir analiz, dijital teknolojileri benimseme konusunda belirgin bir istek olmasına rağmen bu teknolojilerin Rus işletmelerinde uygulanmasını engelleyen nesnel zorlukların bulunduğunu göstermektedir. 2017 yılında çeşitli sektörlerden şirket yöneticileriyle yapılan bir ankete göre şirketlerin yaklaşık %32'si nesnelerin interneti teknolojisini benimsemek istediklerini, %11'i bu teknolojiyi zaten uygulamaya koyduklarını ve %57'si ise nesnelerin interneti teknolojilerini kullanmadıklarını belirtmişlerdir. Rus ekonomisinde endüstriyel internet projelerinin yaygınlaşmasını engelleyen nedenler arasında düşük teknoloji farkındalığı, sınırlı finansman ve yeni teknolojileri kullanabilecek nitelikli personelin eksikliği yer almaktadır. Asaturova'ya (2019) göre endüstriyel internetin yaygınlaştırılması için yapılması gerekenler şu şekilde sıralanabilmektedir:

1. Yeni internet teknolojilerinin kullanılmasını sağlayacak bir bilgi ve telekomünikasyon altyapısının oluşturulması,
2. Nesnelerin interneti projelerinin uygulanmasına yönelik kamu veya kamu-özel finansman desteğinin verilmesi,
3. Nesnelerin interneti platformuna erişebilirliğinin sağlanması,
4. BİT alanında nitelikli personel yetiştirilmesine yönelik eğitim sisteminin yeniden yapılandırılması,
5. Yeni teknolojilerin yasal geçerliliğini ve bilgi güvenliğini sağlayacak düzenleyici bir çerçevenin geliştirilmesi.

4.2.13. Brezilya

Brezilya'da, teknolojik gelişimi ve yeniliği teşvik etmek amacıyla yapılan eylem ve politikalar 2000'li yılların başından itibaren başlamış ancak yavaş bir tempoda ilerlemiştir. KOBİ'lerin yoğun olması ve çoğunlukla yüksek teknoloji sektörleri dışında faaliyet göstermeleri firmaların Sanayi 4.0'a adapte olmalarını zorlaştırmaktadır (Oliveira vd., 2022). Brezilya Ulusal Sanayi Konfederasyonu tarafından yapılan sanayi araştırması, Sanayi 4.0 ile ilgili bir dizi teknolojiyi ele almış ve Brezilya sanayisinde bu teknolojilerin uygulanma seviyesini incelemiştir. Çalışmada uygulama seviyesi hâlâ düşük olmasına rağmen, bazı sanayi sektörlerinin bu teknolojilere yatırım yaptığı ve sanayinin önemli bir bölümünün bu konuyu önemsediği vurgulanmıştır (Rodrigues vd., 2021).

Sanayi 4.0'a yönelik ilk somut strateji ve politikalar 2017 yılında başlamıştır. 2018 yılında, Ulusal Dijital Dönüşüm Sistemi kurulmuş ve bu kapsamda E-Dijital adı verilen Brezilya Dijital Dönüşüm Stratejisinin uygulanması için yönetişim yapısı oluşturulmuştur. Ülkede bulunan Bilim, Teknolojik Yenilikler ve İletişim Bakanlığı (MCTIC), dijital dönüşüm politikalarını ve Ulusal Nesnelerin İnterneti Planını (IoT.BR) oluşturmaktan sorumludur. IoT.BR, teknolojilerin yaygınlaşmasını ve nesnelerin internetinin kullanımını hızlandırmayı ve bunun tüm ekonomik sektörler üzerindeki etkisini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Plan, Brezilya ekonomisinin dijitalleşme sürecinin temellerinden biri olarak kabul edilmektedir. MCTIC tarafından 2016-2022 Dönemi Ulusal Bilim, Teknoloji ve Yenilik Stratejisi (ENCTI 2016/2022) çerçevesinde, "Brezilya'da İleri Üretim için CT&I Planı" (ProFuturo) önerilmiştir. Dijitalleşme kapsamında kurulan diğer ortaklıklar Dijital Dönüşüm Gözlemevi, Telekomünikasyon Araştırma ve Geliştirme Merkezi (CPqD) ve Rekabetçi Brezilya Hareketidir (MBC). Gözlemevi, E-Dijital'in, IoT.BR'nin ve ProFuturo'nun yaygınlaşmasına yardımcı olmaktadır (Oliveria vd., 2022). Ayrıca Brezilya Sanayi Geliştirme Ajansı ve Sanayi, Dış Ticaret ve Hizmetler Bakanlığı tarafından Endüstri 4.0'a Doğru programı oluşturulmuştur. Bu girişim, Brezilya sanayisinin Endüstri 4.0'a uyum sağlaması ve bu yeni sanayi paradigmasını benimsemesi için bir dizi stratejik adım içermektedir (Rodrigues vd., 2021).

5. Sonuç

Çalışma temel olarak Sanayi 4.0'a yönelik çeşitli ülkelerin uyguladığı politika ve stratejilerin incelenmesine odaklanmaktadır. Geleceğe Hazırlık Ekonomik Endeksi (Future Readiness Economic Index, FREI) ile teknoloji skorlarına ilişkin veriler kullanılmıştır. Bu göstergeler temel alınarak ülkeler gelişmişlik gruplarına göre sınıflandırılmış; FREI ile teknoloji skoru arasındaki ilişki değerlendirilmiştir. Veriler analitik biçimde işlenmiş, saçılım grafikleri yardımıyla ülke gruplarının göreli konumları ortaya konulmuş ve grup bazında çizilen trend doğruları ile kategoriler arasındaki yapısal farklılıklar incelenmiştir. Nicel bulgular, çalışmanın nitel boyutuyla bütünleştirilmiştir. Bu kapsamda ülkelerin Sanayi 4.0'a yönelik strateji belgeleri (örneğin Made in China 2025, Türkiye Sanayi Stratejisi, Industrie 4.0), kalkınma planları, kamu politika raporları ve ilgili akademik çalışmalar sistematik

olarak analiz edilerek nicel analizden elde edilen bulguların politika düzeyindeki karşılıkları ortaya koyulmuştur.

Ele alınan ülkelerin tamamı Sanayi 4.0'a adaptasyonu önemli görmektedirler. Bu bağlamda Sanayi 4.0 teknolojilerine yatırım yapmakta ve ülkelerinde bulunan firmaların Sanayi 4.0'a adapte olabilmeleri için strateji ve politikalar oluşturmaktadırlar. Ağırlıklı olarak gelişmiş ülkelerin Sanayi 4.0'a daha kolay adapte oldukları görülmektedir. Bunun temel nedeni bu ülkelerin rekabet avantajının daha fazla olması ve finansman konusunda sorun yaşamamaları olarak tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında saçılım grafiği yöntemiyle incelenen FREI ve teknoloji skorları arasındaki ilişki de bu durumu doğrulamaktadır.

Yüksek FREI skoru, teknolojiye uyum ve dijital dönüşüme hazırlığın göstergesi olarak kabul edilmektedir. İki ölçüt arasında pozitif bir ilişki bulunmaktadır. FREI skoru arttıkça teknoloji düzeyi yükselmektedir. Ülkeler kategorilerine göre gruplaşmakta; gelişmiş ülkeler en yüksek değerlere sahipken, yeni sanayileşenler orta düzeyde, gelişmekte olanlar ve az gelişmişler ise daha düşük skorlarla temsil edilmektedir. Grafikte bazı ülkelerin FREI skoru yüksek olsa da teknoloji skorları geridedir. Türkiye, Meksika, Nijerya gibi ülkelerde bu sapmalar altyapı, eğitim, inovasyon eksiklikleri gibi eksikliklerden kaynaklanmaktadır. Ülke grupları incelendiğinde, gelişmiş ülkelerin FREI ve teknoloji skorlarında en önde yer aldıkları görülmektedir. Bu ülkeler, Sanayi 4.0'a en hazır grubu oluşturmaktadır. Örneğin Singapur ve Danimarka gibi ülkeler hem teknolojik altyapılarını hem de geleceğe hazırlık düzeylerini yüksek seviyede tutmaktadır. Yeni sanayileşen ülkeler ise orta düzeyde teknolojiye sahiptir. FREI skorları gelişmiş ülkeler kadar yüksek olmasa da bu grupta yer alan bazı ülkeler dijital dönüşüme uyum sağlama konusunda dikkat çekici ilerlemeler kaydetmektedir. Gelişmekte olan ülkeler ise daha heterojen bir görünüme sahiptir. FREI ve teknoloji skorları genellikle düşük-orta seviyelerde yoğunlaşmakta, bazı ülkeler %30'lar seviyesinde kalırken bazıları %50'ye yaklaşmaktadır. Buna rağmen genel eğilim, düşük teknoloji kullanımı ve sınırlı uyum kapasitesi yönündedir. Az gelişmiş ülkeler ise grafiğin sol alt köşesinde kümelenmiş olup en düşük FREI ve teknoloji skorlarıyla temsil edilmektedir. Bu ülkeler dijitalleşme ve inovasyon süreçlerinde oldukça geridedir ve FREI skorundaki artış teknolojiye çok sınırlı düzeyde yansımaktadır. Kısacası tüm gruplarda FREI ile teknoloji arasında doğrusal bir ilişki vardır. Ancak eğim farklılıkları, ülkelerin teknolojiye adaptasyon hızlarını yansıtmaktadır. Gelişmiş ülkelerde eğim dik olup artış hızlı gerçekleşirken, yeni sanayileşenlerde yatay ve daha sınırlı, gelişmekte olanlarda kısıtlı, az gelişmişlerde ise oldukça düşük düzeydedir

Çalışma kapsamında bahsedilen ülkelerin tamamı Sanayi 4.0'a adaptasyon için çeşitli strateji ve politika belgeleri ortaya koymuşlardır. Ayrıca ülkede bulunan işletmelerin Sanayi 4.0'a daha kolay adapte olabilmeleri için çeşitli teşvik ve hibeler vermişler, özel sektör ve üniversiteler ile iş birliği kurmuşlardır. Bu iş birlikleri kapsamında çeşitli programlar ortaya koymuşlardır. Bu ülkelerde hükümetlerin yanı sıra çeşitli özel kurum, kuruluş ve şirketler Sanayi 4.0'a adaptasyonu artırmak için çeşitli projeler yürütmüşlerdir.

Çalışma kapsamında ele alan ülkelerin Sanayi 4.0'a yönelik strateji ve politika belgeleri yayımladığı görülmektedir. Ayrıca hükümetlerin yanı sıra Sanayi 4.0'a yönelik çeşitli programlar geliştiren özel kurum ve kuruluşlar da bulunmaktadır. Bu kuruluşların olması özellikle Sanayi 4.0'ın şirketler tarafından benimsenmesi için önemli avantajları bünyesinde barındırmaktadır. Gelişmiş ülkelerde dahil olmak üzere ülkelerin genelinde şirketler Sanayi 4.0'a adaptasyon konusunda halen sorunlar yaşamaktadır. Bu sorunlar yeni sanayileşen ve gelişmekte olan ülkelerde gelişmiş ülkelere nazaran daha belirgindir. Bu nedenle ülkelerin Sanayi 4.0'a yönelik daha fazla politika geliştirmeleri oldukça önemlidir. Çalışma kapsamında incelenen ülkeler arasında Malezya'nın Sanayi 4.0'a adaptasyon açısından diğer ülkelere nazaran daha geride kaldığı görülmektedir. Buna rağmen Malezya geliştirdiği politika ve stratejilerle bu gerilikten kurtulmak istemektedir. Rusya Federasyonu her ne kadar küresel ekonomide önemli bir yer tutsa da literatür incelendiğinde konuyla ilgili çalışmaların az olduğu görülmektedir

Sanayi 4.0'a hazırlık konusunda makro analizlerin yanı sıra mikro analizlerinde yapılması gerekmektedir. Bu bağlamda Sanayi 4.0'ın şirketler ve firmalardaki konumu ve seviyesi önem arz etmektedir. Ülkeler tarafından uygulanan strateji ve politikalarda firmaların ön plana çıktığı görülmektedir. Bu bağlamda çalışmanın mikro analize de önemli bir katkı sunduğu ifade edilebilir. Konuyla ilişkili daha fazla çalışmanın yapılması Sanayi 4.0'ın ülkeler ve şirketler üzerindeki etkisinin anlaşılması açısından oldukça önemlidir.

Kaynakça

Adebayo, T. S., Onifade, S. T., Alola, A. A., & Muoneke, O. B. (2022). Does it take international integration of natural resources to ascend the ladder of environmental quality in the newly industrialized countries. *Resources Policy, 76*, 1-10. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.102616

Alias Z. S., Selamat, M. N., Alavi, K., & Arifin, K. (2018). Industry 4.0: A systematic review in technical and vocational education and training. *Jurnal Psikologi Malaysia, 32*(4), 66-74.

America Makes. (t.y.). America Makes. https://www.americamakes.us/

Asaturova, J. (2019). Peculiarities of development of Industry 4.0 concept in Russia. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 497*(1), 1-6.

Bağcı, E. (2018). Endüstri 4.0: Yeni üretim tarzını anlamak. *Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 9*(24), 122-146.

Banhidi, Z., & Dobos, I. (2024). Measuring digital development: Ranking using data envelopment analysis (DEA) and Network Readiness Index (NRI). *Central European Journal of Operations, 32*, 1089-1108. https://doi.org/10.1007/s10100.024.00919-y

Banhidi, Z., Dobos, I., & Nemeslaki, A. (2020). What the overall Digital Economy and Society Index reveals: A statistical analysis DESI EU28. *Regional Statistics, 10*(2), 42-62.

Başol, O., & Yalçın, E. C. (2024). Dijital Ekonomi ve Toplum Endeksinin Yaşam Kalitesi Endeksi üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi. *Paradoks Ekonomi Sosyoloji ve Politika Dergisi, 20*(2), 224-240.

Bozyk, P. (2006). *Globalization and the transformation of foreign economic policy*. Ashgate.

Bruno, G., Diglio, A., Picolo, C., & Pipicelli, E. (2023). A reduced composite indicator for digital divide measurement at the regional level: An application to the Digital Economy and Society Index (DESI). Technological Forecasting & Social Change, 190, 1-16. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122461

Catapult Network (2020). *The UK's catapult network: Driving the UK's innovation ecosystem*. Catapult Network. https://catapult.org.uk/

Chen, C. (2019). Value creation by SMEs participating in global value chains under Industry 4.0 trend: Case study of textile industry in Taiwan. *Journal of Global Information Technology Management, 22*(2), 120-145.

Chen, Y., Dai, J., & Tang, Q. (2019). Smart factory framework for discrete manufacturing in China: A case study in automotive industry. *Computers in Industry, 106*, 75-82.

Descartes Institute for the Future. (2023). Assessing future readiness. https://www.futurereadinessindex.com/2023/about

Drogovoz, P. A., Kashevarova, N. A., Dadonov, V. A., Sadovskaya, T. G., & Trusevich, M. K. (2022). Industry 4.0 in Russia digital transformation of economic sectors. *In Industry 4.0 in SMEs Across The Globe – Drivers, Barriers, and Opportunities.* J. M. Müller & N. Kazantsev (Eds.). London: CRC Press, 191-207.

Frank, M. R., Autor, D., Bessen, J. E., Brynjolfsson, E., Cebrian M., Deming, D. J., Feldman, M., Groh, M., Lobo, J., Moro, E., Wang, D., Youn, H., & Rahwan, I. (2019). Toward understanding the impact of artificial intelligence on labor. *Perspective, 116*(14), 6531-6539. https://doi.org/10.1073/pnas.190.094.9116

Guillen, M. F. (2001). *The limits of convergence*. Princenton University Press.

Hardyanthi, T., Ghozali, F. A., Wahyu, M. A. (2019). Facing the Industrial Revolution 4.0: Taiwanese and Indonesia perspective. *Indonesian Comparative Law Review, 1*(2), 93-102.

Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). *Design principles for Industrie 4.0 scenarios: A literature review*. Technische Universität Dortmund.

HM Government (2017). *Industrial strategy: Building a Britain fit for the future*. HM Government. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/664563/industrial-strategy-white-paper-web-ready-version.pdf

Huarng, K., & Yu, T. H. (2022). Analysis of Global Innovation Index by structural qualitative association. *Technological Forecasting and Social Change, 182*, 1-7.

IMF (2024). *Financial development index database.* https://data.imf.org/?sk=f8032e80-b36c-43b1-ac26-493c5b1cd33b

Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (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.

Kalkınma Bakanlığı (2013). *Onuncu kalkınma planı 2014-2018.* Ankara: T.C. Kalkınma Bakanlığı. Erişim: https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/08/Onuncu_Kalkinma_Plani-2014-2018.pdf

Karaduman, C. (2022). The effects of economic globalization and productivity on environmental quality: Evidence from newly industrialized countries. *Environmental Science and Pollution Research, 29*, 639-652. https://doi.org/10.1007/s11356.021.15717-1

Kılıç, K., & Kılınç, D. (2018). Sanayi 4.0 ve Türkiye'deki gelişmeler: Sanayi 4.0'a geçiş sürecinde fırsatlar ve zorluklar. İstanbul Üniversitesi İktisat Fakültesi Ekonometri ve İstatistik Dergisi, 28, 16-34.

Kim, J. (2015). Manufacturing industry innovation 3.0: Korea's strategy for smart manufacturing. *Korea Institute for Industrial Economics & Trade (KIET) Reports, 3*(1), 45-67.

Kim, S., & Lee, J. (2018). Smart manufacturing: Policy and strategy in Korea. *Journal of Korea Trade, 22*(3), 175-188.

Kochetkov, D. M., Larionova, V. A., & Vukovic, D. B. (2017). Entrepreneurial capacity of universities and its impact on regional economic growth. *Ekonomika regiona [Economy of Region], 13*(2), 477-488.

Kornyshova, E., & Barrios, J. (2022). Small and medium-sized enterprises and the Industry 4.0 transformation in France. In *Industry 4.0 in SMEs Across The Globe – Drivers, Barriers, and Opportunities*. J. M. Müller & N. Kazantsev (Eds.). London: CRC Press, 29-45.

Köksal, E., & Bakış, O. (2023). *Türkiye Dijital Toplum Endeksi (Türkiye Digital Society Index).* Betam Research Note, 23/269, 1-6.

Kuo, C., Shyu, J. Z., & Ding, K. (2019). Industrial revitalization via industry 4.0 – An comparative policy analysis among China, Germany and the USA. *Global Transitions,* 1, 3-14. https://doi.org/10.1016/j.glt.2018.12.001

Lanvin, B. (2023). Future readiness economic index 2023 – Digital policies are the linchpin of future readiness. Descartes Institute for the Future.

Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering, 6*(4), 239-242. https://doi.org/10.1007/s12599.014.0334-4

Li, L. (2018). China's manufacturing locus in 2025: With a comparison of "Made-in-China 2025" and "Industry 4.0". *Technological Forecasting and Social Change, 135*, 66-74. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.05.028

Li, L. (2019). Lean smart manufacturing in Taiwan—Focusing on the bicycle industry. *Journal of Open Innovation: Technology, Market and Complexity, 5*(4), 1-13.

Liao, Y., Deschamps, F., de Freitas, E., Loures, E. F. R., & Ramos, L. F. P. R. (2017). Past, present and future of Industry 4.0 – a systematic literature review and research agenda proposal. *Intenational Journal of Production Research, 55*(12), 3609-3629. https://doi.org/10.1080/00207.543.2017.1308576

Ling, Y. M., Abdul Hamid, N. A., & Chuan, L. T. (2020). Is Malaysia ready for Industry 4.0? Issues and challenges in manufacturing industry. *International Journal of Integrated Engineering, 12*(7), 134-150.

Liu, T. (2022). Digital policy in European Countries from the perspective of the Digital Economy and Society Index. Policy & Internet, 14(1), 202-2018. https://doi.org/10.1002/poi3.274

Made Smarter Review (2017). *Made Smarter: Review 2017*. https://www.gov.uk/government/publications/made-smarter-review

Manufacturing USA (2019). *Securing the future of American manufacturing: A National strategic plan for advanced manufacturing*. Manufacturing USA.

Marshall, A., Dezuanni, M., Burgess, J., Thomas, J., & Wilson, C. K. (2020). Australian farmers left behind in the digital economy – Insights from the Australian Digital Inclusion Index. *Journal of Rural Studies, 80*, 195-210. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2020.09.001

Medina, A. F. (2022). *How Singapore is poised to take advantage of Industry 4.0*. https://www.aseanbriefing.com/news/how-singapore-is-poised-to-take-advantage-of-industry-4-0/

Mohamed, E., Sukarma, L., Mohamad, N. A., Salleh, M. R., Rahman, A. A., Abdul Rahman, A. A., & Sulaiman, M. A. (2018). *Review on implementation of Industry 4.0 globally and preparing Malaysia for Fourth Industrial Revolution.* The Proceedings of Desing & Systems Conference.

Mohamed, N., Al-Jaroodi, J., & Lazarova-Molnar, S. (2019). Industry 4.0: Opportunities for enhancing energy efficiency in smart factories, *IEEE International Systems Conference (SysCon),* 1-7.

Nasir, M. H., & Zhang, S. (2024). Evaluating innovative factors of the global innovation index: A panel data approach. *Innovation and Green Development, 3*(1), 1-13.

NSTC (2018). *Strategy for American leadership in advanced manufacturing*. Executive Office of the President of the United States.

Nugraha, H., & Putriani, S. (2023). Does fintech lending and ICT Development Index affect proverty?Evidence from Indonesia. *Jurnal Reviu Akuntansi dan Keuangan, 13*(1), 171-184.

Oliveira, G. A., Trentin, M. G., Setti, D., & de Lima, J. D. (2022). The path towards Industry 4.0 for Brazilian SMEs. In *Industry 4.0 in SMEs Across The Globe – Drivers, Barriers, and Opportunities*. J. M. Müller & N. Kazantsev (Eds.). London: CRC Press, 141-154.

Oturakci, M. (2023). Comprehensive analysis of the global innovation index: Statistical and strategic approach. *Technology Analysis & Strategic Management, 35*(6), 676-688.

Özkan, Ö., & Atan, M. (2023). Dijital Ekonomi ve Toplum İndeksinin çok ölçütlü karar verme yöntemleriyle incelenmesi. *Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi, 58*(4), 3113-3134. https://doi.org/10.15659/3.sektor-sosyal-ekonomi.23.11.2182

Öztürk, S., & Alaşahan, Y. (2019). Türkiye Endüstri 4.0 uygulamalarının değerlendirilmesi: Panel veri analizi. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 61*, 1-18.

Park, M., & Park, J. (2016). The fourth industrial revolution and implications for innovative cluster Policies in Korea. *Science, Technology and Society, 21*(3), 349-362. https://doi.org/10.1007/s00146.017.0777 –

PCAST (2011). *Report to the president on ensuring American leadership in advanced manufacturing.* Executive Office of the President.

Pereira, A. G., Lima, T. M., & Charrua-Santos (2020). Industry 4.0 and Society 5.0: Opportunities and threats. *International Journal of Recent Technology and Engineering, 8*(5), 3305-3308.

Rezqianita, B. L., & Ardi, R. (2020). *Drivers and barriers of Industry 4.0 adoption in Indonesian manufacturing industry.* APCORISE'20: Proceedings of the 3rd Asia Pacific Conference on Research in Industrial and Systems Engineering, 123-128.

Riminucci, M. (2018). Industry 4.0 and human resources development: A view from Japan. *E-Journal of International and Comparative Labour Studies, 7*(1), 1-15.

Rodrigues, T. V., Filho, V. H. S., Pontes, J., Resende, L. M. M., & Yoshino, R. T. (2021). Government initiatives 4.0: A comparison between industrial innovation policies for industry 4.0. *Revisto Gestaoe Desenvolvimento, 18*(1), 120-147.

Rojko, A. (2017). Industry 4.0 concept: Background and overview. *International Journal of Intreractive Mobile Technologies, 11*(5), 77-90. https://doi.org/10.3991/ijim.v11i5.7072

Romero Gázquez, J. L., Bueno Delgado, M. V., Ortega Gras, J. J., Garrido Lova, J., Gómez Gómez, M. V., & y Zbiec, M., (2021). Lack of skills, knowledge and competences in Higher Education about Industry 4.0 in the manufacturing sector. *Revista Iberoamericana de Educación a Distancia, 24*(1), 285-313. https://doi.org/10.5944/ried.24.1.27548

Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (2019). *2023 sanayi ve teknoloji stratejisi*. Ankara: T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. Erişim: https://www.sanayi.gov.tr/assets/pdf/SanayiStratejiBelgesi2023.pdf

Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (2020). *Milli teknoloji hamlesi*. T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı.

Savelyev, M. Y., Sokolova, N. G., & Polyakov, Y. N. (2021). Newly industrialized countries: Is there an alternative to the Golden Billion?. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.

Sevgi, H. (2021). Analysis of the Digital Economy and Society Index (DESI) through a cluster analysis. *Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 23*(Özel Sayı), 37-51. https://doi.org/10.26468/trakyasobed.863961

Siau, K., Xi, Y., & Zou, C. (2019). Industry 4.0: Challenges and opportunities in different countries. *Cutter Business Technology Journal, 32*(6), 6-14.

Singapore Economic Development Board (2020). *The smart industry readiness index – Catalysing the transformation of manufacturing.* https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.edb.gov.sg/content/dam/edb-en/about-edb/media-releases/news/the-smart-industry-readiness-index/the-sg-smart-industry-readiness-index-whitepaper%2520(1).pdf&ved=2ahUKEwihmOqEwJ-JAxVVRPEDHdtxJugQFnoECBIQAQ&usg=AOvVaw2oJxmKB0evCphSqSDIIE-y

Skare, M., de las Mercedes de Obesso, M., & Ribeiro N. (2023). Digital transformation and European small and medium enterprises (SMEs): A comparative study using Digital Economy and Society Index data. *International Journal of Information Management, 68*. https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2022.102594

Soomro, M. A., Hizam-Hanafiah, M., Abdullah, N. L., Ali, M. H., & Jusoh, M. S. (2021). Industry 4.0 readiness of technology companies: A pilot study from Malaysia. *Administrative Sciences, 11*(2), 1-18.

Stavytskyy, A., Kharlamova, G., & Sbica, E. A. (2019). The analysis of the Digital Economy and Society Index in the EU. *Baltic Journal of European Studies, 9*(3), 245-261.

Strateji ve Bütçe Başkanlığı (2019). *100. yıl Türkiye planı: On birinci kalkınma planı (2019-2023)*. Ankara: Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. Erişim: https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/08/Onuncu_Kalkinma_Plani-2014-2018.pdf

Strateji ve Bütçe Başkanlığı (2023). *On ikinci kalkınma planı (2024-2028).* Ankara: Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. Erişim: https://onikinciplan.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2023/11/On-Ikinci-Kalkinma-Plani_2024-2028.pdf

Surianarayanan, G., & Menkhoff, T. (2020). *Outcomes of an expert survey: Are Singapore's manufacturing small and medium enterprises ready to embrace industry 4.0.* 19th International WWW/Internet Conference ICWI 2020, 51-60.

Suswanto, H., Fauzi, J. A., & Wibawa, A. P., 2019. Has the VS ready for industry 4.0?. *International Conference on Electrical, Electronics and Information Engineering (ICEEIE)*, Indonesia, 350-353.

Tay, J. W. E., Ng, H. Y., & Tan, P. S. (2021a). Model factory@SIMTech—sense and response manufacturing for Industry 4.0. In Implementing Industry 4.0 – The Model Factory as the Key Enabler for the Future of Manufacturing. C. Toro, W. Wang & H. Akthar (Eds.). Switzerland: Springer, 399-418.

Tay, S. I., Alipal, J., & Lee, T. C. (2021). Industry 4.0: Current practice and challenges in Malaysian manufacturing firms. *Technology in Society, 67*, 1-12. https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101749

Tay, S. I., Lee, Hamid, N. A. A., Ahmad, A. M. A. (2018). An overview of Industry 4.0: Definition, components, and government initiatives. *Journal of Advanced Research in Dynamical & Control Systems, 10* (Special Issue), 1379-1387.

The Business Times (2017). BCG launches its first Asian innovation centre in S'pore. Erişim: https://www.businesstimes.com.sg/international/bcg-launches-its-first-asian-innovation-centre-spore [Erişim Tarihi: 03.04.2017].

TOBB (2016). Akıllı fabrikalar geliyor. *TOBB Ekonomik Forum Dergisi, 259*, 16-27.

Tortorella, G. L., & Fettermann, D. (2017). Implementation of industry 4.0 and lean production in Brazilian manufacturing companies. *International Journal of Production Research, 56*(8), 1-13. https://doi.org/10.1080/00207.543.2017.1391420

TÜBİTAK (2018). *Türkiye'de Sanayi 4.0'a geçiş süreci ve yapılması gerekenler*. Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu.

TÜSİAD (2017). *Türkiye'nin Sanayi 4.0 dönüşüm yol haritası*. Türkiye Sanayici ve İş İnsanları Derneği.

Wang, S., Wan, J., Li, D., & Zhang, C. (2016). Implementing smart factory of industrie 4.0: An outlook. *International Journal of Distributed Sensor Networks, 12*(1), 1-10. https://doi.org/10.1155/2016/3159805

Wong, A. P. H., & Kee, D. M. H. (2022). Driving factors of industry 4.0 readiness among manufacturing SMEs in Malaysia. *Information, 13*(12), 1-35.

Xu, L., Xu, E., & Li, L. (2017). Industry 4.0: state of the art and future trends. *International Journal of Production Research, 56*(8), 2941-2962. https://doi.org/10.1080/00207.543.2018.1444806

Yang, H., Kim, S. Y., & Yim, S. (2019). A case study of the Korean Government's preparation fort he Fourth Indsutrial Revolution: Public program to support business model innovation. *Journal of Open Innovation, 5*(2), 1-18. https://doi.org/10.3390/joitmc5020035

Yıldırım, Y. (2019). Endüstri 4.0'a kapsamlı bir bakış: 2011'den bugüne. *Bilgi Dünyası, 20*(2), 217-249.

Yüksel, H. (2020). An empirical evaluation of industry 4.0 applications of companies in Turkey: The case of a developing country. *Technology in Society, 63*, 1-9. https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2020.101364

Zhou, K., Liu, T., & Zhou, L. (2015). Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges. In *2015 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD)*. IEEE, 2147-2152

INDUSTRY 4.0: AN EXAMINATION OF NATIONAL POLICIES AND STRATEGIES THROUGH VARIOUS COUNTRY CASES*

Munise Tuba AKTAŞ[**]
Burak Tuğberk TOSUNOĞLU[***]
Talha KUTAY[****]

The primary objective of this study is to examine the policies and strategies implemented by various countries with respect to Industry 4.0. To analyze national policies and strategies related to Industry 4.0, a descriptive and comparative approach was adopted. The research employed a quantitative method, with trend analysis as the principal tool, supported by qualitative data.

For the quantitative analysis, data from the Future Readiness Economic Index (FREI), developed by the Descartes Institute for the Future, along with technology scores, were utilized. Based on these indicators, countries were classified into groups, and the relationship between FREI and technology scores was graphically illustrated and interpreted. Scatter plots were used to visualize the positions of country groups, and trend lines were applied to analyze inter-group differences. These data provided a comparative evaluation of countries' readiness for digital transformation and their potential for Industry 4.0 integration. The qualitative data set included national strategy documents (e.g., Made in China 2025, Turkey's Industry Strategy, Industrie 4.0), development plans, public policy reports, and academic studies.

Country selection was based on IMF (2024) classifications and categorizations found in the existing literature (Bozyk, 2006; Savelyev vd.., 2021; Karaduman, 2022). By representing developed, newly industrialized, and developing countries, the sample allowed for a global assessment of how

* This study was supported by the Anadolu University Scientific Research Projects Coordination Unit under project number SBA-2023-60 and was developed based on the findings obtained within the scope of this project.

** Anadolu University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Department of Economics, mtturker@anadolu.edu.tr, 0000-0003-1541-4639

*** Anadolu University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Department of Economics, ttosunoglu@anadolu.edu.tr, 0000-0001-9377-5136

**** Anadolu University, Graduate Education Institute, Economics, talhakutayfb@gmail.com, 0000-0003-4005-3222

Recieved: 15.09.2025
Accepted: 14.01.2026

Industry 4.0 strategies have taken shape. The key criteria for selection were accessibility of strategy documents and the implementation of digitalization-based national plans within the last decade.

All of the countries examined acknowledge the importance of adapting to Industry 4.0. They invest in Industry 4.0 technologies and formulate policies and strategies to support firms in adopting these technologies. Developed countries appear to adapt more easily to Industry 4.0, largely due to their stronger competitive advantages and greater financial capacity. The relationship between FREI and technology scores, examined through scatter plots, confirms this outcome.

A high FREI score indicates strong adaptation to technology and preparedness for digital transformation. A positive correlation exists between the two indicators: as FREI score increases, technology levels rise. Countries cluster according to their categories: developed countries achieve the highest scores, newly industrialized countries occupy mid-level positions, while developing and less developed countries fall at the lower end. However, some countries, such as Turkey, Mexico, and Nigeria, exhibit high FREI scores yet relatively low technology scores, reflecting gaps attributable to infrastructure, education, and innovation deficits or socio-political constraints.

When considered by country groups, developed nations lead in both FREI and technology scores, representing the most prepared group for Industry 4.0. For instance, Singapore and Denmark combine advanced technological infrastructure with high readiness levels. Newly industrialized countries hold mid-level positions: although their FREI scores are not as high, several demonstrate noteworthy progress in digital transformation. Developing countries display greater heterogeneity; while some remain at around 30% levels, others approach 50%, though overall trends indicate limited technological usage and adaptation capacity. Less developed countries cluster in the lower-left quadrant, characterized by the lowest FREI and technology scores. These countries remain significantly behind in digitalization and innovation, and increases in FREI translate only minimally into technological improvement. In short, while there is a linear relationship between FREI and technology across all groups, differences in slope highlight variations in adaptation speed: steeper and faster for developed countries, flatter and more limited for newly industrialized, constrained for developing, and weakest for less developed countries.

All countries have introduced strategy and policy documents to facilitate Industry 4.0 adaptation. They have provided incentives and subsidies to support firms, fostered collaboration between the private sector and universities, and launched various programs within these partnerships. Alongside governments, private institutions, organizations, and companies have also implemented projects to promote Industry 4.0 adaptation, offering particular advantages for corporate adoption. Nevertheless, firms worldwide—including those in developed economies—continue to face challenges in adopting Industry 4.0, with such difficulties being more pronounced in newly industrialized and developing contexts. Accordingly, the development of more comprehensive policies is of critical importance. Among the countries studied, Malaysia appears to lag behind in adaptation, though it has

sought to address this gap through policy initiatives. Russia, despite its significant role in the global economy, is underrepresented in the literature concerning Industry 4.0.

In addition to macro-level assessments, micro-level analyses are also required, as the positioning of firms and enterprises in relation to Industry 4.0 is of central importance. National strategies and policy documents place significant emphasis on firms, and in this sense, the study also contributes to micro-level analysis. Further research is essential to deepen the understanding of Industry 4.0's impact on both countries and companies.

It was not possible to examine every policy adopted by the countries within the scope of this study; therefore, the analysis primarily focused on the most prominent cases. This constitutes the main limitation of the research. Nevertheless, the relatively large number of countries included, along with consideration of their development levels, provides a broad perspective for understanding and evaluating national policies and strategies related to Industry 4.0.